

**САМАРКАНДСКОЕ ВЫСШЕЕ ВОЕННОЕ АВТОМОБИЛЬНОЕ  
КОМАНДНО-ИНЖЕНЕРНОЕ УЧИЛИЩЕ**

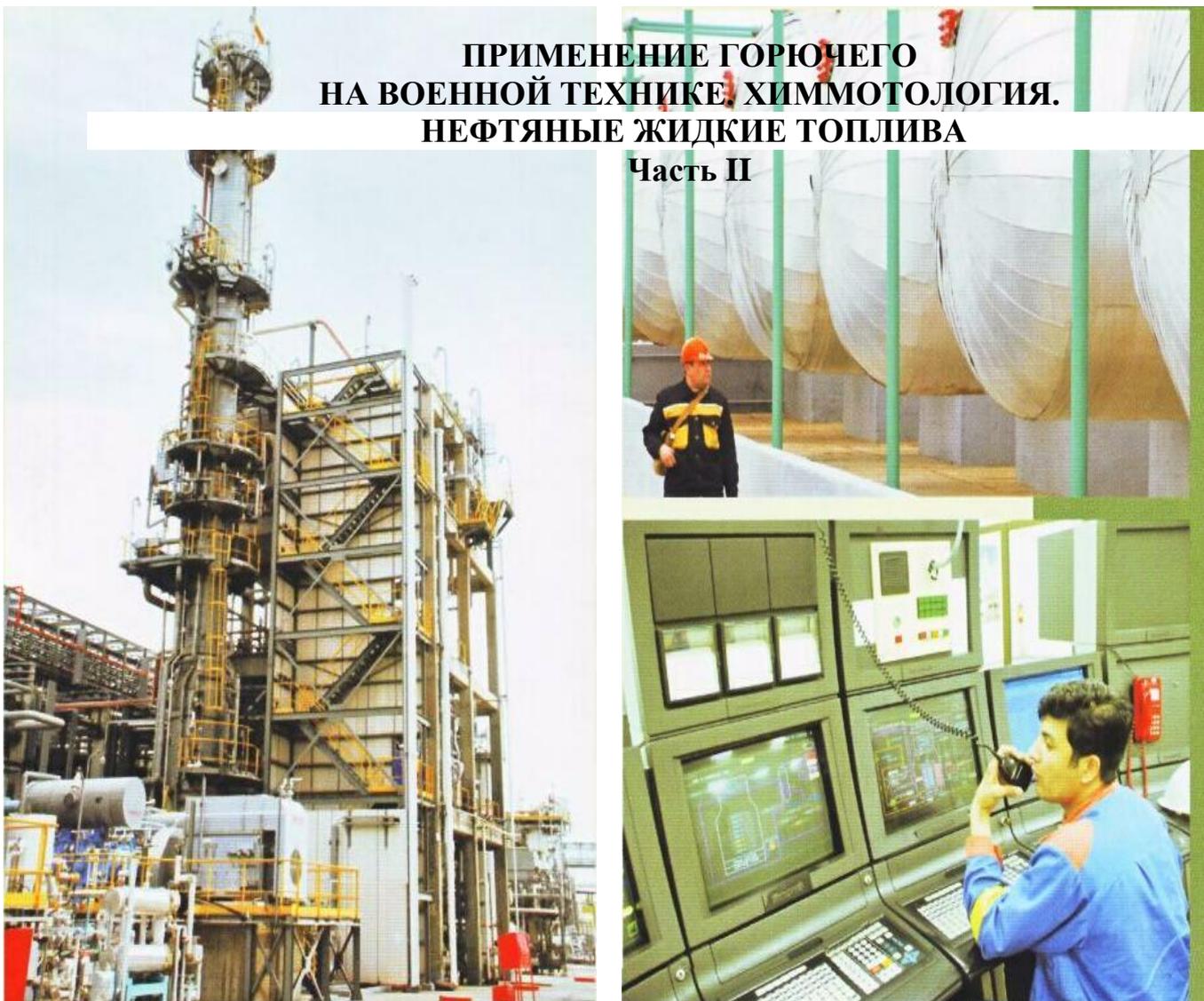
**КАФЕДРА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГСМ**



**Усманов Н.Н., Сафаров И.Э., Исахонов Х.Х., Яхшибаев Т.Х.**

**ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЮЧЕГО  
НА ВОЕННОЙ ТЕХНИКЕ. ХИММОТОЛОГИЯ.  
НЕФТЯНЫЕ ЖИДКИЕ ТОПЛИВА**

**Часть II**



**Самарканд 2010**

**САМАРКАНДСКОЕ ВЫСШЕЕ ВОЕННОЕ АВТОМОБИЛЬНОЕ  
КОМАНДНО-ИНЖЕНЕРНОЕ УЧИЛИЩЕ**

**КАФЕДРА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГСМ**

**Усманов Н.Н., Сафаров И.Э., Исахонов Х.Х., Яхшибаев Т.Х.**

**ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЮЧЕГО  
НА ВОЕННОЙ ТЕХНИКЕ. ХИММОТОЛОГИЯ.  
НЕФТЯНЫЕ ЖИДКИЕ ТОПЛИВА  
Часть II**

**Учебное пособие**

**Самарканд 2010**

УДК 355.41.

кандидат. с.-х. наук Усманов Н.Н., Сафаров И.Э., Исахонов Х.Х.,  
Яхшибаев Т.Х.

Применение горючего на военной технике. Химмотология.  
Нефтяные жидкие топлива  
учебное пособие

Издание СВВАКИУ, 2010, - 113 с

В данной учебной пособии изложены теоретические основы теории применения горючего, смазочных материалов и специальных жидкостей. Их основные эксплуатационные свойства, вырабатываемых в Республике Узбекистан и за рубежом.

Учебное пособие предназначено для слушателей и курсантов, обучающихся по специальности командно-тактическая тылового обеспечения (Обеспечение ГСМ) Самаркандского высшего военного автомобильного командно-инженерного училища, а также может быть полезен для специалистов службы горючего, занимающихся вопросами хранения, применения и контроля качества нефтепродуктов.

Рецензенты:

О.Мусаев, майор, командир войсковой части 67681

Э. Абдурахманов, доктор химических наук, профессор Сам ГУ

Учебное пособие обсуждено и утверждено на заседании Ученого  
Совета СВВАКИУ \_\_\_\_\_ 2010 года (протокол № \_\_\_\_\_).

Самаркандское высшее военное автомобильное командно-инженерное  
училища, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

В республике разработана стратегическая программа геологоразведочных работ на нефть и газ на период с 2005 по 2020 гг., которая предусматривает наращивание запасов углеводородов за этот период в объеме 1,15 млрд. тонны условного топлива. В том числе планируется за 15 лет обеспечить увеличение запасов газа в объеме 1 015 млрд. куб. м., нефти – 69,8 млн. тонны и конденсата – 65,7 млн. тонны. Основная доля прироста запасов газа (579 млрд. куб. м. или 53,9%) падает на Устюртский регион. А по ресурсам жидких углеводородов лидирующее место по-прежнему будет занимать Бухаро-Хивинский регион (по нефти – 30,7 млн. тонны, или 44%, по конденсату – 29,1 млн. тонна, или 44,3%). Для достижения этих результатов в Узбекистане разработаны меры по интенсификации геологоразведочных работ. В нефтегазоносных регионах республики до 2020 гг. намечается провести поисковое и разведочное бурение в объемах, соответственно, 1 млн. 734,02 тыс. погонных метров и 1 млн. 183,08 тыс. погонных метров. По данным ИГИРНИГМ, за всю историю геологоразведочных работ в Узбекистане открыто 194 месторождения нефти и газа, из которых 147 имеют промышленные скопления газа, и 102 – нефти.

При объемах добычи углеводородов («Узбекнефтегаз») на уровне 2004 г. Узбекистан обеспечен разведанными запасами природного газа на 31 год, нефти – на 21 год и конденсата – на 25 лет. Прогнозные перспективные ресурсы углеводородов на 1 января 2005 г. составляли по газу – 5 трлн. 902,9 млрд. куб. м. нефти – 817,7 млн. т, конденсату – 360 млн. т. Правда аудит запасов углеводородов проводился геологами Узбекистана без привлечения независимых экспертов.

В связи с тем, что потребности в моторных топливах опережают темпы добычи нефти, проблема экономного, рационального и эффективного применения нефтепродуктов является исключительно актуальной - ведь нефть является основным источником их получения. В условиях увеличения потребности в нефтепродуктах возникает необходимость оптимизации их ассортимента и уровня качества. Поэтому уровень качества горючего необходимо рассматривать в тесной связи с развитием нефтяной, нефтеперерабатывающей промышленности, машиностроения, науки и техники в целом.

«Химмотология» химия (гр. *chimia*), мотор (лат. *motor*), логия (гр. *logos* - наука). В развитии химмотологии большой вклад внесли Российские ученые Б. В. Лосиков, С. Э. Крейн, Н. И. Черножуков, Г. В. Виноградов, Н. Г. Пучков, А. Б. Виппер, А. А. Гуреев, Г. Ф. Большаков, В. В. Сеницын, Г. С. Шимонаев, Е. Г. Семенидо, Е. П. Серегин, Е. С. Чуршуков, В. С. Азев, Б. А. Энглин и др.

Важнейшими задачами, решаемыми химмотологией на современном этапе, являются:

- изучение процессов, протекающих при хранении, транспортировании

горючего и применении его на технике, обоснованное на этой основе требования к уровню качества горючего и оценка возможностей и целесообразности его производства;

- изучение эксплуатационных свойств горючего, их влияния на эффективность и надежность работы техники;

- определение путей улучшения эксплуатационных свойств горючего, разработка методов оценки его качества, разработка методов прогнозирования физико-химических превращений горючего в условиях хранения, транспортирования и применения на технике и обоснование требований к средствам его хранения;

- разработка теоретических основ оптимизации уровня качества горючего, унификации и стандартизации методов оценки качества.

Перечисленные задачи не исчерпывают всего многообразия научных, технических и организационных задач, которые призваны решать химмотология.

Таким образом, химмотология является одной из важнейших и базовых отраслей знаний, основами которой должны овладеть специалисты службы горючего и служб, ведающих эксплуатацией военной техники.

В учебнике изложены основы теории и практики применения горючего, смазочных материалов и специальных жидкостей на военной технике в соответствии с программой обучения курсантов Самаркандского высшего военного автомобильного командно-инженерное училища.

## ФЕРГАНСКИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ ЗАВОД

**Ферганский НПЗ** крупнейший в Центральноазиатском регионе производитель топлива, нефтяных масел и других нефтепродуктов.

26 июня 1958 года первая установка ЭЛОУ (электрообессоливающая установка) была введена в эксплуатацию.

Первая технологическая установка атмосферно-вакуумной перегонки нефти АВТ-1 была введена в действие в начале 1959 года.

27 января 1959 года принято считать днем рождения Ферганского нефтеперерабатывающего завода. Данное предприятие топливно-масляного направления нефтепереработки, включающее в свой состав 39 технологических установок. Что позволяет перерабатывать сырьё (нефть и газоконденсат) с максимальной глубиной переработки, что позволяет в свою очередь выпускать практически весь существующий в нефтепереработке ассортимент нефтепродуктов и товаров народного потребления.

Ферганским нефтеперерабатывающим заводом освоен выпуск

- светлых нефтепродуктов: бензинов различных марок специализированных и специального назначения, топлив различных марок, нефрасов, керосинов и т.д.;

- масел нефтяных - моторных, промышленных, турбинных,

трансформаторных и т.п.;

- битумов; коксов; парафина и т.д.

В настоящее время Ферганское НПЗ обеспечивает несколько стран Центральной Азии и Европы высококачественными горюче-смазочными материалами.

## БУХАРСКИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ ЗАВОД

**Бухарский нефтеперерабатывающий завод**, являющийся производством топливного направления, построено согласно проекта компании "Technip" (Франция) и введен в эксплуатацию в августе 1997 года. Завод построен по последним современным технологиям.

Мощность переработки составляет 2,5 млн. тонн углеводородного сырья в год.

Качество вырабатываемых нефтепродуктов Бухарского НПЗ отвечает требованиям международных стандартов.

Бухарский НПЗ выпускает следующие продукции;

- Автобензины различных марок
- Авиационный керосин
- Дизельное топливо
- Топочный мазут
- СНГ (сжиженный нефтяной газ)

# НЕФТЯНЫЕ ЖИДКИЕ ТОПЛИВА

## БЕНЗИНЫ

### Особенности рабочего процесса поршневого двигателя с искровым зажиганием и требования к качеству бензинов

Рабочий процесс двигателя с искровым зажиганием, как и всех двигателей внутреннего сгорания, складывается из процессов испарения, смесеобразования, воспламенения и сгорания горючего. При сгорании горючего выделяется тепловая энергия, которая, преобразуется двигателем в механическую работу. Горючая смесь в поршневых двигателях с искровым зажиганием образуется либо в специальном приборе-карбюраторе, либо непосредственно в цилиндре двигателя, куда воздух и горючее подаются раздельно.

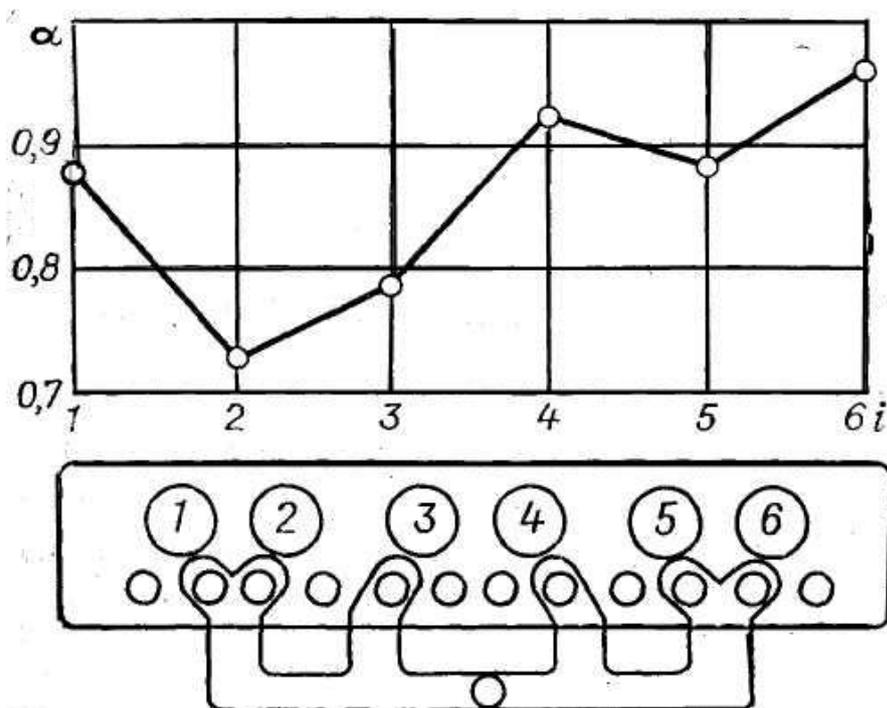
Соответственно различают карбюраторные двигатели и двигатели с непосредственным впрыском топлива. Среди двигателей с искровым зажиганием наибольшее распространение получили карбюраторные двигатели.

Испарение бензина и образование горючей смеси в карбюраторном двигателе происходит в воздушном потоке на пути от карбюратора до цилиндра и завершается в цилиндре двигателя. Скорость воздушного потока в диффузоре карбюратора составляет 40—150 м/с и в 20—30 раз превышает скорость топливной струи. В воздушном потоке струя горючего разбивается на мелкие капли, средний диаметр которых составляет 0,1—0,2 мм. Образовавшиеся капли подхватываются воздушным потоком и интенсивно испаряются. Постепенно скорость капель увеличивается до скорости паровоздушного потока, при этом процесс их испарения замедляется и некоторая часть капель может попасть в цилиндры двигателя, где под действием высокой температуры испарение завершается. Часть капель при выходе из диффузора карбюратора оседает на стенках впускного трубопровода и образует пленку жидкого топлива.

Паровоздушный поток двигает пленку на стенках в направлении цилиндров двигателя. Скорость перемещения пленки жидкого топлива в 50—60 раз меньше скорости паровоздушной смеси, в этих условиях и происходит интенсивное испарение топлива с поверхности пленки.

Образование пленки жидкого топлива приводит к неравномерному распределению смеси по цилиндрам двигателя, особенно на переменных режимах работы (рис. 2.1), причем различают количественную и качественную неравномерность. Количественная неравномерность горючей смеси характеризуется различными коэффициентами избытка воздуха в цилиндрах двигателя. Качественная неравномерность характеризуется различным содержанием отдельных фракций бензина, и присадок в горючей смеси, поступающей в разные цилиндры двигателя. Бензин является смесью различных углеводородов, поэтому по мере испарения легких фракций

жидкая фаза (пленка) обогащается более тяжелыми углеводородами. Это явление фракционирования топлива происходит в процессе подготовки горючей смеси во впускном коллекторе.



**Рис. 2.1.** Качественная неравномерность распределения смеси по цилиндрам шестицилиндрового двигателя при полностью открытой дроссельной заслонке  
1—6—номера цилиндров.

В цилиндрах, куда больше поступает паровоздушной фазы, будет повышенное содержание легких фракций бензина, а в цилиндрах, куда больше поступает жидкой фазы, будет повышенное содержание тяжелых фракций. Испарение присадок, содержащихся в бензине, происходит с фракциями бензина, близкими по испаряемости к присадке. Неравномерность распределения фракций по цилиндрам ведет к неравномерному распределению присадок. Особенно это явление заметно при распределении по цилиндрам двигателя антидетонационных присадок. Установлено, что качество и равномерность распределения смеси по цилиндрам зависят от давления насыщенных паров, фракционного состава, скрытой теплоты испарения, коэффициента диффузии паров, вязкости, поверхностного натяжения, теплоемкости, плотности, а также от скорости и температуры воздуха, степени разрежения в диффузоре, количества поступающего тепла и режима работы двигателя. При образовании горючей смеси тепло, необходимое для испарения топлива, отнимается от воздуха. При этом температура воздуха, а следовательно, и горючей смеси может понизиться настолько, что произойдет конденсация и последующее замерзание, атмосферной влаги, т. е. произойдет так называемое обледенение карбюратора. Образование льда в основном наблюдается на дроссельной заслонке и внутренних стенках диффузора карбюратора. Обледенение

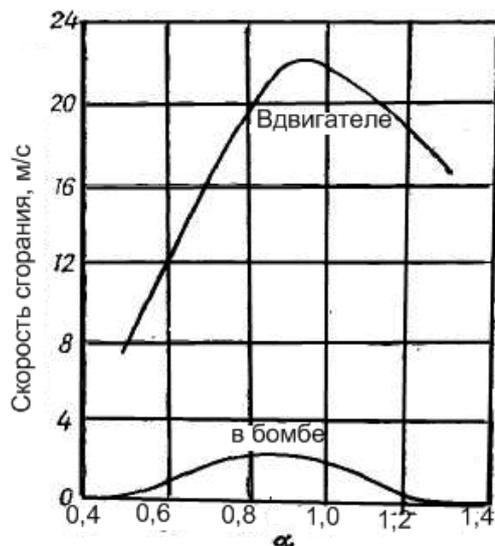
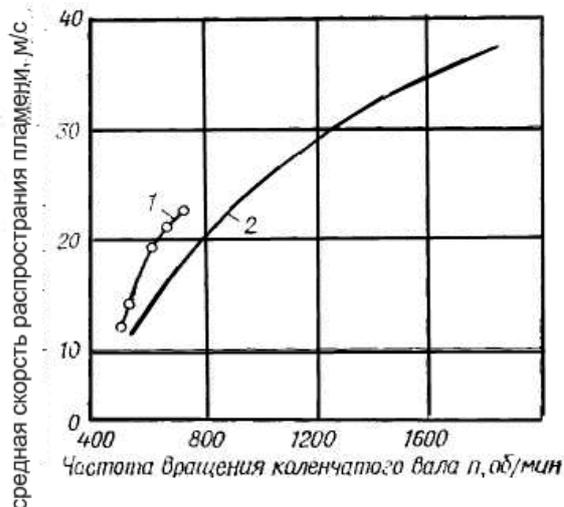
усиливается при увеличении влажности воздуха. На образование льда оказывают влияние соотношение топлива с воздухом, теплоемкость, скрытая теплота испарения топлива и температура воздуха. Условия испарения улучшают путем подогрева впускного коллектора, однако при повышенных температурах горючей смеси коэффициент наполнения цилиндров снижается, и мощность двигателя падает.

При непосредственном впрыске на испарение горючего отводится меньшее время, чем в случае карбюрации (0,01— 0,02 с). Впрыск горючего обычно осуществляется в особую предкамеру и воздухоподводящий трубопровод в тактах впуска или сжатия через форсунку. Условиями, ускоряющими испарение, в этом случае являются усиленное вихревое движение воздуха и высокая температура внутри цилиндра. При этом способе образования горючей смеси достигается большая равномерность распределения бензина по цилиндрам двигателя, увеличивается коэффициент наполнения и литровая мощность двигателя. Непосредственный впрыск нашел применение в некоторых поршневых авиационных и автомобильных двигателях. Серьезным недостатком двигателя с непосредственным впрыском топлива является значительное усложнение его конструкции по сравнению с карбюраторным. Однако в последние годы интерес к непосредственному впрыску топлива увеличился в связи с попытками создания многотопливного двигателя на базе двигателя с воспламенением от искры.

Горючая смесь смешивается в цилиндре двигателя с оставшимися продуктами сгорания, сжимается и в конце такта сжатия поджигается. В подавляющем большинстве двигателей для поджигания смеси используется система электроискрового зажигания. Время, отводимое на процессы смесеобразования, зависит от частоты вращения коленчатого вала и угла опережения зажигания.

При зажигании электрической искрой смесь в зоне разряда нагревается практически мгновенно до температуры, намного превышающей температуру воспламенения. Скорости химических реакций в зоне искрового разряда достигают огромных величин и приобретают самоускоряющийся характер, завершающийся возникновением пламени. После прекращения разряда скорость реакций устанавливается до значений, отвечающих условиям горения данной смеси во фронте пламени. Наполнение цилиндра смесью происходит с большими скоростями, при этом создается сильное вихревое движение, которое частично сохраняется и в такте сжатия. В этих условиях горение носит турбулентный характер, а нормальная скорость распространения фронта пламени составляет 10—40 м/с. Турбулентность горючей смеси, а следовательно, и скорость распространения фронта пламени увеличиваются с увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя (рис. 2.2). Скорость распространения фронта пламени возрастает также при повышении давления сжатия и температуры смеси. Увеличение степени сжатия и применение наддува приводит к росту скорости распространения фронта пламени.

Скорость распространения фронта пламени зависит от коэффициента избытка воздуха. Максимальное значение скорости соответствует значениям,  $\alpha = 0,9$  (рис. 2.3).



**Рис. 2.2.** Влияние частоты вращения коленчатого вала на среднюю скорость распространения фронта пламени:

1 — по данным Чудакова,  
2 — по данным Тейлера;

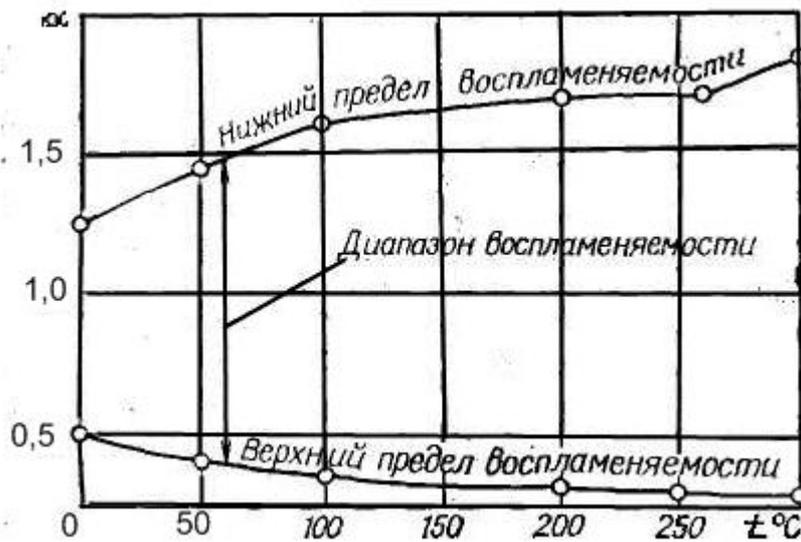
**Рис. 2.3.** Влияние состава бензиновоздушной смеси на скорость ее сгорания в двигателе и бомбе

При обогащении рабочей смеси скорость распространения фронта пламени уменьшается вследствие недостатка углерода, а при обеднении — вследствие расхода тепла на нагревание избыточного количества воздуха. Принято считать, что в условиях двигателя значения  $\alpha$  равны: для верхнего предела воспламенения бензино-воздушной смеси — 0,4—0,5 и для нижнего — 1,3—1,4. Вместе с этим с точки зрения процессов смесеобразования и горения топлива необходимо обеспечить возможно более высокую температуру горючей смеси, что, с одной стороны, улучшит испарение топлива, а с другой — расширит концентрационные пределы воспламенения горючей смеси (рис. 2.4).

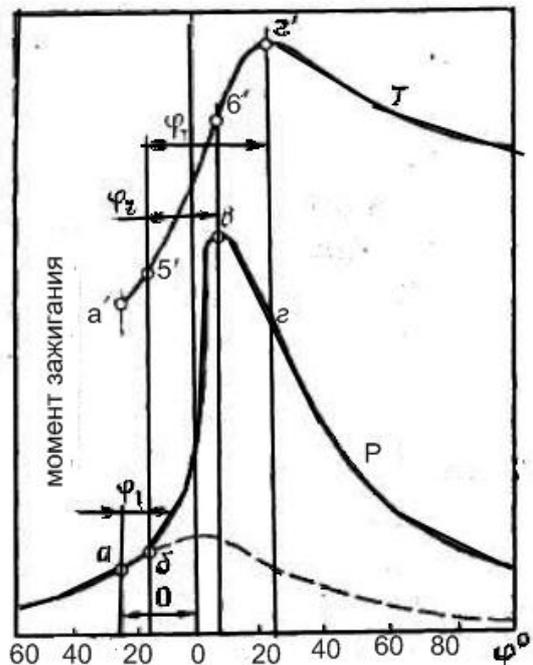
Расширение концентрационных пределов воспламенения создает предпосылки для обеспечения устойчивой работы двигателя на обедненных смесях.

Сгорание топливовоздушной смеси может быть условно разделено на три фазы: первая — начальная фаза, в которой небольшой очаг горения, возникший в зоне электродов свечи, превращается в развитый фронт турбулентного пламени; вторая — основная фаза распространения пламени; третья — фаза догорания смеси. Первая фаза начинается с момента искрового разряда между электродами свечи (рис. 2.5, точка а) и длится до «точки отрыва» линии сгорания от линии сжатия (точка б), т. е. до момента начала ощутимого повышения давления в результате сгорания.

В течение первой фазы происходит формирование фронта пламени из отдельных очагов, возникших в зоне электрического разряда. Длительность первой фазы зависит от мощности электрического разряда и физико-химических свойств горючей смеси. Вторая фаза сгорания характеризуется резким увеличением скорости распространения фронта пламени (до 10—40 м/с) за счет интенсивной турбулизации смеси. В этой фазе происходит основное выделение тепла, и она длится от момента начала нарастания давления (точка *б*) до момента достижения максимального давления (точка *в*).



**Рис.2.4.** Зависимость воспламеняемости бензиновоздушной смеси от температуры ( $P = 0,1$  МПа)



**Рис.2.5.** Диаграмма изменения давления  $P$  и температуры  $t$  в двигателе с искровым зажиганием в зависимости от угла поворота коленчатого вала

Скорость сгорания топлива зависит от степени сжатия, угла опережения зажигания, состава смеси, физико-химических свойств горючего и других факторов. Третья фаза начинается за точкой в, когда давление в камере начинает снижаться. Основная масса горючего к этому моменту уже сгорела (по второй фазе), поршень движется вниз и объем камеры сгорания увеличивается. В третьей фазе под действием турбулентных пульсаций фронт пламени искривляется и распадается на отдельные очаги горения. Время догорания в отдельных очагах зависит от состава смеси и скорости распространения пламени. От количества смеси, догорающей в третьей фазе, зависят эффективность рабочего процесса, максимальная мощность и экономичность двигателя, так как при теоретическом рабочем цикле двигателя предполагается сгорание всей смеси вблизи ВМТ.

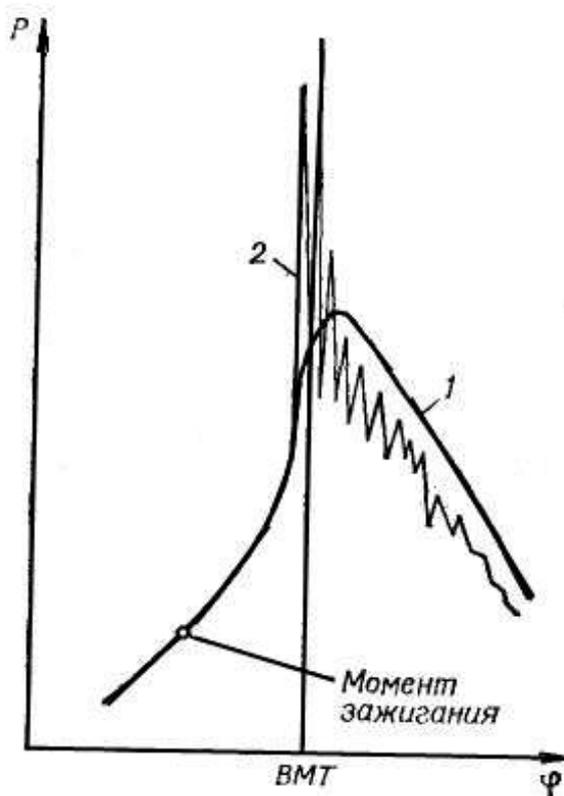
Таким образом, чем выше скорость сгорания, тем большую мощность будет развивать двигатель при одинаковом расходе горючего, так как рабочий цикл двигателя будет приближаться к теоретическому.

Все сказанное относится к нормальному сгоранию горючего в двигателе. Нормальным называется сгорание, при котором распространение фронта пламени по объему камеры сгорания является следствием передачи тепла путем теплопроводности и лучеиспускания. При нормальном сгорании горючего в двигателе скорость распространения фронта пламени относительно невелика и не превышает 40—50 м/с.

На некоторых режимах работы двигателя, особенно связанных с большой нагрузкой или при использовании горючего, качество которого не полностью отвечает условиям нормального сгорания, может возникнуть так называемое детонационное сгорание смеси, сопровождающееся характерным звонким металлическим стуком, появлением дымного выхлопа, падением мощности и повышением температуры двигателя. При детонационном сгорании скорость распространения фронта пламени достигает 1500—2500 м/с.

Согласно современным представлениям детонационное сгорание можно представить следующим образом. В рабочей смеси в тактах всасывания и сжатия развиваются предпламенные химические реакции окисления с образованием активных промежуточных продуктов. Глубина и скорость этих химических реакций возрастают с повышением температуры и давления, т. е. с повышением степени сжатия. По мере сгорания смеси температура и давление в камере сгорания быстро нарастают, что способствует дальнейшей интенсификации реакций окисления в еще не сгоревшей части смеси. На последние несгоревшие части смеси высокие температура и давление действуют наиболее интенсивно. В них особенно быстро накапливаются активные промежуточные продукты окисления, которые приводят в дальнейшем к самовоспламенению и детонационному сгоранию несгоревших продуктов смеси. Из-за неизбежной неоднородности по составу и температуре самовоспламенение происходит в различных очагах неодновременно. Вначале самовоспламенение и образование нового фронта пламени происходит в одном или нескольких местах несгоревшей

части смеси. Одновременно с новым фронтом пламени возникает новая ударная волна. Распространяясь по нагретой активной смеси, в которой предпламенные реакции близки к завершению, она ускоряет самовоспламенение смеси. При этом скорость распространения нового фронта пламени в оставшейся части смеси становится такой же, как и скорость распространения ударных волн, т. е. появляется детонационная волна сгорания, которая представляет собой распространение механической ударной волны и фронта пламени со скоростью 1500—2500 м/с. Металлический стук в двигателе при работе с детонацией является результатом многократных периодических отражений ударных волн от стенок камеры сгорания. При этом на индикаторных диаграммах в конце сгорания регистрируются вибрации давления в виде ряда затухающих пиков (рис. 2.6).



**Рис. 2.6.** Развернутая индикаторная диаграмма карбюраторного двигателя:  
 1 — нормальное сгорание; 2 — детонационное сгорание;  $P$  — давление в цилиндре;  $\varphi$  — угол поворота коленчатого вала

В результате большой скорости и взрывного характера детонационного сгорания часть горючего и промежуточных продуктов сгорания «разбрасывается» по объему камеры, перемешивается с конечными продуктами сгорания и не успевает полностью сгореть. Выхлоп становится дымным, экономичность и мощность двигателя падают. Повышается отдача тепла от сгоревших газов стенкам камеры сгорания и днищу поршня из-за более высоких температур в детонационной волне и увеличения теплоотдачи

в результате срыва пограничного слоя более холодного газа с поверхности металла. Все это приводит к перегреву двигателя и может вызвать местные разрушения поверхности камеры сгорания и днища поршня. Одновременно с перегревом ударные волны при своем многократном отражении от стенок могут механически удалять масляную пленку с поверхности гильзы цилиндра, что приводит к увеличению износа цилиндров и колец. Вибрационные нагрузки на поршень могут вызывать повышенный износ шатунных подшипников. Поэтому при длительной работе двигателя с детонацией даже в тех случаях, когда не наблюдается аварийных разрушений, происходит уменьшение его ресурса работы в 1,5—3 раза.

В двигателях с высокой степенью сжатия иногда возникает так называемое калильное зажигание или воспламенение смеси от нагретых поверхностей. Под калильным зажиганием понимают неуправляемое воспламенение топливовоздушной смеси под воздействием раскаленного тела. В зависимости от инициатора воспламенения различают зажигание тлеющим нагаром и зажигание перегретыми деталями.

Зажигание тлеющим нагаром происходит в основном при переходе двигателя с режима малых нагрузок (способствующих накоплению нагара в камере сгорания) на режим высоких нагрузок (способствующих удалению нагара). Отделяющейся тлеющие частицы нагара являются источниками воспламенения смеси. Зажигание тлеющим нагаром длится несколько десятков секунд, в течение которых происходит выгорание нагара. Такое зажигание взаимосвязано с детонацией. Детонационные волны механически снимают нагар со стенок камеры сгорания, вызывая этим калильное зажигание. Вследствие происходящего при этом увеличения количества очагов скорость сгорания смеси увеличивается, а детонация прекращается до окончания выноса частиц нагара.

**Требования к качеству бензинов.** Бензины, применяемые в качестве топлив для двигателей с искровым зажиганием, должны обеспечивать нормальную работу двигателей в самых различных условиях эксплуатации.

Исходя из необходимости обеспечения высокой эффективности применения бензинов в современных двигателях и в целях оптимизации физико-химических показателей качества бензинов, к ним предъявляются следующие **общие требования:**

- иметь оптимальные антидетонационные свойства на бедных и богатых смесях, на различных режимах работы двигателя;
- обладать хорошей испаряемостью, обеспечивать легкий пуск при низких температурах окружающего воздуха, устойчивую работу и хорошую приемистость двигателя, в то же время не образовывать паровых пробок в топливной системе при понижении давления и повышенной температуре;
- эти противоречивые требования реализуются путем выработки бензинов летнего и зимнего видов;
- надежно прокачиваться в различных условиях эксплуатации и не выделять твердой фазы при отрицательных температурах;
- быть высокостабильными, не окисляться и не осмоляться в процессе

хранения, не разлагаться на составные компоненты и не образовывать отложения в системе питания двигателей;

- не вызывать коррозии средств хранения, транспортирования и перекачки, топливной системы и камеры сгорания;

- продукты сгорания бензинов не должны корродировать детали двигателя;

- быть безопасными в обращении и не вызывать загрязнения окружающей среды;

- иметь широкую сырьевую базу для производства и быть дешевыми;

- бензины, содержащие антидетонатор (этилированные), должны быть окрашены; каждая марка должна иметь свой цвет.

## **МАРКИ, СОСТАВ, УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ БЕНЗИНОВ**

Отечественные бензины представляют собой смесь бензинолигроиновых фракций, полученных путем прямой перегонки нефти, каталитического риформинга, каталитического и термического крекинга с высокооктановыми компонентами и присадками. В зависимости от области применения промышленностью выпускается бензины авиационные и автомобильные.

**Бензины авиационные.** В соответствии с ГОСТ 1012—72 промышленностью выпускается две марки бензинов авиационных: Б-95/130 и Б-91/115. По ТУ 38 101913-82 выпускается бензин Б-70, по ТУ 4-60-79-смесевой бензин СБ-78. По ТУ 39.3-156:2001 выпускается Ферганскими НПЗ - бензин Б-92.

Название авиационного бензина состоит из буквы «Б», указывающее на то, что данный бензин является авиационным, и числового индекса, обозначающего в числителе октановое число по моторному методу, а в знаменателе - сортность на богатой смеси. Буква «С» в бензине СБ-78 показывает, что данный бензин смесевой, т. е. изготовлен из смеси бензинов.

Все бензины, за исключением Б-70, являются этилированными, содержат в качестве антидетонатора тетраэтилсвинец и окрашены в соответствующие цвета. Характеристики авиационных бензинов приведены в табл. 1.

При применении авиационных бензинов на самолетах и вертолетах в соответствии с Инструкцией по контролю качества горючего в ВС РУ допускаются отклонения от требований ГОСТ (ТУ) фракционного состава:

- температура выкипания 10% -2°С в сторону повышения;
- температура выкипания 50% - 2°С в сторону повышения;
- температура выкипания 90% -1°С в сторону повышения.

**Бензин Б-95/130** получают на основе бензина двухступенчатого

каталитического крекинга или прямой перегонки нафтенных нефтей. В случае применения бензина каталитического крекинга (в качестве базового) к нему добавляют 20-25% алкилбензина. Допускается добавка до 6% толуола или алкилбензола № 1, 2 и 3 в сумме не более 6%. При использовании бензина прямой перегонки (в качестве базового) к нему добавляют алкилбензин (15-26%) и ароматические компоненты (не более 20% толуола и не более 10% пиробензола). Бензин предназначен для применения на авиационных поршневых двигателях АШ-82Т самолета Ил-14, двигателях АШ-82В вертолета Ми-4 и др. Может применяться в качестве заменителя бензина Б-91/115 в двигателях АИ-26В и др.

**Бензин Б-91/115** готовят на основе бензина каталитического крекинга, прямой перегонки или каталитического риформинга. К базовому бензину каталитического крекинга добавляют 15-20% алкилбензина, до 6% ароматических углеводородов и 10-30% легкого бензина прямой перегонки малосернистых нефтей. К базовому бензину прямой перегонки добавляют 10-15% алкилбензина, до 20% толуола, до 10% пиробензола, до 10% алкилбензола №2, до 6% алкилбензола №3 (общее количество ароматических компонентов не должно превышать 20%). К базовому бензину каталитического риформинга добавляют 30-35% алкилбензина и 8-13% толуола. Бензин Б-91/115 предназначен для применения в авиационных двигателях АШ-62ИР, АИ-26В самолетов Ан-2, Ли-2, Л-200Д и вертолета Ми-1.

**Бензин Б-70** получают прямой перегонкой нефти, а также на базе бензина каталитического риформинга. Он может содержать ароматические добавки в количествах, не превышающих 20% их суммарного содержания. Бензин Б-70 в настоящее время находит ограниченное применение в авиационных двигателях АИ-14Р самолета Як-18 и в качестве компонента смесового бензина СБ-78, на наземной технике может применяться вместо автомобильного бензина А-72, как неэтилированный бензин находит широкое применение для технических целей.

**Смесовой бензин СБ-78** может изготавливаться на заводах промышленности, однако обычно его готовят на месте потребления путем смешения (в процентах по объему): 25% бензина Б-91/115 и 75% бензина Б-70 или 20% бензина Б-95/130 и 80% бензина Б-70. Бензин СБ-78 применяется в двигателях М-337 самолетов Л-200А.

**Бензин авиационный - Б-92** по ТУ 39.3-156:2001 вырабатываются Ферганским НПЗ. Область применения: предназначена для применения в поршневых авиационных двигателях (самолёт АН-2 и вертолет К-26) обладает высокими антидетонационными свойствами. Окрашенная прозрачная жидкость.

Таблица.1

Основные характеристики товарных авиационных бензинов

Показатель	Б-95/130*	Б -95/130	Б-91/115*	Б-91/115	Б-70	С Б-78
Содержание тетраэтилсвинца, г/кг бензина, не более	3,1	3,1	2,5	2,5	—	0,6
Детонационная стойкость: октановое число по моторному методу, не менее	95	95	91	91	70	78
сортность на богатой смеси, не менее	130	130	115	115	—	—
Удельная теплота сгорания низшая, Дж/кг (ккал/кг), не менее	42 947 x10 <sup>3</sup> (10 250)					
Фракционный состав:						
температура начала перегонки, °С, не ниже	40	40	40	40	40	40
10% перегоняется при температуре, °С, не выше	82	82	82	82	88	—
50% перегоняется при температуре, °С, не выше	105	105	105	105	105	105
90% перегоняется при температуре, °С, не выше	145	145	145	145	145	145
97,5% перегоняется при температуре, °С, не выше	180	180	180	180	180	180
остаток, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Давление насыщенных паров, Па (мм. рт. ст.):						
не менее	33 325 (250)	33 325 (250)	29 326 (220)	29 326 (220)	—	(210)
не более	45 422 (340)	45 422 (340)	—	—	—	—
Кислотность, мг КОН на 100 мл бензина, не более	0,3	1	0,3	1	1	1
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	— 60	— 60	— 60	— 60	— 60	— 60
Йодное число, г йода на 100 г бензина, не более	6	10	2	2	2	12
Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более (в пределах)	35		35		(12—20)	
Содержание фактических смол, мг/100 мл бензина, не более	4	4	3	3	2	2
Массовая доля серы, %, не более	0,03	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05
Испытание на медной пластинке	Выдерживает					
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствует					
Содержание механических примесей и воды	Отсутствует					

Окончание таблица. 1.

Показатель	Б-95/130*	Б -95/130	Б-91/115*	Б-91/115	Б-70	С Б-78
Прозрачность	Желтый		Прозрачный Зеленый		Бесцветный	В зависимости от цвета этилированного бензина
Цвет.....						
Массовая доля параоксидифениламина, %	0,002— 0,005	0,002— 0,005	0,002— 0,005	0,002— 0,005	—	—
Период стабильности, ч, не менее	12	8	12	8	—	—

Примечание: \* - этилированный бензин.

НАЦИОНАЛЬНАЯ ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ  
«УЗБЕКНЕФТЕГАЗ» АК «O'ZNEFTMAHSULOT»  
ФЕРГАНСКИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ ЗАВОД  
БЕНЗИН АВИАЦИОННЫЙ Б-92  
TSh 39.3-156:2001

Область применения: бензин Б-92 предназначен для применения в поршневых авиационных двигателях (самолёты АН-2 и вертолеты К-26) обладает высокими антидетонационными свойствами.

**Марка:** **Б-92**

**Внешний вид:** окрашенная прозрачная жидкость

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

№ п/п	Показатели	Б-92
1.	Концентрация тетраэтилсвинца, г на 1 кг бензина, не более	2,4
2.	Детонационная стойкость:	
	октановое число, по моторному методу не менее	91,5
3.	Удельная теплота сгорания, низшая, не менее - Дж/kg	42737x10 <sup>3</sup>
4.	- (Ккал/ kg) Фракционный состав:	(10200)
	- температура начала перегонки, °С, бензина не ниже	40
	- 10% бензина перегоняется при температура, °С, не выше	82
	- 50% бензина перегоняется при температура, °С, не выше	105
	- 90% бензина перегоняется при температура, °С, не выше	145
	- 97,5% бензина перегоняется при температура, °С, не выше	180
5.	Давление насыщенных паров бензина, Па, в пределах	29326-47988
6.	Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> бензина, не более	1,0
7.	Йодное число, г на 100 г бензина, не более	2,0
8.	Массовая доля серы, %, не более	0,05
9.	Испытания начала кристаллизации, °С, не выше	выдерживает
10.	Температура начала кристаллизации, °С, не выше	минус - 60

**Бензины автомобильные** являются горючим для двигателей с воспламенением от искры наземной техники. В соответствии с ГОСТ 2084 — 77 вырабатываются четыре марки автомобильных бензинов: Аи-98, Аи-93, А-76 и А-72. По ГОСТ 2084-77 выпускается нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) Аи-91, а по ТSh 39.3-203:2004 выпускается Аи-80, Аи-92, Аи-93, Аи-95 и Аи-98.

В зависимости от испаряемости автомобильные бензины, за исключением марки Аи-98, подразделяются на виды:

Название автомобильного бензина состоит из букв (букв) и числового индекса. Буква «А» означает автомобильным бензином, числовой индекс показывает октановое число, определенное для бензинов А-72 и А-76, по моторному методу, а для бензинов Аи-93, Аи-95, Аи-98, Аи – 91 и Аи – 80 - по исследовательскому (буква «и» обозначает исследовательский метод определения октанового числа). Характеристики автомобильных бензинов приведены в табл. 2.

При применении автомобильных бензинов на военной технике допускаются отклонения от требований ГОСТ:

температуры выкипания 10% -3°С в сторону повышения;

температуры выкипания 50% -3°С в сторону повышения;

температуры выкипания 90% -3°С в сторону повышения;

конца кипения -5° С в сторону повышения;

кислотности - 0,5 мг КОН на 100 мл в сторону повышения;

октанового числа — один пункт в сторону понижения;

концентрации фактических смол для А-72 -до 15 мг на 100 мл.

**Бензин А-72** готовят на основе бензинов каталитического риформинга или каталитического крекинга с добавкой бензина прямой перегонки и термического крекинга. Бензин предназначен для применения на автомобилях «Волга-21», РАФ-977, ЗИЛ-131, УАЗ-469, ЗИЛ-431510 бронетранспортерах БТР-60п, БРДМ и другой технике, использующей двигателя со степенью сжатия 6—7. Бензин А-72 может применяться в качестве заменителя А-76 для кратковременной эксплуатации техники.

**Бензин А-76** готовят на базе бензинов каталитического крекинга и каталитического риформинга с добавлением 15-30% легкого бензина прямой перегонки и небольшого количества бензина термического крекинга. Октановое число бензина повышают до 76 единиц за счет добавления этиловой жидкости или высокооктановых компонентов (алкилбензина и толуола). Бензин А-76 является наиболее широко распространенным топливом для большинства современных грузовых и некоторых легковых автомобилей и другой техники, на которых установлены карбюраторные двигатели со степенью сжатия 6,2-7,5 (ЗИЛ-130, ЗИЛ-131, ГАЗ-53, ГАЗ-66, БТР-70).

## АССОРТИМЕНТ ПРОДУКЦИИ ФЕРГАНСКОГО И БУХАРСКОГО НПЗ СВЕТЛЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ

**Бензин Аи-93** по ТУ 39.3-203:2004 вырабатываются Ферганским и Бухарскими нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), этилированный готовят на основе бензина каталитического риформинга мягкого режима (75-80%) с добавлением 10-15% толуола и 8-10% алкилбензина, а также бутан-бутиленовой фракции (5-7%). Бензин АИ-93 неэтилированный готовят на основе бензина каталитического риформинга жесткого режима (70-75%) с добавлением 25-28% алкилбензина и изопентана и 5-7% бутан-бутиленовой фракции.

Бензин Аи-93 предназначен для применения в высокофорсированных двигателях легковых автомобилей UZ DAEWOO, ВАЗ, Москвич, «Волга-31029» и некоторых других, а также грузовых автомобилей Урал-375 и Урал-377. Бензин Аи-93 может быть использован в качестве заменителя бензина Аи-91.

**Бензин автомобильный Аи-80** по ТУ 39.3-203:2004. Область применения: бензин Аи-80 предназначен для применения в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением от искры применяется в качестве топлива, автомобильных и мотоциклетных двигателей, а также для двигателей другого назначения

Однородная прозрачная жидкость.

**Бензин автомобильный Аи-91** по ГОСТ 2084-77. Область применения: бензин Аи-91 предназначен для применения в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением от искры в качестве топлива, автомобильных и мотоциклетных двигателей, а также для двигателей другого назначения обладает высокими антидетонационными свойствами. Внешний вид: однородная прозрачная жидкость.

**Бензин автомобильный Аи-92** по ТУ 39.3-203:2004. Область применения: бензин Аи-92 предназначен для применения в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением от искры в качестве топлива для карбюраторных, автомобильных двигателей, а также для двигателей другого назначения обладает высокими антидетонационными свойствами

**Бензин автомобильный Аи-95** по ТУ 39.3-203:2004 выпускается Ферганским и Бухарскими нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), область применения: предназначена для применения в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением от искры в качестве топлива для карбюраторных, автомобильных двигателей, а также для двигателей другого назначения обладает высокими антидетонационными свойствами.

**Бензин экстракционный прямогонный «экстра»** по ТУ 39.3-203:2004 выпускается Ферганским и Бухарскими нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), условное обозначение «Нефтяной растворитель (Нефрас - СЗ - 70/95)». Область применения: предназначена для экстракции пищевых жиров

в закрытых аппаратах.

**Бензин Аи-98** этилированный готовят путем добавления этиловой жидкости к неэтилированному бензину Аи-93. Неэтилированный бензин Аи-98 готовят на основе бензина каталитического крекинга легкого дистиллятного сырья с добавлением изопарафиновых и ароматических компонентов и газового бензина. Бензин Аи-98 применяют в двигателях автомобилей высшего класса: ЗИЛ-114, ЗИЛ-118, «Чайка», UZ DAEWOO, CHEVROLET «CAPTIVA» и автомобилей иностранных моделей этого класса.

Кроме бензинов по ГОСТ 2084-77 в двигателях легковых автомобилей высшего класса находит применение бензин «Экстра». Это неэтилированный бензин с октановым числом по исследовательскому методу не менее 95 единиц. По своим физико-химическим показателям бензин «Экстра» занимает промежуточное положение между бензинами Аи-93 и Аи-98.

Таблица. 2.

Основные характеристики товарных автомобильных бензинов

Показатель	А-72	А-76*	А-76	АИ-93*	АИ-93	АИ-98*	АИ-98
Детонационная стойкость: октановое число по моторному методу, не менее октановое число по исследовательскому методу, не менее	72	76	76	85	85	89	89
	Не нормируется			93	93	98	98
Концентрация свинца, г на 1 дм <sup>3</sup> бензина, не более: этилированного неэтилированного	—	—	0,17	—	0,37	—	0,37
	Отсутствует						
Фракционный состав: температура начала перегонки бензина, °С не ниже: 10% бензина перегоняется при температуре, °С, не выше: 50% бензина перегоняется при температуре, °С, не выше: 90% бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:	35	35	35	35	35	35	35
	70	70	70	70	70	70	70
	115	115	115	115	115	115	115
	180	180	180	180	180	180	180
конец кипения бензина, °С, не выше:	195-185	195	195-185	205-195	195-185	195	195
остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
остаток и потери, %, не более.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Давление насыщенных паров бензина, Па (мм рт. ст.), не более:	66 661 (500) 66 661-93 325 (500-700)	66661 (500)	66 661 (500) 66 661-93 325 (500-700)	66 661 (500) 66 661—93 325 (500-700)	66 661 (500) 66 661—93 325 (500-700)	66 661 (500)	66 661 (500)
Кислотность, мг КОН на 100 мл бензина, не более Концентрация фактических смол, мг на 100 мл бензина, не более: на месте производства на месте потребления	3	1	3	0,8	3	1	3
	5 10	3 8	5 10	Отсутствует 2	5 7	3 5	5 7
Индукционный период на месте производства бензина, мин, не менее Массовая доля серы, %, не более	600	1200	900	1200	900	1300	900
	0,12	0,02	0,10	0,01	0,10	0,05	0,10
Испытание на медной пластинке Водорастворимые кислоты и щелочи. Механические примеси и вода	Выдерживает Отсутствуют Отсутствуют						
Цвет	-	-	Желтый	-	Оранжево-красный	-	Синий

НАЦИОНАЛЬНАЯ ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ «УЗБЕКНЕФТЕГАЗ»

АК «O'ZNEFTMANIULOT»

ФЕРГАНСКИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ ЗАВОД

БЕНЗИН АВТОМОБИЛЬНЫЙ Аи-80

TSh 39.3-203:2004

**Область применения:** в качестве топлива для автомобильных и мотоциклетных двигателей, а также двигателей другого назначения, рассчитанных на использование этилированного и неэтилированного бензина.

**Марка:** Аи-80

**Внешний вид:** однородная прозрачная жидкость

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

№ п/п	Показатели	Аи-80
1.	Детонационная стойкость: - октановое число по исследовательскому методу	80
	октановое число, определяемое по моторному методу, не менее	76
2.	Массовая концентрация свинца, g/dm <sup>3</sup> бензина, не более: - этилированный	0,15
	- неэтилированный	0,013
3.	Фракционный состав: - температура начала перегонки, °С, бензина не ниже: - летнего	35
	- зимнего	не нормируется
	- 10% бензина перегоняется при температура, °С, не выше: - летнего	75
	- зимнего	55
	- 50% бензина перегоняется при температура, °С, не выше: - летнего	120
	- зимнего	105
	- 90% бензина перегоняется при температура, °С, не выше: - летнего	190
	- зимнего	160
	Конец кипения, °С, не выше: - летнего	215
	- зимнего	195
	- остаток и потери, %, не более	4,0
	- остаток в колбе, %, не более	1,5
4.	Давление насыщенных паров бензина, Па, - летнего, не более	66,7
	- зимнего, в пределах	66,7-93,3
5.	Плотность при 20 °С, kg/m <sup>3</sup> , не более	не нормируется
6.	Испытание на медной пластинке	определение
7.	Внешний вид	обязательно
8.	Кислотность, mg КОН на 100 см <sup>3</sup> бензина, не более	выдерживает класс 1
9.	Концентрация фактических смол, mg на 100 см <sup>3</sup> бензина, не более	чистый, прозрачный
10.	Индукционный период на месте производства, мин., не менее	3,0
11.	Массовая доля серы, %, не более	5,0
12.	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	600
13.	Содержание механических примесей и воды	0,1 (0,05)
		отсутствие
		отсутствие



НАЦИОНАЛЬНАЯ ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ  
«УЗБЕКНЕФТЕГАЗ»

АК «O'ZNEFTMANSHULOT»

ФЕРГАНСКИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ ЗАВОД

БЕНЗИН АВТОМОБИЛЬНЫЙ Аи-92  
TSh 39.3-203:2004

**Область применения:** в качестве топлива для автомобильных и мотоцикльных двигателей, а также двигателей другого назначения, рассчитанных на использование этилированного и неэтилированного бензина.

**Марка:** Аи-92

**Внешний вид:** однородная прозрачная жидкость

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

№ п/п	Показатели	Аи-92
1.	Детонационная стойкость: - октановое число по исследовательскому методу	92
	октановое число, определяемое по моторному методу, не менее	83
2.	Массовая концентрация свинца, г/дм <sup>3</sup> бензина, не более:	
	- этилированный	0,15
	- неэтилированный	0,013
3.	Фракционный состав:	
	- температура начала перегонки, °С, бензина не ниже: - летного	35
	- зимнего	не нормируется
	- 10% бензина перегоняется при температура, °С, не выше: - летного	75
	- зимнего	55
	- 50% бензина перегоняется при температура, °С, не выше: - летного	120
	- зимнего	105
	- 90% бензина перегоняется при температура, °С, не выше: - летного	190
	- зимнего	160
	Конец кипения, °С, не выше: - летного	215
	- зимнего	195
	- остаток и потери, %, не более	4,0
	- остаток в колбе, %, не более	1,5
4.	Давление насыщенных паров бензина, Па, - летного, не более	66,7
	- зимнего, в пределах	66,7-93,3
5.	Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	не нормируется
6.	Испытание на медной пластинке	определение обязательное
7.	Внешний вид	выдерживает класс 1
		чистый, прозрачный
8.	Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> бензина, не более	3,0
9.	Концентрация фактических смол, мг на 100 см <sup>3</sup> бензина, не более	5,0
10.	Индукционный период на месте производства, мин., не менее	600
11.	Массовая доля серы, %, не более	0,05
12.	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие
13.	Содержание механических примесей и воды	отсутствие

Бензин высшей категории качества.

Примечания: 1. Допускается вырабатывать бензин, предназначенный для применения в южных районах, со следующими показателями по фракционному составу: 10% - перегоняется при температуре не выше 75° С, 50% - при температуре не выше 120° С.

2. Для бензинов, изготавливаемых с применением компонентов каталитического реформинга, допускается температура конца кипения бензина марок А-76, Аи-93 и Аи-98 летнего вида - не выше 205° С ; бензина марок А-76 и Аи-93 зимнего вида - не выше 195° С.

Бензин Аи-98 этилированный готовят путем добавления этиловой жидкости к неэтилированному бензину Аи-93. Неэтилированный бензин Аи-98 готовят на основе бензина каталитического крекинга легкого дистиллятного сырья с добавлением изопарафиновых и ароматических компонентов и газового бензина. Бензин Аи-98 применяют в двигателях автомобилей высшего класса: ЗИЛ-114, ЗИЛ-118, «Чайка» и автомобилей иностранных моделей этого класса.

Кроме бензинов по ГОСТ 2084—77 в двигателях легковых автомобилей высшего класса находят применение бензин «Экстра». Это неэтилированный бензин с октановым числом по исследовательскому методу не менее 95 единиц. По своим физико-химическим показателям бензин «Экстра» занимает промежуточное положение между бензинами Аи-93 и Аи-98.

## ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕНЗИНОВ

Основными эксплуатационными свойствами бензинов являются прокачиваемость, испаряемость, детонационная стойкость и склонность к отложениям.

**Прокачиваемость** бензинов характеризуют такие их физико-химические показатели, как вязкость, содержание механических примесей и воды, температура начала кристаллизации (нормируется только для авиабензинов) и давление насыщенных паров.

От вязкости зависит количество топлива, протекающего через жиклер карбюратора или поступающего непосредственно в цилиндр двигателя. Из всех нефтяных углеводородных топлив вязкость у бензинов наименьшая и находится в пределах от 0,4- 0,8 мм<sup>2</sup>/с при 20°С до 12-15 мм<sup>2</sup>/с при минус 40°С. Такие уровни вязкости обеспечивают надежную подачу бензина в камеру сгорания карбюраторного двигателя и достаточно тонкий распыл при непосредственном впрыске в цилиндр. Ввиду значительного запаса надежности по подаче у товарных бензинов вязкость не нормируется.

*Механические примеси* могут попадать в бензин при перекачке, транспортировании, приеме-выдаче, хранении и заправке техники в виде пыли, песка, окалины, ржавчины из плохо зачищенных средств хранения, трубопроводов и рукавов, через неплотно закрытые горловины резервуаров и средств транспортирования и заправки. Механические примеси в бензине не допускаются, так как они могут вызвать засорение фильтров и жиклеров и этим нарушить подачу топлива. Механические примеси, особенно абразивные, попадая в камеру сгорания вместе с рабочей смесью, вызывают дополнительный износ деталей цилиндро-, поршневой группы двигателя.

*Вода* может попадать в бензин такими же путями, как и механические примеси, а также за счет конденсации паров воды в воздухе при малых дыханиях резервуаров. Наличие воды в бензине особенно опасно при отрицательных температурах, так как образовавшиеся кристаллы льда могут

в значительной степени затруднить подачу бензина по системе питания двигателя. При температурах ниже минус 60°C из бензинов начинают выпадать кристаллы высокоплавких углеводородов и растворенной воды. Из всех углеводородов, входящих в состав бензинов, только бензол имеет высокую температуру плавления (5,4°C). Однако и он начинает выделяться в виде твердой фазы при температурах выше минус 60°C в случае значительного содержания в бензине.

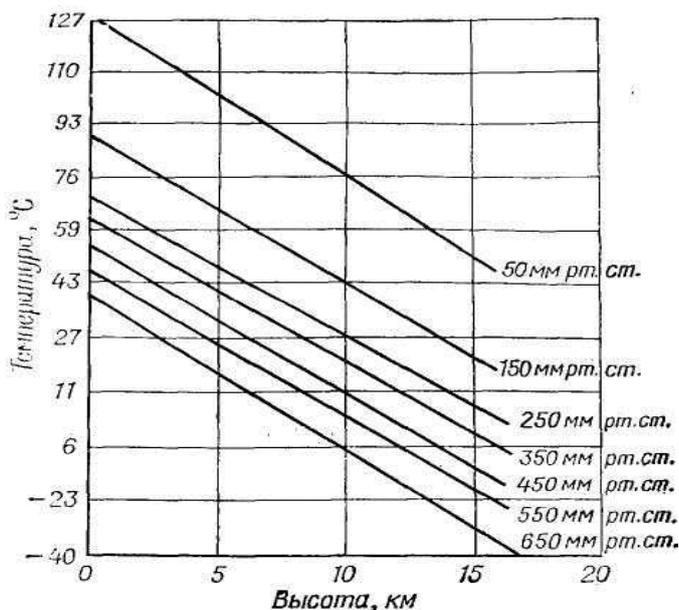
Так, при содержании 20% бензола температура начала кристаллизации бензина составляет минус 40 и минус 20°C при содержании 40% бензола. Бензин при 20°C способен растворить от 0,01 до 0,04% воды. Растворимость воды определяется в основном количеством ароматических и непредельных углеводородов, содержащихся в бензине, так как именно эти углеводороды обладают наибольшей гигроскопичностью. При понижении температуры растворимость воды уменьшается, достигая при 0°C примерно 0,005%. Тонкодисперсная эмульсия выделившейся воды в бензине существует весьма непродолжительное время. Ввиду того что все компоненты бензина являются неполярными веществами, а вязкость самого бензина мала, происходит быстрое укрупнение микрокапель воды и выпадение их в осадок за счет большой разности плотностей бензина и воды.

Нарушения подачи бензина из-за выделения из бензина высокоплавких углеводородов и кристаллов льда определяются составом бензина и возможны лишь при очень низких температурах, поэтому температура начала кристаллизации для автомобильных бензинов не нормируется.

В некоторых случаях подача бензина может быть затруднена или вообще прекратится из-за образования в топливной системе паровых или паровоздушных пробок. О склонности бензина к образованию паровых и паровоздушных пробок судят по *давлению его насыщенных паров*. Чем выше давление насыщенных паров, тем интенсивнее испаряется бензин. Если давление насыщенных паров сравняется с внешним давлением, бензин вскипает. Величина давления насыщенных паров зависит от температуры, поэтому с повышением температуры увеличивается опасность возникновения паровых и паровоздушных пробок. По этой причине в автомобильных бензинах летнего вида, предназначенных для применения в условиях повышенных температур, давление насыщенных паров ограничено 500 мм рт. ст. (66 661 Па), в то время как зимнего вида - 700 мм. рт. ст. (93 325 Па). При эксплуатации автомобилей в горных условиях опасность образования паровых и паровоздушных пробок увеличивается. На рис. 2.7 показана зависимость перебоев в работе двигателя, вызываемых образованием паровых пробок от давления насыщенных паров бензина и температуры. Давление насыщенных паров определяется на приборе ASTM D 323 по методу Рейда.

Особенно опасно образование паровых пробок и перебоев в подаче топлива в двигатель в условиях полета самолета, поэтому для авиационных бензинов давление насыщенных паров нормируется еще более жестко в пределах 220-360 мм. рт. ст. (29 326— 47 988 Па); нижний предел установлен

для обеспечения надежного пуска двигателя.



**Рис 2 7.** Изменение допустимой высоты полета самолета в зависимости от давления насыщенных паров бензина и его температуры.

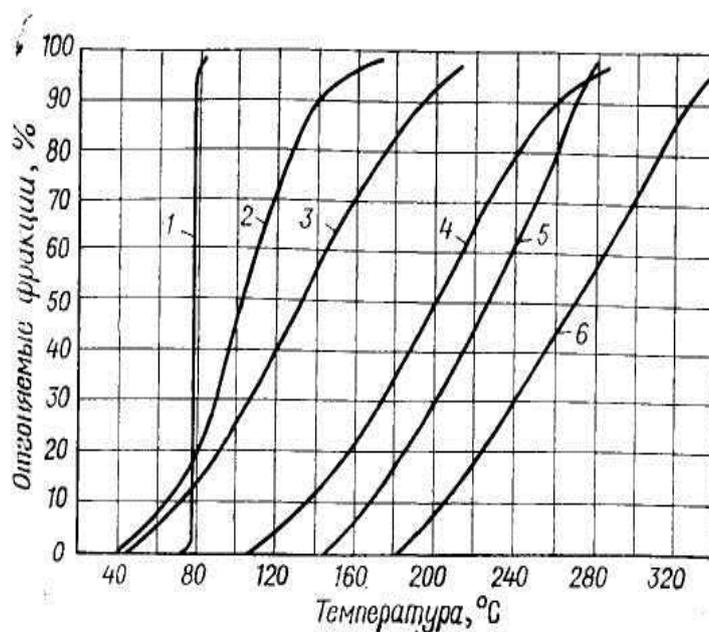
Примечание: 220-360 мм. рт. ст.-220-360 миллиметр ртутного столба.

Нарушения в подаче топлива в ряде случаев могут быть вызваны осмолением жиклеров карбюратора или иглы форсунки. Склонность бензинов к отложениям на деталях топливной системы характеризует содержание фактических смол.

**Испаряемость.** Испаряемость бензинов влияет на легкость пуска продолжительность прогрева, приемистость и устойчивость работы двигателя. От испаряемости зависит полнота сгорания и эффективность применения бензина. Испаряемость бензинов характеризуют такие его физические показатели, как фракционный состав, давление насыщенных паров, теплопроводность, теплоемкость и скрытая теплота испарения.

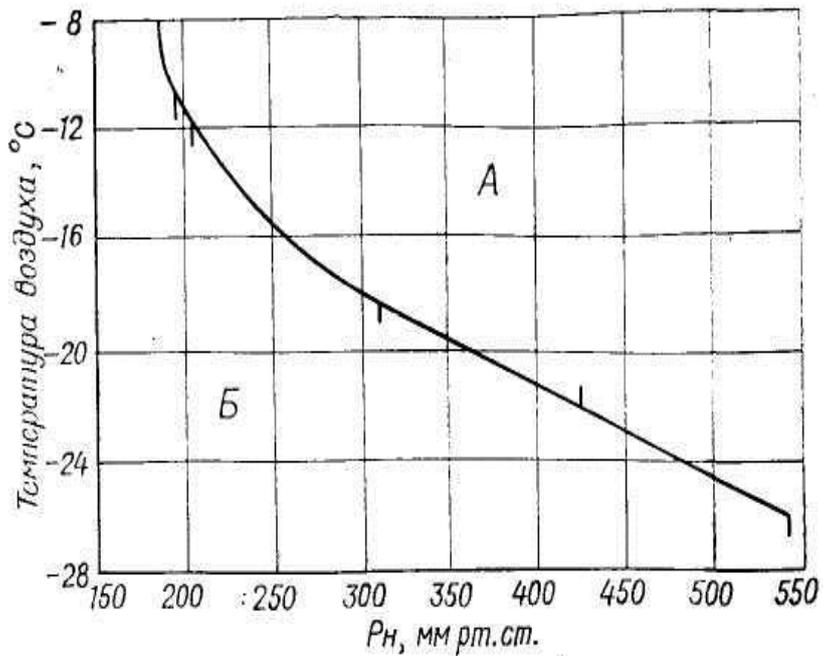
Фракционный состав наиболее полно характеризует испаряемость топлива, показывает зависимость между температурой и количеством фракций, выкипающих при этой температуре. На рис. 2.8 показаны типичные кривые фракционного состава различных топлив.

Пуск двигателя в основном затруднен при низких температурах окружающего воздуха. При пуске холодного двигателя частота вращения коленчатого вала, как правило, небольшая и колеблется от 40-50 мин<sup>-1</sup> (вручную) до 100-150 мин<sup>-1</sup> (от стартера).



**Рис. 2.8.** Типичные кривые фракционного состава различных топлив:  
 1 - бензол; 2 - авиационный бензин; 3 - автомобильный бензин;  
 4 - тракторный керосин; 5 - авиационный керосин; 6 - зимнее дизельное топливо.

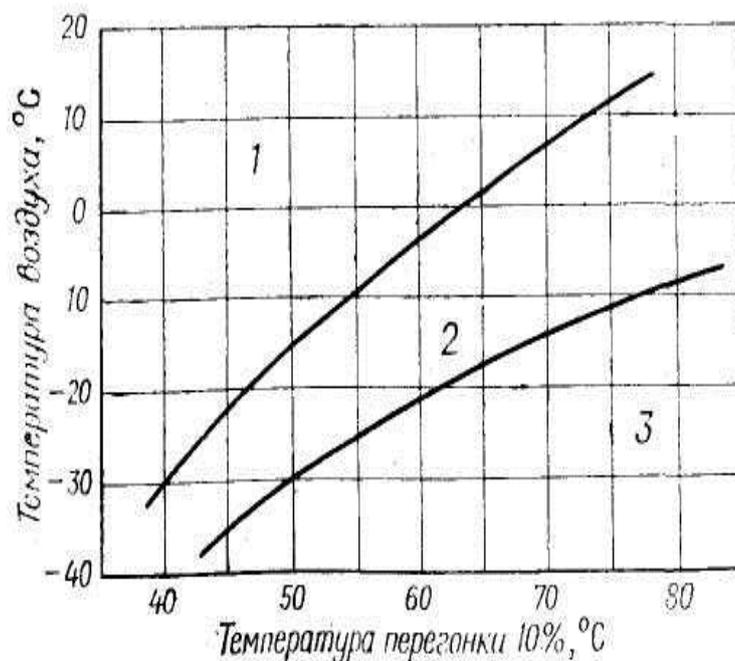
Вязкость смазочного масла с понижением температуры увеличивается (соответственно необходимо увеличивать усилие для проворачивания коленчатого вала и связанной с ним шатунно-поршневой группы). Поэтому частота вращения коленчатого вала двигателя при низких температурах всегда будет меньше, чем при повышенных. В этих условиях разрежение во впускном коллекторе и скорость потока воздуха в диффузоре карбюратора будут небольшими (3-4 м/с). При таких скоростях воздушного потока распыл бензина и подача его в цилиндры двигателя будут недостаточными. В результате образовавшаяся смесь бензина с воздухом оказывается переобедненной ( $\alpha = 1,8—2,5$ ), тогда как в пересчете на все поданное горючее  $\alpha = 0,8—0,9$ . Для устранения этого явления горючую смесь искусственно обогащают до  $\alpha = 0,8—1,0$  за счет прикрытия воздушной заслонки карбюратора при открытых жиклерах. При этом в пересчете на все поданное горючее  $\alpha$  составляет 0,1—0,2. Поэтому во избежание переобогащения смеси по мере прогрева двигателя воздушную заслонку карбюратора вновь открывают. О легкости пуска холодного двигателя судят по температуре выкипания 10% фракции и температуре начала кипения бензина, а также по давлению насыщенных паров. Чем ниже температура начала кипения и выкипания 10% фракции, чем выше давление насыщенных паров (рис. 2.9), тем легче при прочих равных условиях пустить холодный двигатель. Установлена эмпирическая зависимость температуры воздуха  $t_{\text{возд}}$ , при которой возможен легкий пуск холодного двигателя, от температуры перегонки 10% фракции  $t_{10\%}$  и температуры начала его перегонки  $t_{\text{н.к}}$ :



**Рис. 2.9.** Зависимость температуры воздуха, при которой возможен пуск двигателя, от давления насыщенных паров бензинов; А и Б — соответственно области, в которых возможен и невозможен пуск двигателя.

$$t_{\text{возд}} \geq 0,5t_{10\%} - 50,5 + \frac{t_{\text{н.к.}} - 50}{3}$$

Эти зависимости могут быть представлены и графически (рис. 2.10).

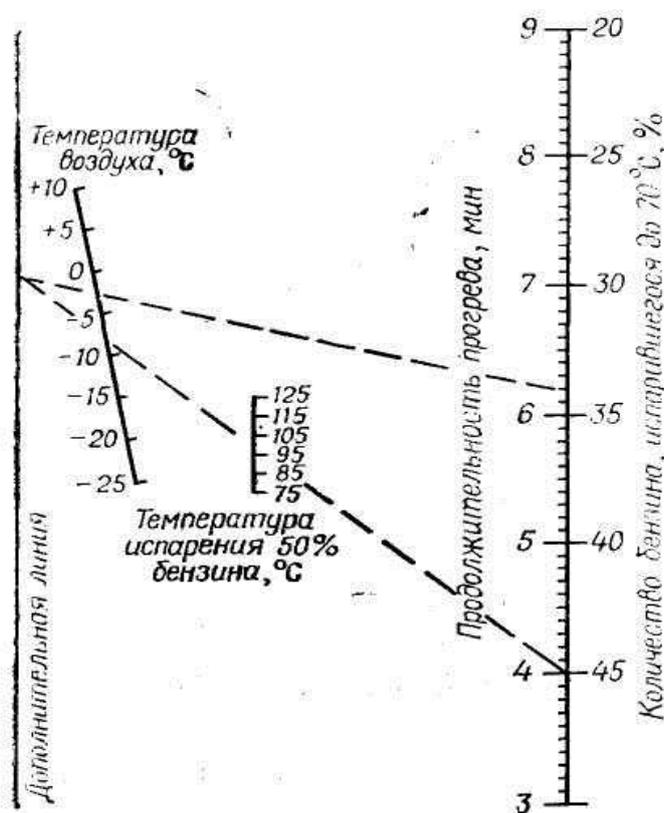


**Рис 2.10.** Зависимость между температурой перегонки 10% бензина и его пусковыми свойствами:

1- легкий пуск двигателя; 2 — затрудненный пуск; 3 — пуск практически невозможен.

Однако существует некоторая условность данных зависимостей, так как здесь мало учтены факторы конструкции камеры сгорания и впускной системы двигателя, вязкости применяемого моторного масла и др. У бензинов летнего вида температура кипения 10% нормируется не выше 70°C, а зимнего вида — 55°C. Используя приведенные зависимости, можно считать, что бензины зимнего вида могут обеспечить пуск холодного двигателя без предварительного подогрева в условиях температур до минус 30°C. Продолжительность прогрева определяется интервалом времени от пуска двигателя до выхода на тепловой режим, обеспечивающий дальнейшую эксплуатацию. Прогрев считают законченным и двигатель готовым к работе под нагрузкой, когда на режиме холостого хода достигнуто практически полное испарение бензина во впускном трубопроводе. При этом температура горючей смеси повышается за счет начавшегося обогрева впускного коллектора и достигает около впускных клапанов 30—35°C.

На продолжительность прогрева наряду с конструктивными факторами особенно сильное влияние оказывает средняя температура перегонки бензина, которая условно оценивается температурой перегонки 50% фракции. Чем ниже эта температура, тем легче и полнее происходит испарение бензина при низких температурах, тем быстрее прогревается двигатель (рис. 2.11 и табл. 3).



**Рис. 2.11.** Зависимость продолжительности прогрева двигателя от испаряемости бензина и температуры воздуха (номограмма)

Таблица. 3.

Влияние средней температуры перегонки бензина на продолжительность прогрева двигателя

Температур воздуха, °С	Продолжительность прогрева при температуре перегонки 50°С мин, бензин		
	102°С	122°С	137°С
15	4—5	6—7	8—9
— 14	9—10	12—13	15—17

Поэтому для экономии горючего и сокращения продолжительности прогрева двигателя в зимнее время необходимо утеплять капот автомобиля и прикрывать жалюзи радиаторов.

Наряду с продолжительностью прогрева температура перегонки 50% фракции сильно влияет и на приемистость двигателя, т.е. быстроту перехода двигателя на режим максимальной мощности. При резком открытии дроссельной заслонки тепловой режим двигателя нарушается из-за поступления во впускной трубопровод большого количества горючего и холодного воздуха. В результате температура во запуском трубопроводе снижается и испарение бензина ухудшается. Горючая смесь оказывается обедненной. При чрезмерном обеднении смеси двигатель вообще может заглохнуть. Для восстановления теплового равновесия требуется некоторое время. Чем ниже средняя температура перегонки бензина, тем быстрее (при прочих равных условиях) восстановятся тепловое равновесие и необходимый состав горючей смеси, а двигатель выйдет на режим максимальной мощности.

Неиспарившийся бензин, смывая масло с зеркала цилиндра и снижая вязкость моторного масла в картере (табл. 4), способствует повышенному износу двигателя.

Таблица. 4.

Изменение вязкости моторного масла в картере двигателя ЗИЛ-130

Пробы	Объемная доля бензина в масле,	Вязкость масла при 50°С, мм <sup>3</sup> /с
Свежее масло	0,0	41,0
Масло, разбавленное бензином	10,0	17,5
Масло после работы в двигателе в течение:		
5 мин	7,5	19,0
10 мин	6,4	20,6
30 мин	3,5	25,9
60 мин	1,9	32,0
24 ч	0,8	35,7

**Детонационная стойкость** автомобильных бензинов характеризуется октановым числом, а авиационных бензинов, кроме этого, еще и сортностью. **Октановое число** – условная величина, численно равная процентному (по объему) содержанию изооктана (2,2,4-триметилпентана) в такой его смеси с нормальным гептаном, которая по своей детонационной стойкости в стандартных условиях испытания на специальных моторных установках эквивалентна испытываемому топливу. При этом детонационная стойкость изооктана условно принята за 100 единиц, а нормального гептана за 0. Для автомобильных бензинов нормируется октановое число, определяемое по моторному и исследовательскому методам. В настоящее время октановое число по моторному и исследовательскому методам определяется на специальной одноцилиндровой моторной установке: УИТ-85 (УИТ-65) (ручной), ASTM D 2699, В 2700 автоматический (Американского производства), но при различных режимах испытания (частота вращения коленчатого вала, температура, влажность и др.). Моторный метод моделирует работу двигателей на форсированных режимах при длительных нагрузках, характерных для работы машин в загородных условиях; исследовательский метод – работу двигателей машин при меньших нагрузках и температурных режимах, характерных для городских условий (частые остановки, неполная загрузка транспортного средства и т.п.).

Октановые числа одного и того же бензина, определенные моторным и исследовательским методами, различаются между собой. Например, для бензина Аи-93 октановое число, определенное по исследовательскому методу, примерно на 8 единиц выше, чем по моторному методу. Разность между октановыми числами, определенными по исследовательскому и моторному методам, называют чувствительностью бензина.

Различные углеводородные фракции бензина имеют различную детонационную стойкость. Поэтому фракционирование бензина во впускном коллекторе двигателя, которое особенно, заметно проявляется при резком открывании дроссельной заслонки, в некоторых случаях приводит к появлению детонационных стуков в двигателе.

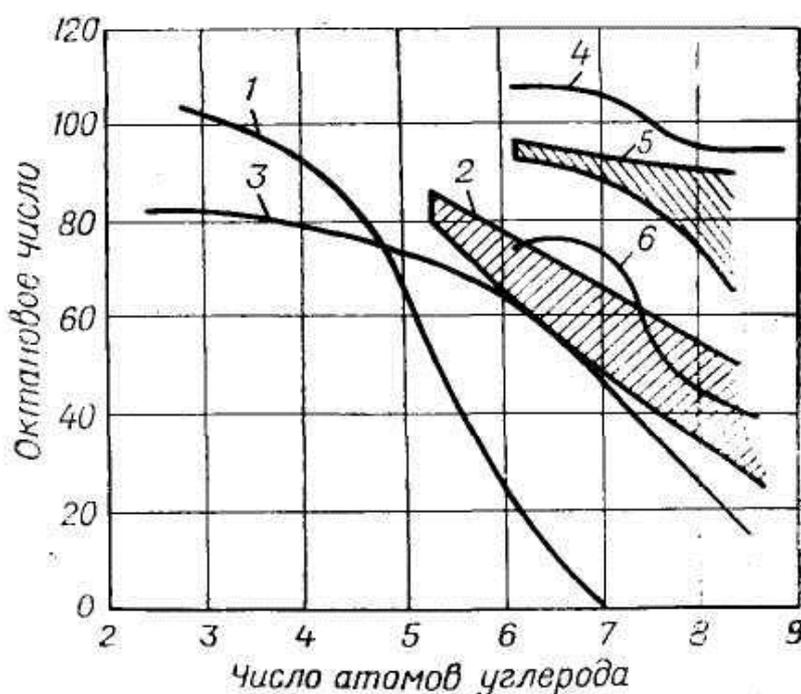
Условия работы авиационных поршневых двигателей отличаются от условий, в которых работают автомобильные двигатели, частотой вращения коленчатого вала, температурным режимом, наличием наддува и др. Поэтому для оценки детонационной стойкости авиационных бензинов наряду с октановым числом нормируется так называемая сортность на богатой смеси и в условиях наддува. Сортность горючего показывает, насколько больше или меньше можно получить мощность (или среднее индикаторное давление) при работе специального одноцилиндрового двигателя на богатой смеси на испытываемом горючем по сравнению с мощностью, развиваемой этим же двигателем на изооктане, мощность на котором условно принята за 100% или 100 единиц сортности. Например, сортность 115 бензина Б-91/115 показывает, что этот бензин при работе специального одноцилиндрового двигателя обеспечивает увеличение мощности на 15% по сравнению с работой на чистом изооктане. В качестве специального

одноцилиндрового двигателя при определении сортности бензинов в НПЗ применяется моторная установка ИТ9-1.

Повышение детонационной стойкости бензинов достигается подбором углеводородного состава, добавлением высокооктановых компонентов и введением специальных присадок - антидетонаторов.

Детонационная стойкость углеводородов зависит от их молекулярной массы и строения и повышается в ряду: н-алканы, н-алкены, цикланы, изоалкены, арены (ароматические). С повышением молекулярной массы детонационная стойкость углеводородов всех классов снижается.

На рис. 2.14 и в табл. 5. показано изменение детонационной стойкости углеводородов различных классов в зависимости от их строения.



**Рис. 2.14.** Зависимость детонационной стойкости углеводородов от строения и молекулярной массы: 1-н-алканы; 2 — моноалкилалканы; 3 - алкены; 4 - моноароматические; 5 — диалкилалканы; 6 — моноцикланы.

Получение высокооктановых бензинов путем только подбора углеводородного состава весьма затруднительно и экономически нецелесообразно из-за большой сложности выделения и незначительного содержания в сырой нефти высокооктановых фракций. Поэтому для повышения детонационной стойкости к базовым бензинам добавляют высокооктановые компоненты, представляющие собой продукты вторичной переработки и органического синтеза. В качестве высокооктановых компонентов используются смеси изоалканов и ароматических углеводородов. Свойства некоторых высокооктановых компонентов приведены в табл.6.

Таблица.5.

## Детонационная стойкость углеводородов

Углеводороды	Октановое число		Сортность на богатой смеси с добавкой 1,05 мл/л ТЭС
	Исследовательский метод	Моторный метод	
Н-гептан	0	0	—200
2,2-диметилпентан	93	93	143
Н-октан	Ниже 0	—17	— 220
2, 2, 4-триметилпентан	100	100	154
2, 2, 3-триметилпентан	104	102	238
'?', 2, 4-триметилпентан-4	103	89	150
Циклопентан	93	83	315
Метилциклопентан	91	82	200
Циклогексан	83	77	188
Метилциклогексан	75	71	120
Бензол	113	108	220
Толуол	107	104	250
Этилбензол	104	98	250

Таблица.6.

## Основные свойства высокооктановых компонентов

Показатель	Изооктан технический	Алкилат	Изопентан технический	Алкил бензол	Пиробензол
Октановое число по моторному методу	90—98	88—95	88—91	94—96	84—92
Сортность на богатой смеси с 4 мл этиловой жидкости на 1кг бензина	145—155	140-155	142-144	240-260	215-220
Пределы перегонки, °С	50-185	60-190	24-90	105-182	80—180
Давление насыщенных паров при 38°С, мм рт.ст.	100-300	115-210	950-1000	ниже 50	ниже 50
Температура начала кристаллизации, °С	ниже — 60	ниже — 60	ниже — 60	ниже — 60	От 0 до -20
Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	690-710	700-710	600-640	860-870	850-860

Ароматические компоненты повышают октановое число и сортность, а изоалкановые - главным образом октановое число. Добавление ароматических компонентов ограничивается тем, что они ухудшают другие эксплуатационные свойства бензинов: повышают гигроскопичность, нагарообразующую способность и вызывают перегрев двигателя.

Антидетонационными свойствами обладают металлоорганические соединения свинца, марганца, железа, олова, хрома, висмута, кобальта и др, а также органические вещества, например ароматические амины, некоторые эфиры, гомологи нафталина.

Таблица.7.

## Влияние ТЭС на антидетонационные свойства бензинов

Горючее	Преобладающие углеводороды	Октановое число (моторный метод) три содержания ТЭС (г/кг)					Прирост октанового числа от 3,3 г/кг ТЭС
		0	0,8	1,6	2,3	3,3	
Алкилбензол	Ароматические	96	98	99,5	100,5	101	5
Алкнлат	Изопарафин	91	97	101	103	105	14
Бензин Б-70	Нафтены	70	80	85	87	89	19
Бензин грозненский	Парафины	59	70	79	84	86	27
парафшшетон нефти							
Бензин каталитического крекинга	Ароматические (35%) и парафиновые (52%)	78	84	88	91	94	16
Бензин термического крекинга	Непредельные (45-50%) и парафиновые (39-44%)	70	79	81,5	—	—	—

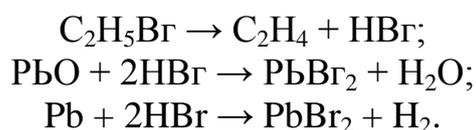
Наибольшее распространение во всем мире в качестве антидетонатора получили тетраэтилсвинец  $(C_2H_5)_4Pb$  и тетраметилсвинец  $(CH_3)_4Pb$ .

Тetraэтилсвинец представляет собой бесцветную прозрачную жидкость с плотностью  $1652,4 \text{ кг/м}^3$ , кипящую (с разложением) при  $200^\circ\text{C}$ . Нерастворим в воде, хорошо растворим в углеводородах, спирте, эфире, ацетоне. ТЭС эффективно повышает октановое число бензина при добавлении до  $3\text{—}4 \text{ г/л}$  ( $0,3\text{—}0,4\%$ ). Дальнейшее повышение концентрации ТЭС малоэффективно.

Бензины различного углеводородного состава обладают различной приемистостью к ТЭС, т. е. при добавлении одинакового количества ТЭС октановое число различных бензинов повышается неодинаково (табл.7).

Наибольшей приемистостью к ТЭС обладают парафиновые углеводороды, наименьшей — ароматические и непредельные углеводороды. Нафтеновые углеводороды занимают промежуточное положение. Повышение содержания сернистых соединений снижает приемистость бензинов к ТЭС.

При сгорании бензина, содержащего ТЭС, образуется окись свинца, имеющая низкую летучесть ( $t_{пл}=888^\circ\text{C}$ ); часть ее отлагается на стенках камеры сгорания, свечах, клапанах, что может привести к быстрому выходу двигателя из строя. Поэтому к ТЭС добавляют специальные вещества — выносители свинца. В качестве выносителей свинца наибольшее распространение нашли галоидоалкилы ( $C_2H_5Br$ ,  $C_2H_4Br_2$  и др.) Галоидоалкилы превращают при повышенных температурах металлический свинец и окись свинца в «летучие» галоидопроизводные:



В условиях повышенных температур галоидопроизводные свинца находятся в парообразном состоянии и практически полностью выносятся из камеры сгорания (КФК – 3 для определения свинца в бензине по ГОСТ (ТУ) 288828-90).

В Ферганским и Бухарскими нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) в качестве антидетонационной присадки в основном вырабатываются этиловая жидкость Р-9, которая состоит из 54% ТЭС, 33% бромистого этила, 6,8+0,5% - монохлорнафталина, 0,1% красителя и наполнителя (керосин или бензин) до 100%. Выпускается также жидкость П-2 с малолетучим выносителем дибромпропаном и 1-ТС с дибромэтаном.

Все этилированные бензины окрашены.

Этилированные бензины в условиях применения по ядовитости практически не отличаются от неэтилированных. Их ядовитость проявляется только при чистке и ремонте тары из-под этилированного бензина, при ремонте двигателей, работавших на этилированном бензине, при частом попадании этилированного бензина на кожу и одежду, при проливах этилированного бензина в закрытых помещениях. Проведены широкие испытания антидетонаторов на основе соединений марганца. Марганцевые антидетонаторы – циклопентадиенилтрикарбонил марганца (ЦТМ) и метилциклопентадиенилтрикарбонил марганца (МЦТМ). Эффективность ЦТМ, МЦТМ, ТЭС при добавлении одинакового количества в товарные автомобильные бензины примерно одинакова. Однако при одинаковой концентрации металла в бензине марганцевые антидетонаторы более эффективны. Основным преимуществом ЦТМ – добавление в концентрации 1 г/кг не повышает токсичность бензина, чем ТЭС. Однако широкое внедрение ЦТМ и МЦТМ сдерживается тем, что нагар, остающийся в двигателе (на стенках камеры сгорания и свечах зажигания) после сгорания бензина с ЦТМ и МЦТМ, электропроводен, что вызывает перебои в работе свечей зажигания.

**Склонность к отложениям.** В процессе хранения и применения в двигателях бензины образуют отложения в резервуарах, топливных баках, системе питания (низкотемпературные), в камере сгорания, на поршнях и клапанах (высокотемпературные). Склонность бензинов к отложениям оценивается по содержанию смол, непредельных углеводородов и индукционному периоду, а также периоду стабильности и содержанию ТЭС. Смолы представляют собой продукты окислительной полимеризации и конденсации углеводородов. По мере усложнения состава и повышения молекулярной массы и концентрации растворимость смолистых веществ в бензине уменьшается, и они выпадают в осадок в виде темно-коричневых липких отложений.

Смолы вызывают засорение топливной системы, откладываются на

стенках топливных баков, покрывают пленкой сетчатые топливные - фильтры, уменьшают проходное сечение топливопроводов. Слой смолистых отложений на диффузоре, распылителях и других деталях карбюратора может привести к перебоям в работе двигателя. Содержание смолистых веществ в бензине оценивается показателем «концентрация (содержание) фактических смол» (табл.8).

Опасны не только уже образовавшиеся смолы, но и так называемые потенциальные смолы, т. е. те смолы, которые образуются во время приготовления горючей смеси в условиях тонкого распыла высокой турбулентности воздушного потока и повышенных температур во впускной системе. Склонность бензинов к отложениям увеличивается с понижением химической стабильности, которая определяется в основном содержанием непредельных углеводородов. Поэтому бензины термического крекинга, или содержащие компоненты термического крекинга (бензины А-72, А-76), наиболее склонны к образованию низкотемпературных отложений. Содержание в бензинах непредельных углеводородов оценивается йодным числом. Более достоверный прогноз склонности бензинов к смолообразованию дает определение индукционного периода. Окисление бензина является автокаталитическим процессом, так как образующиеся продукты окисления каталитически ускоряют процесс смолообразования.

Таблица.8.

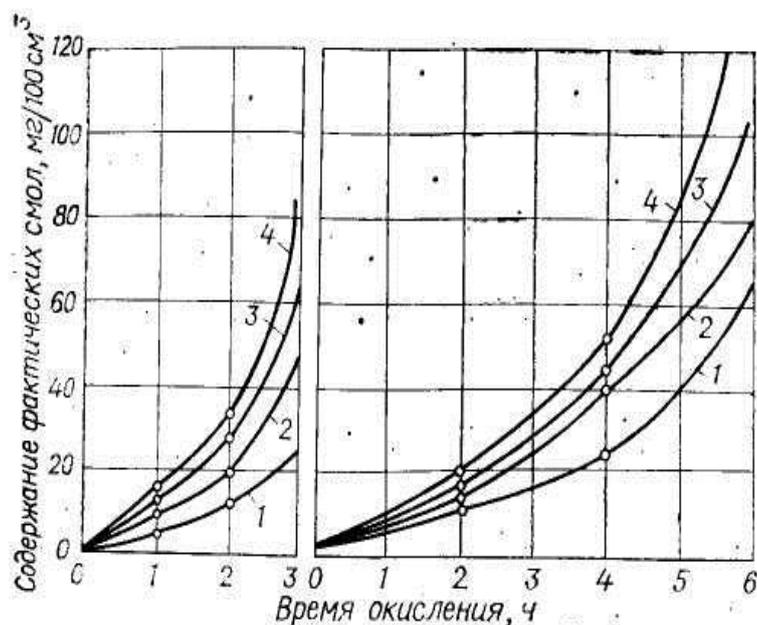
Состояние двигателя в зависимости от содержания фактических смол в бензине

Содержание фактических смол, мг/100 мл	Состояние двигателей после 50 ч работы	Пробег автомобилей до появления неисправностей из-за смол в бензине, км
До 10	Во впускной системе и цилиндрах отложений не наблюдается	Неограниченный
11 — 15	Слабые следы отложений на клапанах и стенках впускного трубопровода	Не более 25 000
16-20	Небольшие отложения на стенках впускного трубопровода и клапанах	Не более 16 000
21-25	Заметные отложения в системах питания и смесеобразования	Не более 8000
26—50	Значительные отложения на стенках впускного трубопровода, клапанах. Сечение впускного трубопровода уменьшилось на 20—25%.	Не более 5000
50—100	Большие отложения в системах питания и смесеобразования. Распылители, диффузор и дроссель покрыты липкими осадками	Не более 2000

Осмоление бензинов каталитически ускоряют цветные металлы (медь, свинец), а также ржавчина. Поэтому разложение ТЭС не только снижает детонационную стойкость бензина, но и ускоряет процессы

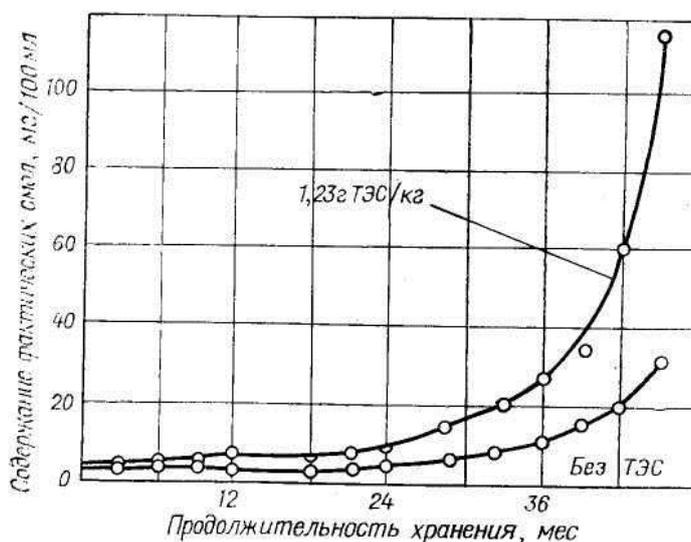
смолообразования (рис. 2.17 и 2.18).

Разложение ТЭС сопровождается выпадением из жидкой фазы кристаллического или хлопьевидного осадка, который в некоторых случаях сам может явиться причиной засорения топливных фильтров и карбюратора.



**Рис. 2.17.** Влияние ТЭС на окисление бензина (при 100° С):  
а — нестабилизированного автомобильного; б — с антиокислителями в количестве 50 мг/100 см<sup>3</sup>;  
1 — бензин без ТЭС; 2 — бензин с 0,41 г ТЭС/кг; 3 — бензин с 0,82 г ТЭС/кг; 4 — бензин с 1,23 г ТЭС/кг.

Для предотвращения разложения ТЭС и смолообразования в бензины вводят антиокислительные присадки (ингибиторы окисления). В качестве антиокислительных присадок к бензинам широкое применение находят древесно-смоляной антиокислитель, получаемый из смолы сухой перегонки березы, антиокислители фенольного типа ФИ-16, ионол. Эти антиокислительные присадки, добавленные в бензин в небольших количествах (0,05—0,15% — древесно-смоляной антиокислитель, 0,03—0,1 % — ФИ-16 или ионол и 0,007-0,01% п-оксидифениламин), эффективно замедляют процессы смолообразования и разложения ТЭС.



**Рис. 2.18.** Влияние ТЭС на окисление товарного автомобильного бензина в условиях хранения при температурах окружающего воздуха в средней климатической зоне.

В процессе хранения содержание антиокислительных присадок в бензинах снижается за счет срабатывания и вымывания водой. Вода экстрагирует антиокислители, извлекая их из бензина, что также способствует разложению ТЭС. Поэтому не допускается хранение бензинов в контакте с водой и тем более на «водяной подушке».

К высокотемпературным отложениям относятся лаки и нагары, образующиеся в процессе сгорания горючего и отлагающиеся на деталях цилиндропоршневой группы, клапанах и впускном тракте двигателя. Отложения на клапанах могут вызвать их зависание и выход из строя двигателя. Отложения на стенках камеры сгорания и поршня увеличивают степень сжатия. Имея плохую теплопроводность, нагар ухудшает отвод тепла, что повышает тепловую напряженность двигателя. Он способствует также возникновению преждевременного воспламенения рабочей смеси.

Количество и характер отложений в двигателе зависит от состава бензина, присутствия в нем ароматических и сернистых соединений, смолистых веществ, добавок и присадок.

Нагарообразование вызывают главным образом высококипящие фракции и сернистые соединения. Снижение температуры конца кипения (температуры кипения 97,5% фракции) и удаление сернистых соединений резко уменьшают нагарообразование. На нагарообразование существенно влияет углеводородный состав горючего. Продукты термического крекинга дают больше нагара, чем фракции прямой перегонки, так как ароматические углеводороды являются одним из основных источников нагара. Их склонность к нагарообразованию возрастает с повышением молекулярной массы. Смолистые вещества в бензине не оказывают значительного влияния на образование нагара, но образуют лаковые отложения на юбке и в канавках поршня, на кольцах и клапанах. На образование нагара сильно влияет содержание в бензинах ТЭС. При повышении содержания ТЭС коли-

чество нагара возрастает. Свинцово-бромистые соединения, содержащиеся в нагаре, электропроводны. Поэтому в ряде случаев происходят перебои в работе двигателей из-за образования нагарных мостиков между электродами свечей.

Концентрация ТЭС в бензине, г/кг ....	0	0,27	0,54	1,0	1,5
Масса нагара на пластинке в двигателе, мг/ч	2,0	7,6	8,8	12,7	14,0

Нагар является основной причиной быстрого выхода из строя автомобильных двигателей в случае применения этилированных авиационных бензинов, так как автомобильные двигатели конструктивно не рассчитаны на применение бензинов с высоким содержанием ТЭС.

Антиокислительные присадки, добавляемые к бензинам, уменьшают нагаро- и лакообразование. Для устранения последствий нагарообразования в ряде случаев используются специальные присадки к бензинам, представляющие собой органические соединения фосфора (трикрезилфосфат, трибутилфосфат, бороалкилборные кислоты и их эфиры). Механизм действия этих присадок в этилированных бензинах заключается в образовании свинцово-фосфорных и свинцово-борных соединений, снижающих температуру воспламенения бензина, что прекращает тление нагретых частиц.

### Перспективное горючее для карбюраторных двигателей

Перспектива применения спиртов и спиртобензиновых смесей в качестве горючего для карбюраторных двигателей обусловлена относительной дешевизной и широкими сырьевыми ресурсами производства спиртов. Наиболее перспективными являются метиловый  $\text{CH}_3\text{OH}$  и этиловый  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  спирты (табл. 9).

Таблица.9.

Основные показатели метилового и этилового спиртов

Показатель	$\text{CH}_3\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Плотность при 20 <sup>0</sup> С, кг/м <sup>3</sup>	781	789
Вязкость при 20 <sup>0</sup> С, мм <sup>2</sup> /с (сСт)	0,55	1,76
Температура кипения, <sup>0</sup> С	64,6	78,3
Температура плавления, <sup>0</sup> С	- 94,9	- 117,0
Температура самовоспламенения, <sup>0</sup> С	464	423
Теплоемкость при 20 <sup>0</sup> С, кДж/кг-град (ккал/кг-град)	2,5 (0,60)	2,43 (0,58)
Теплота испарения, кДж/кг (ккал/кг)	1100 (263)	900 (214)
Октановое число по моторному методу (ОЧМ)	90	88
Октановое число по исследовательскому методу (ОЧИ)	110	106
Теплота сгорания, кДж/кг (ккал/кг)	22 274 (5320)	29 726 (7100)

Метиловый спирт (метанол) имеет более широкую сырьевую базу и производство его дешевле, поэтому в настоящее время он рассматривается

как наиболее вероятный заменитель бензина, хотя и имеет несколько худшие энергетические характеристики/по сравнению с этиловым спиртом (этанолом).

Хотя спирты обладают несколько худшими по сравнению с бензинами энергетическими характеристиками ввиду высокой детонационной стойкости, они в чистом виде и особенно в смеси с бензинами являются весьма перспективным горючим для карбюраторных двигателей автомобилей (табл.10).

Таблица.10.  
Детонационная стойкость спиртометанольных смесей

Октановое число	Бензин	Бензин -15% метанола	Бензин +10% метанола
ОЧИ	91,8	93,9	96,1
ОЧМ	83,5	84,9	85,1

Сгорание спиртов по сравнению с бензинами характеризуется большими скоростями и полнотой, а также более низкими температурами. В отработавших газах двигателя, работающего на спирте и спиртобензиновых смесях, содержится гораздо меньше токсичных соединений, особенно СО и NO. Характерной особенностью применения спиртов является низкое нагарообразование в камере сгорания. Добавка спиртов к бензину повышает эффективный КПД и мощность двигателя, вместе с этим увеличивается расход горючего. Оптимальное содержание этанола и метанола в спиртобензиновой смеси лежит в пределах 10—20%. Хотя этанол и метанол обладают лучшей, чем бензин, испаряемостью, высокая теплота испарения спиртов затрудняет пуск двигателя, особенно при низких температурах. По сравнению с бензином спиртовоздушные смеси устойчиво сгорают в двигателе до  $\alpha = 1,5—1,6$ . Недостатком спиртобензиновых смесей является их низкая физическая стабильность, так как они склонны к расслаиванию. При этом склонность к расслаиванию растет при увеличении содержания воды в спирте и понижении температуры. Для стабилизации спиртобензиновых смесей могут быть использованы такие добавки, как изопропанол, изобутанол и гексанол. Стабильные смеси с бензином образует метилтребутиловый эфир (МТБЭ), который получают из метанола и изобутилена. Испытания показали вполне удовлетворительные эксплуатационные характеристики МТБЭ на серийных автомобилях. Для применения спиртов и спиртобензиновых смесей не требуется значительных изменений в системе питания двигателя. Для сохранения заданной величины пробега автомобиля без дозаправки увеличиваются или устанавливаются дополнительные топливные баки, корректируется состав топливовоздушной смеси, приготовляемой в карбюраторе, вводится (при применении чистых спиртов) система облегчения пуска двигателя путем добавки легкоиспаряющихся углеводородов – бутана, изопентана, диметилового

эфира и др., заменяются материалы, нестойкие к спиртам (свинец, прокладочные материалы).

Серьезным препятствием для широкого применения метанола является его высокая токсичность как в жидком, так и в газообразном состоянии.

### Газообразные топлива

В целях расширения топливных ресурсов проводятся работы по применению в качестве топлив для карбюраторных двигателей сжатых и сжиженных газов, обычно смеси пропана и бутана. В качестве компонентов сжиженных газов обычно используют природные газы (газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождений) и углеводородные газы, получаемые при переработке жидких и твердых топлив. Некоторые физические и эксплуатационные показатели углеводородов приведены в табл.11.

Таблица.11

Основные физические и эксплуатационные показатели некоторых углеводородов

Углеводород	Молярная масса	Критическая температура, °С	Температура кипения, °С	Октановое число	
				по моторному методу	по исследовательскому методу
CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,09	96,8	— 42,1	96,3	111,9
Пропилен C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,08	92,3	— 47,0	84,9	102,6
Н-бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	152	— 0,5	90,1	95,8
Изобутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,12	123,7	— 11,7	98,0	102,1
Н-бутилен C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,10	144	— 6,3	80,0	91,4
Изобутилен C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,10	143	0,9	88,0	101,0
Н-пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,12	197	36,1	89,0	94,6

Газообразные топлива обладают очень хорошей детонационной стойкостью, поэтому могут обеспечить работу практически всех существующих карбюраторных двигателей внутреннего сгорания. Они не смывают масляной пленки с поверхности цилиндра, поэтому уменьшается износ цилиндропоршневой группы. В газообразных топливах отсутствуют тяжелые углеводородные фракции, которые в случае применения бензинов вызывают разжижение масла в картере двигателя. В отработавших газах двигателя, работающего на газообразном топливе, содержится в три-четыре раза меньше СО, чем в газах двигателя, работающего на бензине, за счет большей равномерности смеси и полноты сгорания.

Сжиженные газы хранят в металлических баллонах под давлением до 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>) при температуре до 50° С.

В результате современные двигатели, предназначенные для работы на бензине, при работе на сжиженных газах развивают меньшую (на 6—8%) мощность при одновременном увеличении (на 10—12%) среднего эксплуатационного расхода топлива из-за гораздо меньшей плотности

сжиженных газов по сравнению с бензином. В настоящее время на основе бензинового двигателя ЗИЛ-130 создан базовый двигатель ЗИЛ-138, предназначенный для работы на сжиженном пропан-бутане. Степень сжатия этого двигателя увеличена до 8, и он развивает мощность, одинаковую с ЗИЛ-130 (150 л.с). Грузовой автомобиль с двигателем ЗИЛ-138 вместо обычных топливных баков оборудован двумя баллонами по 117,4 л или одним баллоном вместимостью 255 л с сжиженным пропан-бутаном. Контрольный расход топлива на различных модификациях этого автомобиля составляет 44— 57 л на 100 км. Автомобиль может работать и на обычном бензине.

Смесь газообразного топлива с воздухом взрывоопасна в широком диапазоне концентраций и температур. К тому же природный и особенно промышленный газы имеют слабый запах, что увеличивает опасность взрыва. Поэтому сжиженные газы целесообразно одоризировать, т.е. придавать запах.

**Водород** является одним из наиболее перспективных топлив для ДВС. Он удовлетворяет самым жестким требованиям к энергетическим свойствам и экологическим показателям. Концентрационный диапазон воспламеняемости водорода в смеси с воздухом один из самых широких и лежит в пределах от 4 до 75% объемных. В условиях камеры сгорания при  $\alpha=1$  скорость распространения пламени в водородно-воздушной смеси примерно в три раза выше, чем в бензиновоздушной смеси. Водород в ДВС может применяться в чистом виде и в виде бензиноводородных смесей. На борту автомобиля водород может храниться в газообразном или жидком состоянии, а также в виде гидридов металлов (Li, K, Mg, Fe и др.). При нагреве порошка гидридов металлов водород выделяется и направляется в систему топливоподачи. При прекращении подачи тепла выделение водорода прекращается.

Наиболее сложной является задача хранения жидкого и газообразного водорода на борту автомобиля. В табл. 12 показаны сравнительные данные по системам хранения топлива, обеспечивающим пробег автомобиля, равный 418 км.

Таблица.12

Сравнительные данные по системам хранения бензина и водорода

Показатель	Бензин	Сжатый водород	Жидкий водород	Гидрид металла
Масса топлива, кг	53,5	13,4	13,4	17,7
Объем топлива, м <sup>3</sup>	0,07	1,0	0,19	-
Масса бака, кг	13,6	1361	181	213,6

Одним из способов получения водорода непосредственно на борту автомобиля является способ, основанный на способности некоторых металлов, таких, как Li, K, Na, Al, Mg и др., вытеснять водород из воды в

соответствии с реакцией  $Me + H_2O \rightarrow MeO + H_2\uparrow$ , где Me - металл.

Однако все известные способы получения водорода значительно дороже, чем способы получения бензинов, газообразных топлив или спиртов. Это в значительной мере сдерживает работы по широкому внедрению водорода в качестве топлива для ДВС.

## **ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА**

### **ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ**

Особенности рабочего процесса и требования, предъявляемые к качеству дизельного топлива

К дизельным топливам относятся топлива для двигателей с воспламенением топливовоздушной смеси от сжатия (дизелей). Дизели устанавливаются на автотракторной, бронетанковой и морской технике, а также используются в качестве силовых агрегатов подвижных, передвижных и стационарных установок.

Дизельные двигатели на 25-30% более экономичны, чем карбюраторные, а стоимость производства дизельных топлив ниже, чем бензинов. Поэтому доля дизельных топлив в топливно-энергетическом балансе и общий объем их производства в НПЗ, как и в других промышленно развитых странах мира, постоянно увеличиваются.

Специфической особенностью дизеля является то, что смесеобразование в нем происходит непосредственно в камере сгорания, а образовавшаяся рабочая смесь самовоспламеняется за счет энергии адиабатические сжатого воздуха.

Условия испарения, смесеобразования и сгорания в дизеле сильно отличаются от условий, в которых протекают эти процессы в карбюраторном двигателе.

Впрыск топлива производится в среду горячего ( $500-700^0C$ ) и сильно сжатого воздуха (степень сжатия в дизеле достигает 14-18 и выше). Для обеспечения хорошего распыла (средний диаметр капель 10-100 мкм) и смесеобразования топливо в цилиндр подается под давлением (до 150 МПа и выше). Для этого используется специальная аппаратура, включающая насосы высокого давления и форсунки или насосы-форсунки. Вследствие этого топливная система дизеля гораздо сложнее, чем у карбюраторного двигателя.

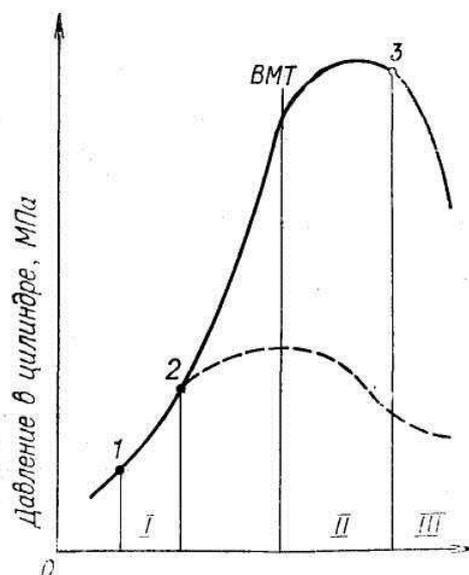
Топливо в дизеле не только выполняет роль горючего, но и используется в качестве смазочного материала трущихся пар топливной аппаратуры.

Процесс смесеобразования включает: распыливание вводимой порции топлива, распределение капель в камере сгорания, испарение и диффузию

паров топлива. В быстроходных дизелях смесеобразование осуществляется в весьма короткие промежутки времени (за 0,003-0,006 с). К началу воспламенения (период задержки воспламенения составляет 0,0015-0,003 с) процессы смесеобразования не успевают завершиться во всем объеме камеры и продолжают развиваться одновременно с процессом горения топливовоздушного заряда. При этом вследствие повышения температуры скорости процессов физико-химической подготовки еще не участвующего в горении топлива значительно увеличиваются. Однако в дальнейшем условия воспламенения и горения топлива, особенно поступающего в конце впрыска, ухудшаются из-за недостаточного подвода кислорода в зону реакции и фракционирования при испарении капель топлива (в последнюю очередь испаряются и участвуют в горении высококипящие углеводороды с большой молекулярной массой). В этих условиях горение последних порций топлива замедляется, что при повышенных нагрузках является одной из причин дымления дизеля.

На рис.2.22 показана индикаторная диаграмма рабочего процесса двигателя с воспламенением от сжатия, развернутая по углу поворота коленчатого вала. Пунктиром показано изменение давления в камере сгорания неработающего двигателя. В непрерывном рабочем процессе можно условно выделить три стадии.

**К первой стадии** относятся процессы, протекающие в камере сгорания от момента начала впрыска (точка 1) до образования очага пламени. С момента образования очага пламени начинается резкое повышение давления, этот момент характеризуется на индикаторной диаграмме точкой отрыва линии давления работающего двигателя (точка 2) от линии сжатия.



Угол поворота коленчатого вала, град

**Рис. 2.22.** Развернутая индикаторная диаграмма рабочего процесса дизельного двигателя.

Период времени от начала впрыска до начала горения называется периодом

задержки воспламенения. В этот период времени происходят распыливание, смешение и испарение топлива, а также его предпламенные превращения, заканчивающиеся в некоторых частях смеси образованием первичных очагов горения. К началу воспламенения достаточно глубокие химические процессы окисления успевают пройти только в небольшой части топливного заряда. В дальнейшем эти процессы развиваются в условиях более высоких температур и давлений, обусловленных сгоранием последующих порций топлива.

**Во второй стадии** происходит распространение турбулентного горения по топливовоздушной смеси. Вторая стадия начинается с момента самовоспламенения (точка 2) и длится до точки 3. После образования первоначальных очагов воспламенения и начавшегося турбулентного горения возможно образование новых очагов, от которых также распространяется фронт пламени по горючей смеси. Если предпламенная подготовка смеси в первой стадии развивалась недостаточно быстро, то к моменту начала воспламенения в камере сгорания накапливается излишне большое количество гетерогенной топливовоздушной смеси и практически одновременно возникает большое количество начальных очагов воспламенения. В этих случаях зона реакции может распространяться за счет самоумножения очагов воспламенения - последовательного самовоспламенения предварительно подготовленной горючей смеси. Такое горение обычно приводит к высокой скорости нарастания давления и жесткой работе двигателя.

**В третьей стадии** происходит догорание рабочей смеси в цилиндре двигателя. Оно происходит в условиях высоких температур и уменьшенной концентрации кислорода при движении поршня к НМТ. В фазе догорания существенное влияние на скорость сгорания оказывает повышенная концентрация продуктов сгорания. От количества смеси, догорающей в третьей стадии, и условий догорания зависит полнота сгорания топлива и дымления двигателя.

Мягкая и жесткая работа двигателя определяется скоростью нарастания давления в камере сгорания на градус поворота коленчатого вала и зависит главным образом от периода задержки самовоспламенения топлива. Средняя величина жесткости работы современных быстроходных дизелей находится в пределах 0,4 - 0,5 МПа/град п.к.в (в зависимости от степени сжатия). При больших скоростях нарастания давления наблюдается жесткая работа двигателя. *Период задержки самовоспламенения (ПЗВ)* топлива оказывает решающее влияние на скорость нарастания давления в камере сгорания и зависит при прочих равных условиях от строения и химической активности углеводородов, входящих в состав дизельного топлива. Наибольшим ПЗВ обладают ароматические углеводороды, далее идут изоалканы, нафтены и непредельные углеводороды. Наименьшим ПЗВ обладают алканы нормального строения. ПЗВ уменьшается для углеводородов одинакового строения по мере увеличения их молекулярной массы.

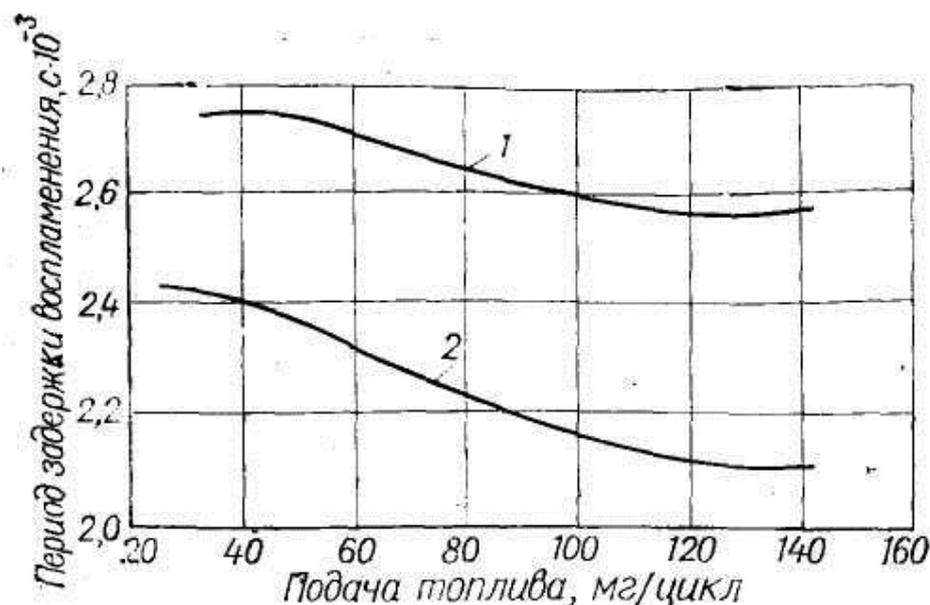
При больших ПЗВ к началу воспламенения в камере сгорания накапливается значительное количество смеси, подготовленной к сгоранию.

В результате происходит воспламенение больших количеств горючей смеси и чрезмерно быстрое нарастание давления, что приводит к жесткой работе дизелей. Наоборот, при слишком малом ПЗВ топливо, впрыскиваемое в камеру сгорания, начинает воспламеняться и сгорать не по всему объему, а в непосредственной близости от форсунки. В результате следующие порции топлива будут поступать не в атмосферу горячего воздуха, а в воздух, смешанный с продуктами сгорания. Это неизбежно приведет к неполному сгоранию, дымлению и потере мощности двигателя из-за неравномерного смесеобразования в объеме камеры сгорания.

Самовоспламеняемость топлива количественно оценивается цетановым числом (ЦЧ). **Цетановое число** топлива является показателем его самовоспламеняемости и численно равно процентному (по объему) содержанию цетана (гексадекана  $C_{16}H_{34}$ ) в такой его смеси с альфаметилнафталином ( $C_{11}H_{10}$ ), которая по самовоспламеняемости при стандартных условиях испытания на специальном стандартном одноцилиндровом двигателе эквивалентна испытываемому топливу. Самовоспламеняемость цетана условно принята за 100 единиц, а альфаметилнафталина - за 0. Чем больше ЦЧ, тем лучше самовоспламеняемость топлива и меньше его – периодом задержки воспламенения (ПЗВ).

На **ПЗВ** и характер процесса сгорания топлива в дизельном двигателе существенное влияние оказывают конструктивные и эксплуатационные факторы. Действие этих факторов проявляется через изменение режима работы, который в свою очередь влияет на мощность, экономичность и надежность работы дизеля. Увеличение температуры воздуха в конце такта сжатия и топлива улучшает характеристики воспламенения и горения. Повышение давления также увеличивает скорость химических превращений. Однако положительное влияние температуры и давления будет сказываться только при условии соблюдения оптимальных параметров распыливания, распределения топлива в камере сгорания и турбулентности среды.

Коэффициент избытка воздуха при работе дизеля оказывает меньшее влияние на скорость химических превращений по сравнению с карбюраторным двигателем и колеблется в широких пределах, так как регулирование мощности дизеля осуществляют путем изменения подачи топлива. Наддув воздуха вызывает повышение температуры и давления в конце такта сжатия, что приводит к сокращению **ПЗВ** и увеличению скорости сгорания (рис. 2.23).



**Рис. 2.23.** Изменение периода задержки воспламенения в зависимости от подачи топлива и давления наддува в дизеле с объемным смесеобразованием:

1 — давление наддува 0,1 МПа; 2 — давление наддува 0,15 МПа.

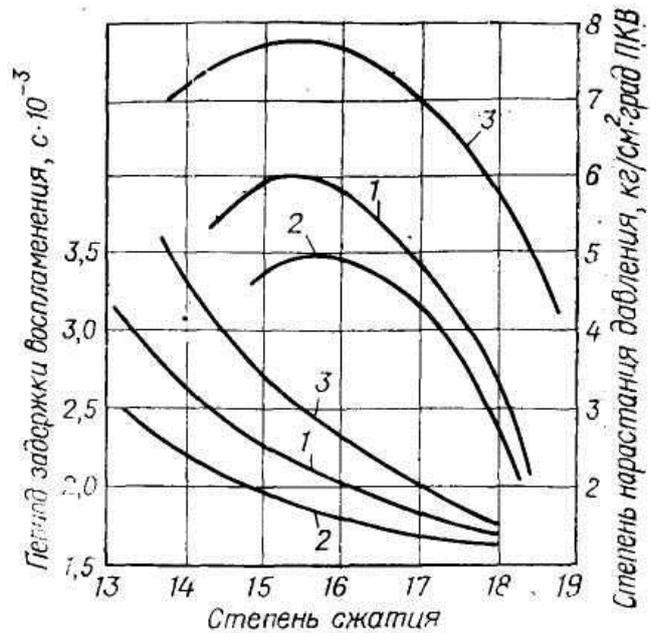
Влияние формы, размера и материала камеры сгорания проявляется главным образом через температурный режим работы двигателя и равномерность распределения топлива по объему камеры сгорания.

Увеличение тонкости распыливания топлива ускоряет скорость испарения капель, однако при этом уменьшается дальнобойность струи, в результате чего происходит неравномерное распределение топлива по объему камеры сгорания.

В результате местного переобогащения смеси процессы химических предпламенных процессов замедляются, что приводит к увеличению ПЗВ. Лучшим является неоднородное распыливание, при котором уже первые порции топлива равномерно распределяются по объему камеры сгорания из-за различия масс капель. Такое распыливание увеличивает скорость сгорания и сокращает продолжительность фазы догорания.

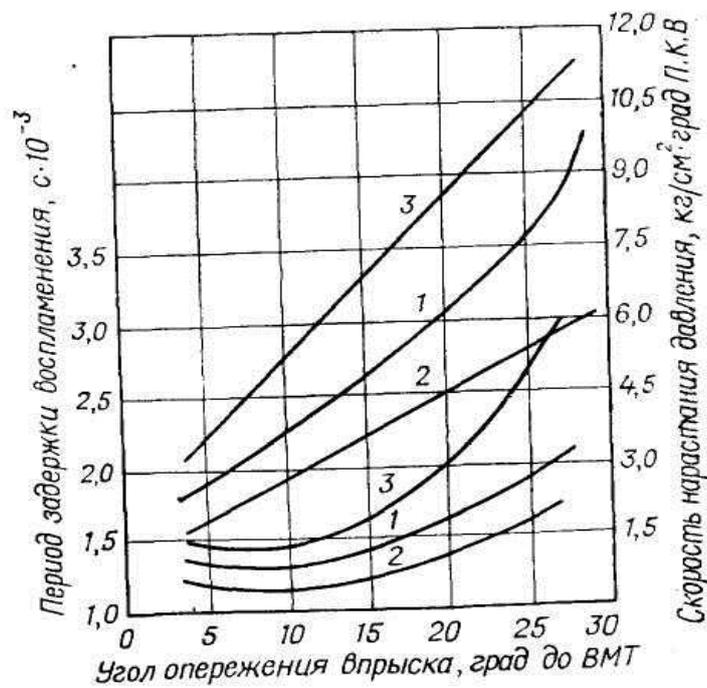
Увеличение степени сжатия приводит к увеличению давления, температуры и, следовательно, к уменьшению ПЗВ. В условиях высоких степеней сжатия за счет высоких температур и давления слабее проявляется влияние химического состава топлива на ПЗВ. Влияние степени сжатия на ПЗВ и скорость нарастания давления показаны на рис. 2.24.

С уменьшением угла опережения впрыска топлива сокращается ПЗВ, так как по мере движения поршня к ВМТ температура и давление в камере сгорания повышаются. Вместе с тем при слишком малом угле опережения впрыска, хотя ПЗВ и будет минимальным, сгорание основной массы топлива перейдет в такт расширения, что вызовет падение мощности и дымление двигателя из-за уменьшения скорости нарастания давления и увеличения продолжительности фазы догорания (рис. 2.25).



**Рис. 2.24.** Влияние степени сжатия на период задержки воспламенения и скорость нарастания давления в дизеле с объемным смесеобразованием:

- 1 - дизельное топливо; 2- алканоциклановая фракция дизельного топлива;
- 3 - ароматическая фракция дизельного топлива.

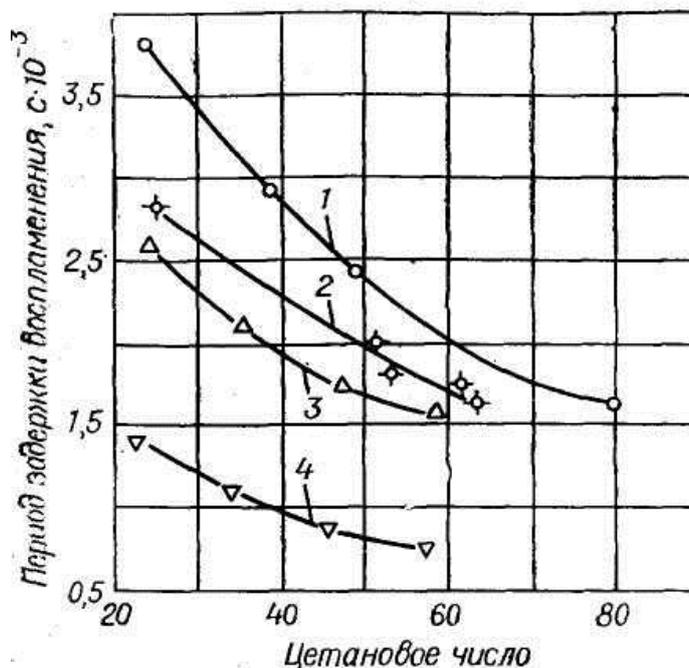


**Рис. 2.25.** Влияние угла опережения впрыска топлива на период задержки воспламенения и скорость нарастания давления:

- 1-дизельное топливо; 2-алканоциклановая фракция дизельного топлива;
- 3- ароматическая фракция дизельного топлива.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя усиливается вихревое движение, повышаются температура и давление воздуха в камере сгорания. В таких условиях ПЗВ и продолжительность горения уменьшаются, в результате чего основная часть топлива успевает

сгореть до начала фазы догорания (рис. 2.26). Это утверждение справедливо до достижения некоторой частоты вращения коленчатого вала, которая определяется конструкцией двигателя.



**Рис. 2.26.** Влияние цетанового числа на период задержки воспламенения  $\tau$ : 1- четырехтактный двигатель для испытаний топлив при  $\epsilon=16$ ,  $n=900 \text{ мин}^{-1}$ , температуре охлаждающей воды  $t_0=85^\circ\text{C}$ ; 2- четырехтактный двигатель для испытаний топлив при  $\epsilon=16$ ,  $n=900 \text{ мин}^{-1}$ ,  $t_0=100^\circ\text{C}$ ; 3- двухтактный двигатель при  $\epsilon=16$ ,  $n=900 \text{ мин}^{-1}$ ; 4 - двухтактный двигатель при  $\epsilon=16$ ,  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ .

При дальнейшем увеличении частоты вращения коленчатого вала повышение температуры и давления воздуха и соответствующее ускорение предпламенных процессов уже не успевают скомпенсировать сокращение времени, отводимого на эффективное сгорание топлива, в результате чего все большая часть топлива догорает в третьей стадии, падает эффективная мощность двигателя и увеличивается удельный расход топлива.

*Дизельные топлива должны отвечать следующим требованиям;*

- обладать хорошей прокачиваемостью в широком диапазоне температур и обеспечивать надежную, бесперебойную подачу в камеру сгорания в соответствии с заданными характеристиками;
- иметь оптимальные воспламеняемость и испаряемость, необходимые для легкого пуска и плавной работы двигателя на различных эксплуатационных режимах;
- не образовывать отложений в системе питания и в камере сгорания;
- быть устойчивыми к окислению в условиях хранения и транспортирования;
- не вызывать коррозии деталей двигателя и средств хранения, транспортирования и заправки;
- не быть токсичными и не вызывать загрязнения окружающей среды;

- иметь широкую сырьевую базу и отработанную технологию производства, а также быть дешевыми.

## **МАРКИ, СОСТАВ, УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

Промышленность РУ вырабатывает маловязкие дистиллятные топлива для быстроходных дизелей (частота вращения вала свыше 1000 мин<sup>-1</sup>) и высоковязкие смесевые топлива для средне и малооборотных дизелей (частота вращения вала менее 1000 мин<sup>-1</sup>).

На военной технике быстроходные дизели нашли наиболее широкое применение. Топлива для этих двигателей вырабатываются по **ГОСТ 305 - 82** и в зависимости от температурных условий применения разделяются на **летнее (Л)**, **зимнее (З)** и **арктическое (А)**.

По содержанию серы дизельные топлива подразделяются на два вида: I - топливо с массовой долей серы не более 0,2% и II - топливо с массовой долей серы не более 0,5% (для марки А не более 0,4%). В условное обозначение дизельных топлив входят: для марки **Л** - массовая доля серы и температура вспышки, для марки **З** - массовая доля серы и температура застывания, для марки **А** - массовая доля серы.

## **АССОРТИМЕНТ ПРОДУКЦИИ ФЕРГАНСКОГО И БУХАРСКОГО НПЗ СВЕТЛЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ**

### **ТОПЛИВО ДИЗЕЛЬНОЕ ТДБ – Л**

Область применения: в качестве топлива для быстроходных дизельных и газотурбинных двигателей и судовой техники,

топливо дизельное ТДБ - Л получают из продуктов переработки нефти.

Л - летнее топливо, для эксплуатации при температуре окружающего воздуха 0°С и выше.

Л - 0,5 - 40 - топливо летнее с массовой долей серы не более 0,5% и температурой вспышки 40°С

### **ТОПЛИВО ДИЗЕЛЬНОЕ ТДБ - У**

Область применения: в качестве топлива для быстроходных дизельных и газотурбинных двигателей и судовой техники, топливо дизельное ТДБ - У получают из продуктов переработки нефти

Например, топливо летнее с массовой долей серы до 0,2% и температурой вспышки 40°С обозначается, как топливо дизельное Л-0,2-40 ГОСТ 305 - 82; топливо зимнее с массовой долей серы до 0,5% и температурой застывания минус 35°С - как топливо дизельное З-0,5 минус -

35 ГОСТ 305 - 82; - топливо арктическое с массовой долей серы до 0,4% - как топливо дизельное А-0,4 ГОСТ 305—82.

Дизельные топлива вырабатывают из продуктов прямой перегонки нефтей, продуктов прямой перегонки, подвергнутых гидроочистке и депарафинизации, а также смешением этих продуктов с газойлем каталитического крекинга (до 20% в составе смеси). К топливу допускается добавление присадок. Основные характеристики отечественных дизельных топлив приведены в табл.13.

При применении дизельных топлив на военной технике в соответствии с Инструкцией по контролю качества горючего в ВС РУ (приложение 6) допускаются отклонения:

фракционного состава - температуры перегонки 50% - на 5° С в сторону повышения и 96% - на 10° С в сторону повышения;

температура вспышки не является браковочным признаком при соответствии требованиям ГОСТ по фракционному составу и вязкости.

Дизельное топливо Л предназначено для применения на военной технике при температуре окружающего воздуха 0°С и выше. Дизельное топливо З предназначено для применения в умеренной климатической зоне при температуре окружающего воздуха минус 20°С и выше и в холодной климатической зоне при температуре окружающего воздуха от минус 30° С и выше. При более низких температурах окружающего воздуха (до минус 50°С) предусмотрено применение арктического дизельного топлива. В период перевода техники на летнюю эксплуатацию допускается смешение в топливных баках летнего и зимнего дизельных топлив. При низких температурах окружающего воздуха в случае отсутствия зимнего дизельного топлива допускается добавление к летнему топливу авиационных керосинов Т-1, ТС-1, РТ.

Вместо дизельного топлива А разрешается использовать смесь, состоящую из дизельного топлива З минус 45 и керосина тракторного или топлив Т-1, ТС-1, РТ в соотношении 1:1.

В дизелях бронетанковой техники, в качестве основных марок предусмотрено применение дизельных топлив Л, З, А I вида. Дизельные топлива Л, З, А II вида являются основными для автомобильной техники с менее теплонапряженными дизелями. Для них дублирующими марками являются дизельные топлива I вида (из экономических соображений). Для кораблей и судовой техники основной маркой является летнее дизельное топливо II вида.

Во всех случаях применения топлив для конкретных двигателей военной техники следует руководствоваться инструкциями по эксплуатации изделий военной техники, а также другими документами, определяющими порядок применения горючего в ВС РУ. ГОСТ 305-82 введен взамен ГОСТ 305-73 на топливо дизельное и ГОСТ 4749-73 на топливо для быстроходных дизелей.

Таблица.13

## Основные характеристики дизельных топлив (ГОСТ 305—82)

Показатель	Норма для марки		
	Л	З	А
Цетановое число, не менее	45	45	45
Фракционный состав: 50% перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	255
96% перегоняется при температуре перегонки), °С, не выше	360	340	330
Кинематическая вязкость при 20 °С. (сСт) мм <sup>2</sup> /с	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5 - 4,0
Температура застывания, °С, не выше, для климатической зоны: умеренной холодной	—10 —	—35 —45	— —55
Температура помутнения, °С, не выше климатической зоны: умеренной холодной	—5 —	—25 —35	— —
Температура вспышки, определяемая в том тигле, °С, не ниже:			
для тепловозных и судовых дизеле для закрытые и газовых турбин	61	40	35
для дизелей общего назначения	40	35	30
Массовая доля серы, %, не более: в топливе вида I в топливе вида II	0,2 0,5	0,2 0,5	0,2 0,4
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Содержание сероводорода	Отсутствует		
Испытание на медной пластинке	Выдерживает		
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствует		
Концентрация фактических смол, мг на топлива, не более	40	30	30
Кислотность, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> топлива, не более	5	5	5
Йодное число, г йода на 100 г топлива, не более	6	6	6
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксуемость 10% остатка, %, не более	0,30	0,30	0,30
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3
Содержание механических примесей	Отсутствует		
Содержание воды	Отсутствует		
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	860	840	830

Поэтому при применении топлива для военной техники, разработанной до введения ГОСТ 305 - 82, следует руководствоваться следующими соображениями. Вместо топлив ДЛ, ДЗ и ДА по ГОСТ 4749-73 можно применять топлива Л, З и А по ГОСТ 305-82 I вида; вместо топлива ДС - дизельное топливо Л-0,5-61. Вместо дизельных топлив Л, З, А по ГОСТ 305-73 применять топлива Л, З и А по ГОСТ 305-82 II вида, если нет ограничений по содержанию серы в топливе, или I вида, если содержание серы в топливе ограничено 0,2%. Вместо дизельного топлива ЗС по ГОСТ 305-73 применять топливо З по ГОСТ 305-82 для холодной климатической зоны. Ввиду окончания срока действия ГОСТ 4749-73 и ГОСТ 305-82 1 января 1983 г.

дизельные топлива, выработанные по этим ГОСТ и находящиеся на длительном хранении и текущем довольствии, подлежат первоочередному расходу по прямому назначению и постепенной замене соответствующими марками дизельного топлива по ГОСТ 305-82.

Топлива для средне- и малооборотных дизелей вырабатываются по ГОСТ 1667-68 марок ДТ и ДМ. Топливо ДТ предназначено для среднеоборотных и малооборотных дизелей. Его получают смешением дистиллятов с остаточными продуктами прямой перегонки или крекинга.

Таблица.14.

Основные характеристики топлив для мало- и среднеоборотных дизелей

Показатель	Норма для марки	
	ДТ	ДМ
Плотность при 20° С, кг/м <sup>3</sup> , не более	850	870
Фракционный состав: до 250° С перегоняется, %, не более	15	10
Вязкость при 50° С: кинематическая, мм <sup>2</sup> /с (сСт), не более	36	150
соответствующая ей, °ВУ, не более	5,0	20
Коксуемость, %, не более	3,0	10
Зольность, %; не более	0,04	0,15
Содержание серы, %, не более:		
в малосернистом топливе	0,5	—
в сернистом топливе	1,5	3,0
Содержание сероводорода	Отсутствует	
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствуют	
Содержание механических примесей, %, не более	0,1	0,2
Массовая доля воды, %, не более	1,0	1,5
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже	65	85
Температура застывания, °С, не выше	—5	—10

Топливо ДМ - чистый остаточный продукт прямой перегонки нефти или крекинга, применяется для судовых малооборотных дизелей. Ввиду высокой вязкости топливо ДМ подают к форсункам двигателя после предварительного подогрева до 60—70° С. Основные характеристики топлив ДТ и ДМ приведены в табл.14.

В последнее время в РУ и за рубежом большое внимание уделяется так называемым многотопливным двигателям на базе двигателя с воспламенением от сжатия. В силу конструктивных особенностей дизели в принципе способны работать на различном горючем: дизельном топливе, керосине, бензине, а также на моторном масле и сырой нефти. Многотопливные двигатели устанавливаются на некоторых танках, бронетранспортерах и других машинах.

## ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Дизельные топлива являются высокостабильными в условиях транспортирования и хранения. Поэтому срок их хранения установлен в резервуарах не менее 5 лет и в автоцистернах, бочках и канистрах - 3 лет, топливо моторное для среднеоборотных, малооборотных и транспортных дизелей – 6 лет (по Приказу МОРУ №15.: 2010).

К основным эксплуатационным свойствам дизельных топлив относятся: прокачиваемость, воспламеняемость, испаряемость, коррозионность. Именно эти свойства оказывают наибольшее влияние на эффективность и надежность работы двигателя.

**Прокачиваемость** дизельных топлив характеризуется главным образом такими показателями качества, как вязкость, коэффициент фильтруемости, содержание механических примесей и воды, температуры помутнения и застывания.

Коэффициент фильтруемости оценивается по изменению пропускной способности фильтра при последовательном пропускании через него определенных количеств топлива.

Вязкость дизельного топлива влияет на эффективность подачи топливного насоса, на гидравлические потери в трубопроводах и на фильтре, действительный угол опережения впрыска, качество распыливания и износ деталей топливной аппаратуры. Верхний предел вязкости дизельных топлив определяется максимально допустимыми потерями напора в топливной системе, а также размерами капель впрыскиваемого топлива и для большинства современных быстроходных дизелей находится в пределах 6-8 мм<sup>2</sup>/с при 20°С для топлива Л. Дальнейшее повышение вязкости сопровождается ухудшением распыливания, так как размеры капель распыливаемого топлива сильно увеличиваются, что приводит к неполному сгоранию и дымлению. Кроме того, с повышением вязкости ухудшается прокачиваемость топлив при низких температурах (рис. 2.27).

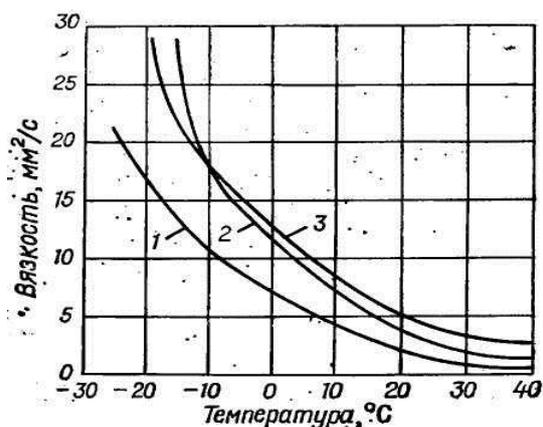


Рис. 2.27. Зависимость вязкости дизельных топлив от температуры:  
1- топливо ДЗ; 2 - топливо Л; 3 - топливо ДЛ

По мере уменьшения вязкости снижается коэффициент подачи топливного насоса, который зависит от величины утечки топлива через зазоры в плунжерной паре (рис. 2.28). Нижний допустимый предел вязкости определяется условиями смазки прецизионных пар топливной аппаратуры и однородности распыливания топлива и составляет примерно  $1,5 \text{ мм}^2/\text{с}$  для топлива А. Повышенный износ топливной аппаратуры, недостаточное давление впрыска и как следствие перерасход топлива, уменьшение ресурсов двигателей являются причинами, по которым нецелесообразно применять зимние и особенно арктические марки дизельного топлива в условиях положительных температур. Кроме того, следует иметь в виду, что стоимость производства дизельного топлива возрастает по мере улучшения его низкотемпературных свойств.

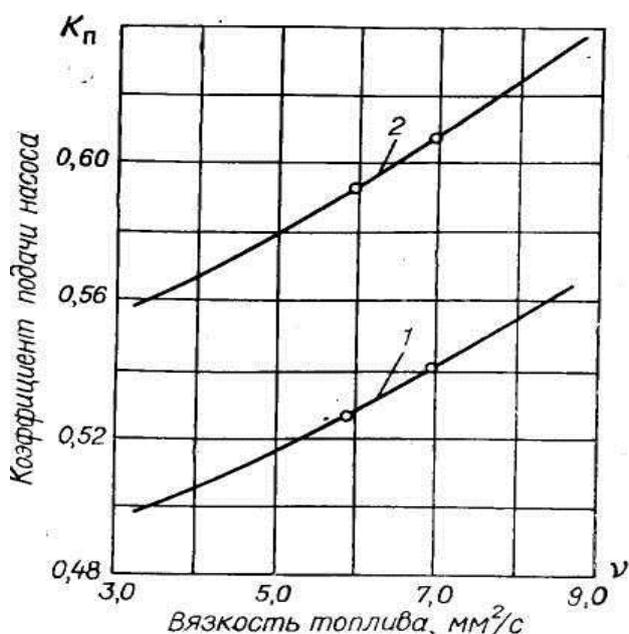
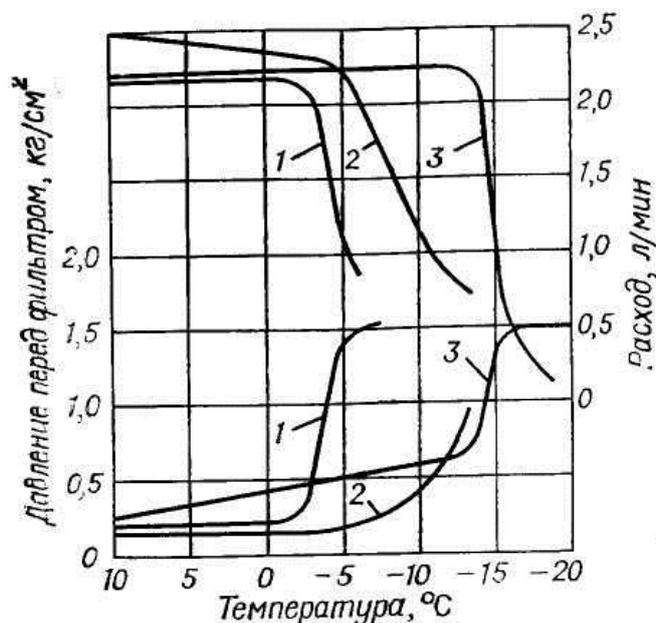


Рис. 2.28. Зависимость коэффициента подачи топливного насоса  $K_p$  от вязкости топлива  $\nu$ : 1 — при  $n=100 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 — при  $n=1-100 \text{ мин}^{-1}$ .

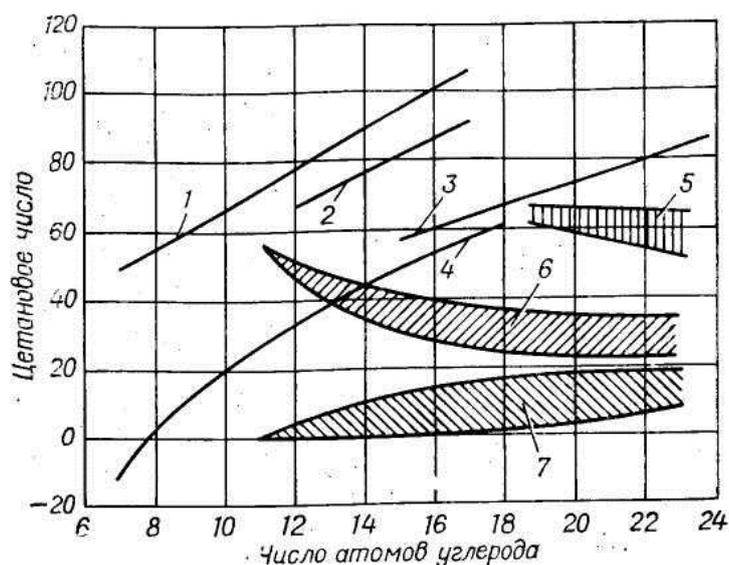
**Низкотемпературные свойства** дизельных топлив, в частности их прокачиваемость при низких температурах, характеризуются крутизной вязкостно-температурной кривой и температурами помутнения и застывания. Зависимость крутизны вязкостно-температурной кривой дизельных топлив от вязкости при  $20^\circ\text{C}$  показана на рис. 2.27. Однако прокачиваемость дизельных топлив, особенно фильтруемость при низких температурах, в большей степени зависит от температуры их помутнения и застывания. Температура помутнения соответствует температуре начала образования кристаллов высокоплавких углеводородов, способных забивать топливные фильтры и тем самым нарушать подачу топлива к форсункам. Поэтому при температурах топлива, соответствующих температуре помутнения, наблюдается резкое ухудшение прокачиваемое (рис. 2.29). Повышенное количество сернистых соединений ухудшает прокачиваемость топлив через фильтрующие элементы из-за образования в объеме топлива из

твердых углеводородов и полярных сернистых соединений коллоидных частиц, геометрические размеры которых значительно превосходят размеры пор фильтрующих элементов. Поэтому дизельные топлива с массовой долей серы более 1% имеют худшую фильтруемость в топливных системах дизелей. Температуре застывания соответствует температура, при которой топливо в условиях испытания перестает быть подвижным в результате образования структурного каркаса из высокоплавких углеводородов, входящих в состав топлива. В динамических условиях этот каркас разрушается, и в ряде случаев возможна перекачка топлива при температуре на 10—15°C ниже температуры его застывания. Однако осколки структурного каркаса вместе с кристаллами углеводородов забивают фильтры, поэтому температура дизельного топлива должна быть выше температуры его помутнения. Добавление в дизельное топливо керосина уменьшает концентрацию высокоплавких углеводородов и смещает помутнение и застывание образовавшейся смеси в область более низких температур.



**Рис. 2.29.** Изменение производительности перекачки и давления перед фильтром от температуры топлива: 1-высокосернистое летнее; 2-сернистое летнее; 3 - малосернистое зимнее.

**Воспламеняемость дизельных топлив** определяется их химическим составом. На рис. 2.30 показана зависимость воспламеняемости углеводородов от их строения и молекулярной массы. Воспламеняемость оказывает влияние на продолжительность пуска, мощность, экономичность и надежность работы двигателя.



**Рис. 2.30.** Изменение цетанового числа углеводородов в зависимости от числа атомов углерода в молекуле: 1-н-алканы; 2-алкены; 3-моноалкилалканы; 4-моноалкилбензолы; 5- цикланы; 6- декалины; 7 – нафталины.

Связь между продолжительностью пуска  $T_{\text{пуск}}$  и воспламеняемостью топлива выражается формулой:

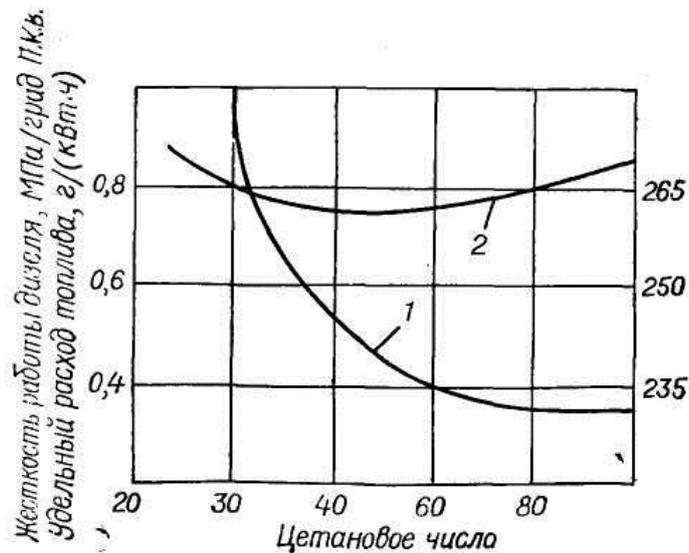
$$\tau_{\text{пуск}} = a e^{\frac{b}{\text{ЦЧ}}}$$

где  $a$  и  $b$  - постоянные, зависящие от конструкции двигателя и условий пуска; ЦЧ - цетановое число топлива.

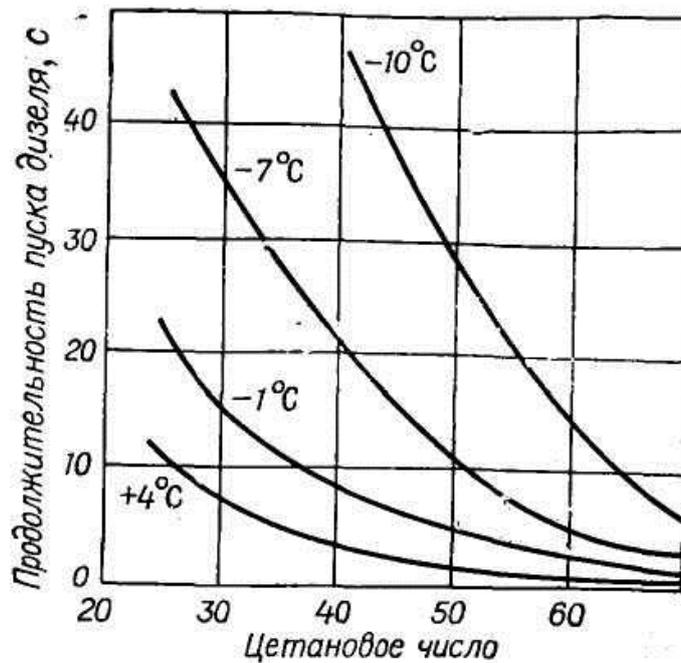
При низких температурах влияние цетанового числа на продолжительность пуска двигателя сказывается сильнее, чем при высоких.

Влияние воспламеняемости топлива на основные параметры рабочего процесса, мощностные и экономические показатели дизельного двигателя показано на рис. 2.31—2.32. Это влияние зависит от конструкции двигателя и режимов его работы. Для современных дизельных двигателей оптимальное значение цетанового числа применяемых топлив лежит в пределах 40—50 единиц. Товарные дизельные топлива, вырабатываемые по ГОСТ 305—82, вполне удовлетворяют современным требованиям дизелестроения по воспламеняемости. Для работы дизельных двигателей в условиях пониженных температур желательно применение дизельных топлив с более высоким цетановым числом. Однако повышение цетанового числа за счет утяжеления фракционного состава ухудшает низкотемпературные свойства дизельного топлива, в частности ухудшается его испаряемость и прокачиваемость. И наоборот, облегчение фракционного состава, как правило, сопровождается снижением цетанового числа. Для получения арктического дизельного топлива, обладающего хорошими низкотемпературными свойствами и достаточно высоким цетановым числом, топливо подвергают депарофинизации с последующим добавлением

присадок (обычно изопропилнитрата) для повышения цетанового числа. Все это в значительной мере удорожает производство арктического дизельного топлива. Поэтому применение его экономически оправдано только в районах с особо холодным климатом.



**Рис. 2.31.** Влияние цетанового числа на жесткость работы дизеля (кривая 1) и удельный расход топлива (кривая 2)



**Рис. 2.32.** Зависимость продолжительности пуска дизеля от цетанового числа топлива при различных температурах воздуха ( $n=100 \text{ мин}^{-1}$ )

Воспламеняемость дизельного топлива может быть оценена различными методами. Наиболее распространен метод определения цетанового числа на специальных моторных установках с одноцилиндровым дизелем,

регламентированный ГОСТ 3122—67. В качестве специальных стандартных моторных установок используют установки ИТ9-3М, ИТ9-3 или ИТД-69 с рабочим объемом цилиндра двигателя 652 см<sup>3</sup> и переменной степенью сжатия.

Настоящие время метод определения цетанового числа на стандартные моторных установок используют установке CFR 48, А 5U для определения цетанового число дизельного топлива ASTM D 613 (Американского производства).

В качестве первичных эталонных топлив применяют цетан (C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>) и альфа - метилнафталин (C<sub>11</sub>H<sub>10</sub>). Испытуемые и эталонные топлива сравниваются по периоду задержки воспламенения. В процессе определения подбирают эталонное топливо по периоду задержки воспламенения, одинаковое с испытуемым. Процентное по объему содержание цетана в эталонном топливе считается цетановым числом испытуемого топлива.

Испаряемость дизельных топлив взаимосвязана с воспламеняемостью и оказывает влияние на легкость и продолжительность пуска холодного двигателя, на скорость и теплоту сгорания топлива в камере сгорания и в конечном счете на эффективность рабочего процесса двигателя. Наличие в топливе легких, особенно бензиновых фракций, способствует быстрому испарению топлива в камере сгорания. Однако легкие фракции имеют наибольший ПЗВ (рис. 2.30), к тому же из-за быстрого испарения большого количества топлива температура в камере сгорания сильно понижается и скорость развития предпламенных реакций замедляется. Все это приводит к затруднению пуска и жесткой работе двигателя. На сильно облегченном топливе эффективность работы дизеля снижается даже тогда, когда воспламеняемость его повышена добавлением присадки. В основном это обусловлено образованием переобогащенной смеси вблизи форсунки и сильным обеднением в остальной части камеры сгорания. Наоборот, топливо тяжелого фракционного состава, хотя и имеет очень малый ПЗВ, однако из-за недостаточной температуры в камере сгорания испаряется очень медленно, в результате чего пуск холодного двигателя, особенно при отрицательных температурах, также затрудняется.

**Испаряемость дизельного** топлива в основном характеризуется его фракционным составом, в частности температурами выкипания 50 и 96% фракций. Полнота сгорания, дымление и отложения в камере сгорания двигателя зависят от условий испарения, смешения и горения остающейся тяжелой части топлива. В жидком остатке испаряющихся капель сосредоточиваются высокомолекулярные углеводороды и гетероорганические соединения.

Для современных быстроходных двигателей оптимальными по испаряемости и воспламеняемости являются топлива с пределом выкипания 170—350° С. Этим требованиям вполне удовлетворяют товарные дизельные топлива ГОСТ 305—82.

**Коррозионность** дизельных топлив проявляется в условиях хранения, транспортирования и при применении в двигателе. Коррозионно-активными

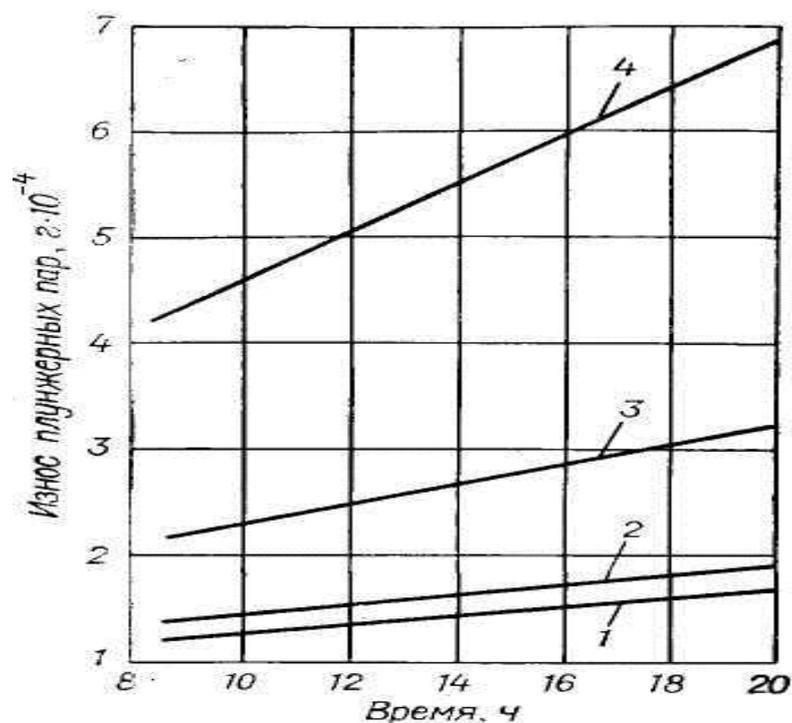
соединениями в дизельном топливе являются органические кислоты и сернистые соединения, а также вода, минеральные кислоты и щелочи, которые могут попасть извне.

Из органических кислот, содержащихся в дизельном топливе, наиболее агрессивны низкомолекулярные карбоновые кислоты, являющиеся продуктами окисления нестабильных углеводородов, входящих в состав продуктов каталитического крекинга. Органические кислоты, как и все слабые кислоты, наибольшую агрессивность проявляют по отношению к цветным металлам. Однако при достаточно высокой концентрации органические кислоты начинают заметно проявлять коррозионную активность и по отношению к черным металлам. При этом усиливается коррозионно-механическое изнашивание деталей топливоподающей аппаратуры и двигателя.

Коррозионное действие органических кислот усиливается в присутствии воды вследствие их диссоциации и создания условий для протекания электрохимической коррозии. В процессе хранения содержание органических кислот в дизельном топливе увеличивается в результате протекания окислительных процессов. Эти процессы ускоряются в условиях повышенных температур, каталитического действия металлов и поступления кислорода воздуха. Образование органических кислот также ускоряется под действием присадок типа органических перекисей и алкилнитратов, добавляемых к топливам для повышения цетанового числа. Однако скорость образования органических кислот без доступа свежего воздуха в условиях температур до 50°C невелика, и при соблюдении правил хранения содержание органических кислот в дизельном топливе не превышает допустимых значений в течение всего установленного срока хранения.

Коррозионное действие серы и сернистых соединений проявляется в жидкой фазе и газообразных продуктах сгорания. В жидкой фазе наиболее коррозионно-агрессивны сероводород и меркаптаны. Коррозионное действие других сернистых соединений, таких, как сульфиды, дисульфиды, тиофаны, проявляется слабее.

Сероводород вызывает коррозию черных и цветных металлов и в условиях хранения и применения является наиболее опасным, однако современные технологические процессы обеспечивают полное удаление сероводорода из дизельного топлива. Меркаптаны вызывают износ топливной аппаратуры (рис. 2.33), причем в присутствии воды коррозионное действие меркаптанов усиливается.



**Рис. 2.33.** Влияние меркаптанов на коррозию плунжерных пар топливного насоса: 1 — малосернистое топливо с общим содержанием серы до 0,2%; 2, 3 и 4 — сернистые топлива (содержание серы — 1%) с содержанием меркаптанов соответственно 0,009; 0,025 и 0,07%.

По отношению к топливной аппаратуре коррозионность дизельных топлив I и II видов с содержанием меркаптанов до 0,01% примерно одинакова, хотя эти топлива имеют различное содержание серы.

Различие в коррозионной активности топлив, содержащих более 0,5% серы, проявляется главным образом в условиях высоких температур камеры сгорания и выпускного тракта двигателя вследствие кислотной и газовой коррозии. При сгорании дизельного топлива входящие в его состав сернистые соединения образуют оксиды  $SO_2$  и  $SO_3$ . Эти оксиды в зависимости от условий способны вызывать газовую или кислотную коррозию. При высоких температурах  $SO_2$  и  $SO_3$  взаимодействуют с металлом в газообразном состоянии. Газовой коррозии в наибольшей степени подвержены камера сгорания, тарелка и седло выпускного клапана и практически весь выпускной тракт двигателя. При понижении температуры ниже точки росы  $SO_2$  и  $SO_3$  взаимодействуют с каплями воды с образованием  $H_2SO_3$  и  $H_2SO_4$  и газовая коррозия переходит в кислотную. Кислота  $H_2SO_4$  более агрессивна, чем  $H_2SO_3$ , поэтому она вызывает и более сильную коррозию. Соотношение  $SO_2$  и  $SO_3$  в продуктах сгорания непостоянно и зависит от температуры, давления и состава горючей смеси, поэтому и соотношение  $H_2SO_3$  и  $H_2SO_4$  также непостоянно. Кислотная коррозия обычно происходит после остановки двигателя, и ей подвержены детали не только камеры сгорания и выпускного тракта, но и картера вследствие прорыва части газов из камеры сгорания через неплотности и зазоры цилиндропоршневой группы. Однако коррозия металлических деталей в

картере двигателя проявляется гораздо слабее из-за наличия на металле масляной пленки. Газовая и кислотная коррозия опасна из-за коррозионного разрушения и коррозионного изнашивания. В изношенном двигателе содержание серы в топливе сказывается сильнее.

Современные моторные масла для дизельных двигателей такие, как М-6з/10В, М-8В<sub>2</sub>, М-8Г<sub>2</sub>, М-10Г<sub>2</sub>К и другие, содержат высокоэффективные присадки, которые позволяют в значительной степени уменьшить коррозионное воздействие, износы и отложения в двигателе при работе на топливе с содержанием серы до 0,5 - 1,0% и иметь их практически такими же, как при работе на топливе с содержанием серы до 0,2%.

Минеральные водорастворимые кислоты и щелочи HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, NaOH и другие наиболее коррозионно-агрессивны. Они являются сильными электролитами и вызывают разрушения черных и цветных металлов в ходе протекания электрохимических процессов.

Минеральные кислоты и щелочи в дизельном топливе, вырабатываемом заводами промышленности, отсутствуют. В процессе хранения они также не образуются. Единственный источник кислот и щелочей в топливе — это случайное попадание в средства хранения или транспортирования или неполная промывка этих средств после ремонта или очистки неорганическими растворами.

Коррозионность дизельных топлив оценивается по таким показателям их качества, как массовая доля серы, меркаптановой серы, содержание сероводорода, испытание на медной пластинке, содержание воды, водорастворимых кислот и щелочей, кислотность.

### **Перспективные топлива для дизелей**

В целях расширения ресурсов производства топлив для дизелей проводятся исследования топлив широкого фракционного состава (ШФС), получаемых в результате добавки к обычным дизельным фракциям прямогонных бензиновых фракций, кипящих при температуре 62 - 180° С, и предварительно гидроочищенных легких фракций вторичных процессов. Согласно предварительным результатам, приведенным в обзоре НИИавтопрома, дизельное топливо ШФС не оказывает заметного отрицательного воздействия на работу существующих двигателей. Параметры рабочего процесса дизелей остаются примерно такими же, как и при работе на стандартном топливе. Решается также вопрос применения в существующих двигателях топлив утяжеленного (до 380 - 400° С) фракционного состава (УФС). Для улучшения низкотемпературных свойств к топливам УФС предлагается добавление депрессорных присадок.

Значительный интерес представляет использование в качестве топлив для дизельных двигателей газового конденсата с фракционным составом 60 - 370°С месторождений Средней Азии, Западной и Восточной регион. Проведенные исследования показали возможность использования газового

конденсата ряда месторождений на серийных быстроходных дизелях. Установлено, что номинальная мощность и удельный эффективный расход топлива при работе двигателя на газовом конденсате примерно такие же, как и при работе на товарном дизельном топливе. Однако динамические показатели цикла (максимальное давление и скорость его нарастания) оказались на несколько процентов выше, что объясняется большим периодом задержки воспламенения газового конденсата (ЦЧ = 35-38). Дымность при работе на газовом конденсате оказалась меньше на 6-8%.

Полученные результаты позволяют считать газовый конденсат или его смесь с дизельным топливом одним из перспективных топлив для дизелей.

## **ТОПЛИВА ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **Классификация и область применения газотурбинных двигателей**

Развитие и широкое применение газотурбинных двигателей в технике прежде всего связано с авиацией.

Авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) включают турбореактивные (ТРД), турбовинтовые (ТВД), турбовентиляторные (ТВдД) и прямоточные воздушно-реактивные двигатели (ПВРД).

В ТРД сила тяги создается только реакцией газовой струи, покидающей двигатель со скоростью, превышающей скорость полета.

Имеется два типа этих двигателей: одноконтурные и двухконтурные. В одноконтурном ТРД весь воздух, сжимаемый компрессором и нагреваемый в камере сгорания, проходит через турбину, ускоряется в выходном сопле и покидает двигатель. В двухконтурном ТРД компрессор подает часть сжатого воздуха во второй контур - кольцевой канал, расположенный вокруг первого контура двигателя. Воздух из второго контура выпускается в окружающую среду через сопло. Этот воздух может предварительно смешиваться с продуктами сгорания первого контура и поступать в форсажную камеру, а затем в сопло.

В ТВД тяга создается воздушным винтом (~90%) и реакцией газовой струи (~10%). При больших скоростях полета, чтобы снизить лобовое сопротивление воздуха, целесообразно уменьшить - диаметр воздушного винта. При уменьшении диаметра винта одновременно уменьшаются сечения отбрасываемой им струи воздуха и тяги. Чтобы сохранить тягу при меньшем количестве отбрасываемого воздуха, надо увеличить его скорость, для чего винт помещают в трубу. Такой винт превращается в вентилятор, а двигатели называются турбовентиляторными.

Все авиационные газотурбинные двигатели позволяют обеспечить значительно большие скорости полета самолета по сравнению с поршневыми двигателями. В качестве источника энергии в этих двигателях используют различные марки авиационных керосинов.

Газотурбинные двигатели, в том числе и авиационного типа, используют также в качестве силовых установок наземной техники, на некоторых кораблях, в народном хозяйстве для привода электрогенераторов, на тепловых и передвижных электростанциях, локомотивах (газотурбовозах) и т. д. На этих типах ГТД применяют дизельное топливо и тяжелое дистиллятное газотурбинное топливо.

Широкое распространение газотурбинных двигателей в авиации объясняется их преимуществами по сравнению с поршневыми двигателями - их малыми массогабаритными параметрами; возможностью развивать высокую мощность (тягу); превращать химическую энергию топлив и кинетическую энергию продуктов в механическую работу без участия сложного по конструкции и тяжелого по массе кривошипно-шатунного механизма; использованием более дешевых авиакеросинов, доступных и менее пожароопасных по сравнению с авиабензинами.

Газотурбинные двигатели позволяют получить большую тягу, чем поршневые, при значительно меньшей массе. Уже первые самолеты с ГТД имели скорость около 950 км/ч, что на 25% превышало рекордную скорость, достигнутую самолетами с поршневым двигателем.

По конструкции основных узлов, способам создания и повышения (форсирования) тяги, повышению экономичности (все это в той или иной степени отражается на требованиях к качеству топлива) авиационные газотурбинные двигатели классифицируются согласно рис. 2.34.

Конструктивные особенности двигателей и условия применения летательных аппаратов, влияющие на требования к качеству топлива, рассмотрим на примере турбореактивного двигателя.

Воздух в ТРД поступает через регулируемое или нерегулируемое входное устройство, сжимается в компрессоре, смешивается с парами топлива и нагревается в камере сгорания. Продукты сгорания проходят через турбину, сопло и возвращаются в окружающую среду.

Входное устройство с постоянными нерегулируемыми геометрическими размерами имеют двигатели летательных аппаратов с; дозвуковыми и сверхзвуковыми ( $M \leq 1,5$ ) скоростями полета. В устройствах такого типа поступающий во время полета воздух сжимается за счет скоростного напора, в так называемом прямом скачке уплотнения. В этом случае не возникает необходимости в согласовании пропускной способности диффузора и компрессора.

При полете со скоростью  $M > 1,5$ , чтобы обеспечить максимальную тягу и устойчивую работу двигателя в широком диапазоне скоростей полета, уже нужно согласовать пропускную способность входного устройства и компрессора. Если, например, скорость полета составляет  $M = 3,5$ , то входное устройство должно обеспечивать подведение к компрессору в три раза больше воздуха, чем при  $M = 1,5$ . Это достигается регулированием входного устройства.

С изменением расхода воздуха изменяется расход топлива и состав топливовоздушной смеси. Это вызывает необходимость применения

специальных мер обеспечения устойчивого воспламенения топливовоздушной смеси в широком диапазоне изменения ее состава, а следовательно, повышает требования к показателям испаряемости, воспламеняемости и горючести топлива. Длительный сверхзвуковой полет приводит к аэродинамическому нагреву самолета и топлива, находящегося в его баках, что ускоряет процессы окисления, образования отложений, разрушения конструкционных материалов, резин и герметикой.

Характерной особенностью конструкций современных ГТД является их высокая автоматизация. Частота вращения ротора, температура газов перед турбиной, давление воздуха за компрессором и многие другие параметры поддерживаются автоматически. При этом рабочим телом в регулирующей аппаратуре чаще всего является топливо, что, как правило, повышает требования к его качеству.

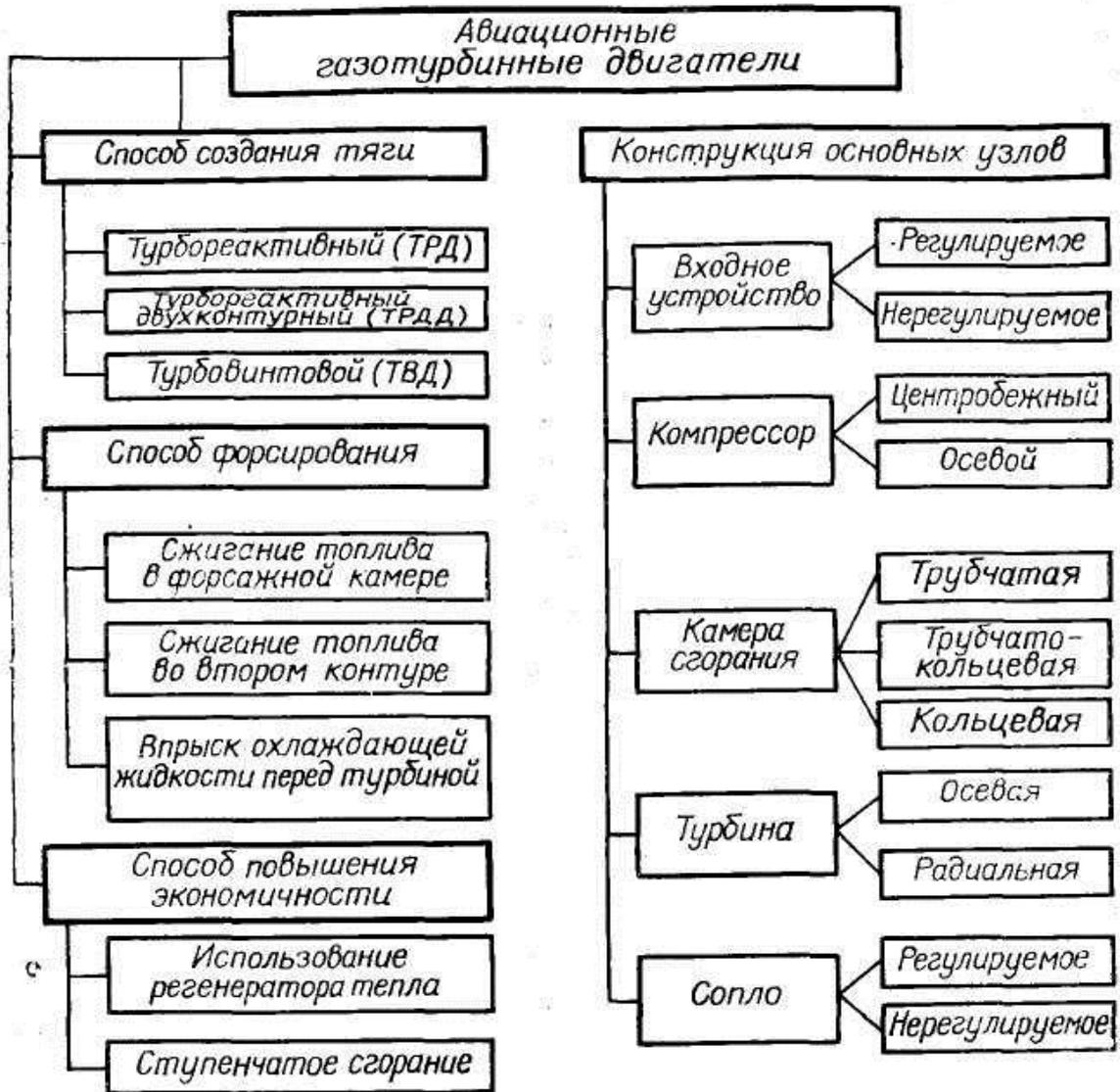
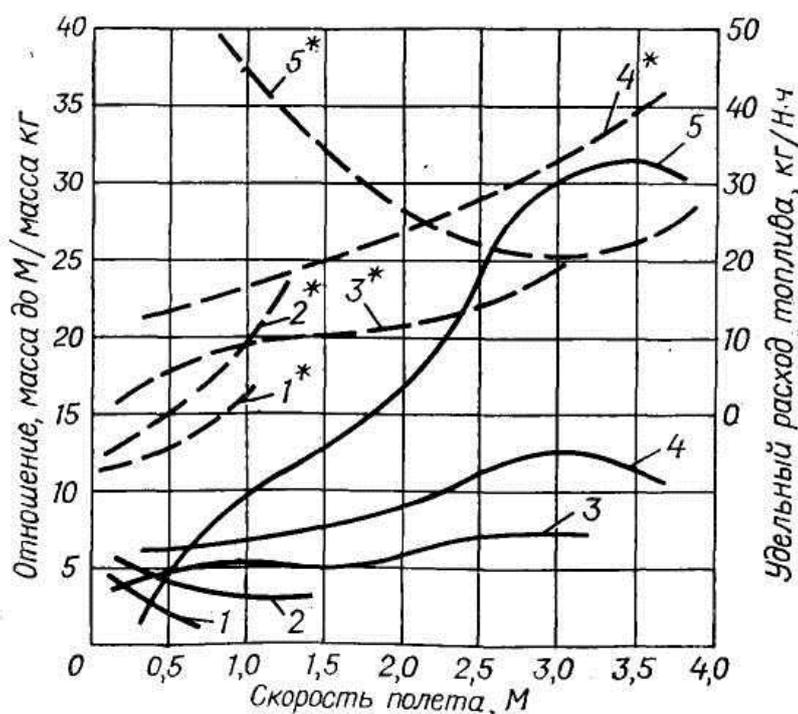


Рис. 2.34. Классификация авиационных газотурбинных двигателей

В соответствии с особенностями конструкции каждый тип двигателя имеет те или иные преимущества и недостатки, а следовательно, наиболее рациональную область применения.

Основные преимущества ТРД перед турбовинтовыми силовыми агрегатами заключаются в возможности получать высокую тягу при небольших размерах и массе летательного аппарата. Высота полета самолета с ТРД может достигать 20-25 км, а с ПВРД - до 30 км.

Тяга ТРД с повышением до определенного значения скорости полета увеличивается, в то время как для винтомоторной силовой установки она падает (рис. 2.35). Из анализа кривых удельного расхода топлива видно, что турбовинтовой и поршневой двигатели в пределах числа  $M < 1$  имеют наилучшие показатели. С увеличением скорости полета преимущества турбовинтового двигателя уменьшаются.



**Рис. 2.35.** Удельная тяга (1—5) и удельный расход топлив (1\*—5\*) самолетов, оснащенных различными двигателями:

1-поршневой; 2-турбовинтовой; 3-турбореактивный; 4-турбореактивный с форсажной камерой; 5-прямоточный ВРД

При  $M=1$  турбовинтовой двигатель имеет примерно такой же расход топлива, как и турбореактивный, а при  $M > 1$  турбореактивный двигатель характеризуется меньшим удельным расходом топлива. Турбовентиляторные двигатели при  $M=1$  превосходят по экономичности турбовинтовые.

Прямоточные ВРД ( $M < 2$ ) имеют наибольший удельный расход, однако при  $M > 3$  удельный расход меньше, чем у турбореактивного с форсажной камерой. Один из недостатков прямоточного ВРД заключается в том, что он не может создать тяги при работе на месте, когда в камере сгорания отсутствует избыточное давление воздуха от скоростного напора. Поэтому

для летательного аппарата с прямоточным ВРД необходим стартовый двигатель другого типа.

В газотурбинном двигателе давление воздуха на входе в камеру сгорания повышается компрессором, приводимым в действие газовой турбиной. Вследствие этого сила тяги в ГТД создается также в статических условиях.

Турбореактивный двигатель имеет сравнительно простую конструкцию, обеспечивает большую скороподъемность и сверхзвуковую скорость полета, что особенно важно для истребительной авиации. Он надежен в работе, обладает большим ресурсом, но малоэкономичен. Поэтому его нецелесообразно применять на транспортных самолетах с дозвуковой скоростью полета. Простота конструкции обуславливает применение ТРД также на беспилотных самолетах-снарядах, ресурс работы которых несколько часов. Малый ресурс позволяет существенно упростить конструкцию без снижения надежности. Требования к качеству топлива для таких двигателей могут быть менее жесткие.

Турбовинтовые двигатели находят применение на транспортных и бомбардировочных самолетах и вертолетах. Эти летательные аппараты имеют наиболее высокий тяговый КПД вследствие использования в качестве движителя воздушного винта на дозвуковых скоростях, обеспечивают наименьший удельный расход топлива и соответственно максимальную продолжительность и дальность полета.

Во время длительного дозвукового полета таких летательных аппаратов топливо может очень сильно охладиться. Это предъявляет повышенные требования к его низкотемпературным свойствам. Последнее время новые ТВД для самолетов не разрабатываются. Двигатели такого типа создают для силовых установок вертолетов.

Новые пассажирские и транспортные самолеты оснащают двухконтурными турбореактивными двигателями с вентиляторами. В этих двигателях воздушный поток движется по наружному и внутреннему контурам. Степень двухконтурности двигателя характеризуется отношением масс воздуха, проходящих по наружному и внутреннему контурам. Для сверхзвуковых самолетов степень двухконтурности около 2, для дозвуковых - от 3 до 8. Разделение воздуха, сжатого в компрессоре, по двум контурам позволяет оптимизировать тепловой режим газов перед турбиной.

В ТВД и ТРД в настоящее время применяют осевые компрессоры, имеющие малую массу, небольшие поперечные габариты, высокий КПД и обеспечивающие большую степень повышения давления (степень сжатия), а следовательно, и более высокую температуру воздуха, поступающего в камеру сгорания. Центробежные и осецентробежные компрессоры применяют на вертолетных двигателях, пусковых устройствах, на бортовых вспомогательных ГТД.

В настоящее время наибольшее распространение получили кольцевые и трубчато-кольцевые камеры сгорания, так как их элементы (кожуха) могут быть включены в силовой корпус двигателя, что снижает его общую массу.

Такие камеры требуют довольно сложных доводочных работ по обеспечению расположения зоны горения в заданном месте, полного и устойчивого сгорания топлива, равномерного распределения температуры газов в окружном направлении перед сопловым аппаратом турбины. Это повышает требования к испаряемости, воспламеняемости и горючести авиакеросинов.

Форсирование ТРД обеспечивается использованием форсажных камер, располагаемых за турбиной. Сжигание в форсажной камере дополнительного количества топлива увеличивает температуру и скорость газа, выходящего из сопла. В этом случае реактивное сопло делают регулируемым, а в качестве рабочего тела для силового привода чаще всего применяют топливо. Отказы в работе силового привода из-за недостаточно высоких свойств топлива могут быть вызваны образованием отложений продуктами окисления топлива, коррозии металлов и разрушения уплотнений.

При эксплуатации основных и форсажных камер *необходимо обеспечить:*

- надежный пуск двигателя на земле и на всех эксплуатационных высотах полета;
- устойчивое горение на всех режимах работы двигателя, при всех эксплуатационных высотах и скоростях полета, а также при быстром переходе с одного режима на другой;
- максимальную полноту сгорания топлива и минимальные потери тепла через стенки камеры в окружающую среду;
- равномерное поле давления и температуры газов;
- минимальные потери давления в камере и удобство осмотра элементов конструкции в условиях эксплуатации.

Все это накладывает определенные ограничения при организации рабочего процесса в ГТД, в свою очередь обуславливающие требования к качеству авиакеросина.

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ И ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ АВИАКЕРОСИНОВ**

В газотурбинном двигателе, как и в поршневом, для повышения КПД рабочего процесса воздух или топливовоздушную смесь до начала горения необходимо подвергать сжатию.

Сжатие обеспечивается особым механизмом — компрессором, где давление воздуха повышается в 5, 10, 20 и более раз.

Термический КПД идеального цикла ГТД является функцией

$$\eta = 1 - \pi^{\frac{1-K}{K}}$$

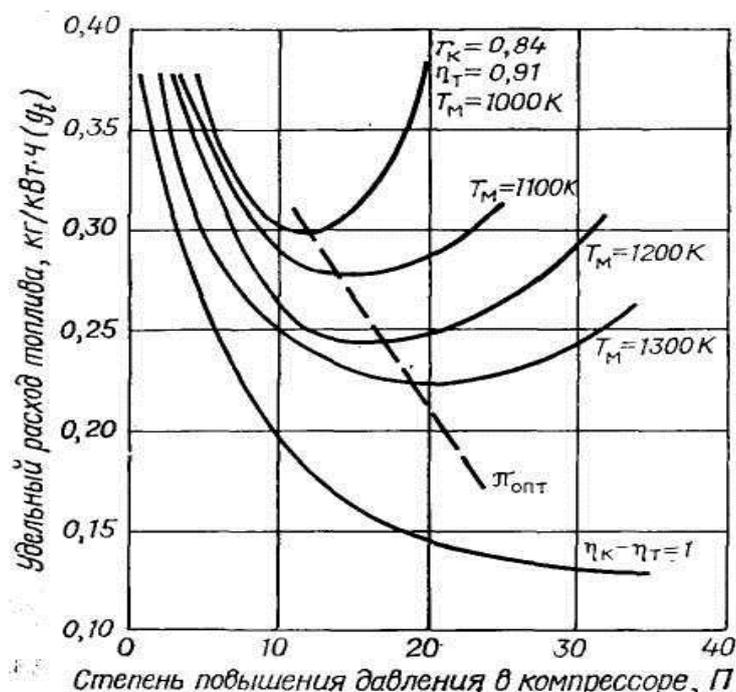
где  $\pi$  — степень повышения давления в компрессоре.

Общий КПД газотурбинного двигателя в очень большой степени зависит от КПД турбины, компрессора и максимальной температуры цикла

(рис. 2.39).

Анализируя данные рис. 2.36, можно сделать вывод, что при любом  $\pi$  с увеличением наивысшей температуры цикла повышается, соответственно снижается удельный расход топлива. Причем для каждой заданной температуры существует оптимальное значение  $\eta t$ . Рассмотрим, каким образом это сказывается на организации процесса сгорания в ГТД.

Горению топливовоздушной смеси в ГТД предшествуют процессы распыливания и испарения топлива, смешения паров топлива с воздухом и воспламенения горючей смеси. Расход воздуха в ГТД значительно выше, чем в двигателях других типов. Отношение  $g_t/g_v$  менее 1:50. Это вызывает необходимость обеспечения устойчивого воспламенения и горения смеси при больших  $\alpha$  и большой скорости воздушного потока в области форсунок (до 50 м/с), что в 100 раз и более превышает нормальную скорость распространения пламени. Экономичность ГТД повышается с ростом максимальной температуры цикла. Однако значение этой температуры ограничивается жаропрочностью лопаток турбины. Обычно температура газов перед турбиной достигает 1200-1300 К (если лопатки не охлаждаются) и 1300-1500 К (при наличии системы охлаждения деталей турбины). Указанные значения температуры газа перед турбиной обеспечиваются при  $\alpha$ , равном 2,5-4,0. Однако известно, что при таких  $\alpha$  топливовоздушная смесь не воспламеняется. Пределы воспламенения углеводородных топлив составляют  $\alpha_{\min}=0,4-0,5$  и  $\alpha_{\max}=1,4-1,6$ .



**Рис. 2.36.** Влияние давления воздуха, поступающего в камеру сгорания, и температуры газов перед турбиной  $T_M$  на топливную экономичность  $g_t$  ГТД.

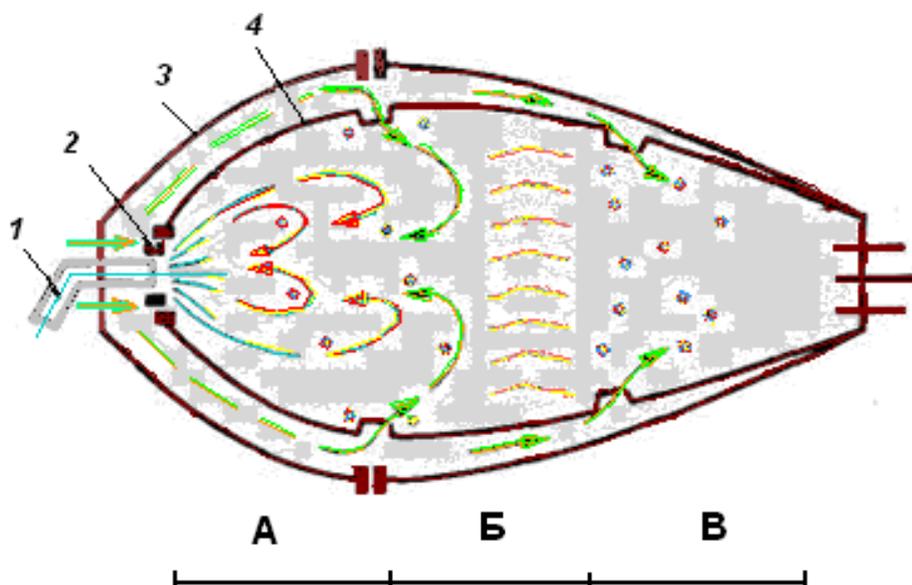
В связи с этим сжатый в компрессоре воздух, поступающий в камеру сгорания, делят на несколько потоков (рис. 2.37). Первый поток поступает

через завихритель в районе форсунки, охлаждает ее корпус и тем самым предупреждает образование отложений топлива. В этой зоне топливо распыливается, частично испаряется и воспламеняется, здесь а составляет 0,2-0,5.

**Второй поток** воздуха вводится в зону горения через передние ряды отверстий в жаровой трубе. Он обеспечивает сгорание смеси при 2300-2500 К и последующее снижение температуры примерно до 2000 К. Коэффициент  $\alpha$  при этом возрастает до 1,2-1,7. Отверстия располагаются таким образом, чтобы не вызывать местного переохлаждения продуктов сгорания.

**Третий поток** воздуха вводят в камеру сгорания через задние ряды в зону смешения. Он снижает температуру газа до значения, которое допускается по условию прочности лопаток турбины.

Таким образом, в ГТД осуществляется непрерывное горение топлива в потоке быстродвижущегося воздуха, при этом процессы распыливания, испарения, смешения и горения накладываются друг на друга, что существенно осложняет их физико-химическую картину. Основным нарушением процесса горения в ГТД является срыв пламени. Для стабилизации процесса в камере сгорания создают воздушный вихрь, вращающийся вокруг оси камеры, и зоны обратных потоков. Текущие против основного потока горячие газы повышают скорость испарения, полноту сгорания топлива, обеспечивают непрерывное воспламенение свежей топливовоздушной смеси и турбулизируют поток. В результате этого увеличивается скорость горения, уменьшается осевая скорость воздуха вблизи границ зоны обратных токов, а пламя удерживается в определенной области камеры сгорания.



**Рис. 2.37.** Схема камеры сгорания: а - зона распыливания и испарения; б - зона воспламенения и горения; в - зона смешения и охлаждения продуктов сгорания; 1 - форсунка; 2 - завихритель; 3 - кожух; 4 - жаровая труба.

Особенно неблагоприятные условия сгорания создаются на больших высотах, при понижении температуры и давления атмосферного воздуха. С подъемом на высоту плотность воздуха падает, его массовый расход уменьшается. Необходимость сохранения заданного состава горючей смеси приводит к снижению расхода топлива, уменьшению давления впрыска и ухудшению качества распыливания и испарения. Это нарушает процессы воспламенения и горения, изменяет положение зоны горения в камере. При определенных соотношениях указанных факторов возникают колебания давления в камере и процесс горения может прекратиться. Вибрационное горение может вызвать колебания давления в системе подачи топлива и неуправляемое самовоспламенение в отдельных зонах камеры сгорания.

На полноту и устойчивость горения влияет большое число факторов, главными из которых являются температура, давление и состав смеси. С повышением давления в камере сгорания скорость химических реакций окисления и турбулентность потока возрастают, полнота сгорания, характеризуемая коэффициентом выделения тепла, повышается. С понижением давления эти процессы замедляются, кроме того, ухудшается качество распыливания топлива по камере сгорания, что дополнительно снижает скорость сгорания.

Снижение температуры воздуха уменьшает скорость испарения и химических превращений топлива, увеличивает задержку воспламенения. Это уменьшает скорость горения и изменяет положение зоны пламени в пространстве: часть несгоревшего топлива уносится в зону смешения, где вследствие разбавления воздухом отсутствуют необходимые условия для полного сгорания.

Резкое снижение полноты сгорания наблюдается при температурах воздуха на входе в камеру сгорания ниже  $80^{\circ}\text{C}$ .

Для каждой камеры сгорания существует оптимальное значение коэффициента избытка воздуха, при котором полнота сгорания топлива максимальная. Отклонение от этого значения в сторону обогащения или обеднения топливовоздушной смеси приводит к уменьшению коэффициента выделения тепла и к срыву пламени. Главные причины этого явления — недостаток кислорода при обогащении смеси и низкая скорость горения бедной смеси.

Коэффициент выделения тепла при работе ГТД в расчетных условиях в основных камерах сгорания составляет 0,95-0,99. В форсажных камерах он составляет 0,85-0,97; это вызвано меньшей концентрацией кислорода в газах, поступающих в форсажную камеру, пониженным давлением этих газов и худшим распыливанием топлива.

Особенностью процесса сгорания в ГТД является и существенная роль излучения факела пламени. При высокой теплонапряженности камеры сгорания, достигающей  $15 \text{ ГДж}/(\text{м}^3\cdot\text{ч})$ , дополнительный поток лучевой энергии от сажевых частиц, образующихся в пламени, может привести к местному разрушению (прогару) жаровой трубы.

Жаровые трубы являются наиболее часто повреждаемыми элементами

камер сгорания. Их повреждение вызывается вибрацией стенок, отложением кокса и нагара, неравномерной температурой стенок и частым изменением температурного режима краев отверстий для прохода воздуха, что приводит к появлению трещин.

Нагар, изолируя стенки жаровой трубы от охлаждающего воздуха, вызывает их местные перегревы, появление температурных напряжений, коробление и растрескивание. Кокс и нагар, отложившиеся на форсунке, изменяют характеристики распыливания, горения, распределения температуры газов перед турбиной.

Условия эксплуатации самолетов крайне разнообразны. В наземных условиях и при малых скоростях полета топливо может подвергаться значительному охлаждению вплоть до температуры начала кристаллизации. При больших скоростях полета из-за аэродинамического нагрева планера самолета, а также в результате нагрева в агрегатах топливной системы температура топлива может превысить температуру начала кипения. С подъемом самолета на высоту значительно изменяются атмосферное давление и давление в безнаддувных топливных баках. Исходя из объемов потребления топлив, условий эксплуатации летательных аппаратов, особенностей протекания процесса сгорания в двигателях, узлах и агрегатах топливных систем, к авиакеросинам предъявляют *следующие требования*. Они должны:

- иметь необходимые сырьевые ресурсы и вырабатываться доступными технологическими процессами;
- хорошо прокачиваться по топливной системе летательного аппарата и двигателя при низких температурах, низком давлении в баках и при полете на больших высотах;
- полностью испаряться в соответствующей зоне камеры сгорания, воспламеняться в широких пределах состава топливовоздушной смеси;
- обладать высокой теплотой сгорания, плотностью, обеспечивать устойчивое сгорание с высокой скоростью;
- не содержать зольных элементов, не образовывать нагара и других отложений;
- не быть коррозионно-активными по отношению к деталям топливной системы и газоздушного тракта двигателя;
- иметь достаточно хорошие противоизносные, защитные, охлаждающие свойства и совместимость с неметаллическими материалами (резиной, герметиками);
- быть малотоксичными;
- иметь высокую стабильность в условиях хранения, транспортирования и применения.

Требования к высокой плотности топлива определяются большим его расходом и особенно важны для летательных аппаратов, имеющих ограниченную вместимость топливных баков (например, истребителей).

По мере развития авиационной техники требования к топливам становятся все более жесткими. Так, с появлением сверхзвуковой авиации

резко возросли требования к термоокислительной стабильности топлива. С увеличением вместимости топливных баков транспортных и бомбардировочных самолетов потребовалось увеличить скорость заправки.

Это привело к возрастанию опасности накопления зарядов статического электричества в топливе и вызвало необходимость применения средств борьбы с этим явлением. Одно из таких средств - увеличение электрической проводимости топлива антистатическими присадками.

## **МАРКИ, СОСТАВ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА АВИАКЕРОСИНОВ**

Авиакеросины классифицируют с учетом двух доминирующих признаков; по склонности к образованию отложений - обычные (Т-1, ТС-1, Т-2) и термостабильным (РТ, Т-6, Т-8В), и по уровню испаряемости - широкого фракционного состава (Т-2), типа керосина (Т-1, ТС-1, РТ) и утяжеленного фракционного состава (Т-6 и Т-8В). Оба признака указывают возможную область применения топлив в зависимости от типа летательного аппарата.

Авиакеросины с обычным уровнем термоокислительной стабильности получают прямой перегонкой нефти. Дистилляты при необходимости подвергают щелочной очистке, промывке водой с последующим отстаем и фильтрованием.

### **АССОРТИМЕНТ ПРОДУКЦИИ ФЕРГАНСКОГО И БУХАРСКОГО НПЗ СВЕТЛЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ**

#### **РАСТВОРИТЕЛЬ НЕФТЯНОЙ «НЕФРАС (С4 - 130 / 210)»**

Область применения: получают в процессе ректификации на установках первичной переработки нефти предназначен для лакокрасочной, олифоварочной и других областей промышленности

#### **КЕРОСИН ТЕХНИЧЕСКИЙ КТ**

Область применения: предназначен для лакокрасочной, олифоварочной и других областей промышленности. Получают в процессе ректификации на установках первичной переработки нефти.

#### **КЕРОСИН ОСВЕТИТЕЛЬНЫЙ КО**

Область применения: получают из дистиллятов прямой перегонки нефти предназначен для использования в бытовых нагревательных и осветительных приборах (керосиновых лампах, керосинках, керогазах и примусах).

#### **ТОПЛИВО ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТС-1**

Область применения: топливо для реактивных двигателей самолетов дозвуковой авиации.

**БУХАРСКИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ ЗАВОД**  
**на топливо авиационное для газотурбинных двигателей ДЖЕТ А-1 (JET A-1)**  
**вырабатываемого по Öz 1117:2007**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

N п/п	Показатели	ДЖЕТ А-1 (JET A-1)
1.	Внешний вид а) визуальная оценка  б) цвет, баллы по шкале Сейболта с) содержание механических примесей mg/dm <sup>3</sup> более	Чистое прозрачное, не должно содержать воды, осадка и взвешенных частиц при температуре окружающей среды не нормируется 1,0
2.	Кислотное число общее, mg KOH/g, не более	0,015
3.	Объемная доля ароматических углеводородов, % не более	25,0
4.	Массовая доля меркаптановой серы, % не более	0,0030
5.	Фракционный состав: - 10% перегоняется при температура, °С, не выше - 50% перегоняется при температура, °С - 90% перегоняется при температура, °С Температура конец кипения, °С, не выше: - остаток от разгонки, %, не более - потери от разгонки, %, не более	отрицательная  205 не нормируется Тоже 300 1,5 1,5
6.	Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	38
7.	Плотность при 20 °С, kg/m <sup>3</sup> , в пределах	775,0-840,0
8.	Температура замерзания, °С, не выше	Минус 47,0
9.	Кинематическая вязкость при температуре минус 20 °С, mm <sup>2</sup> /s не более	8,000
10.	Низшая теплота сгорания, MJ/kg, не менее	42,80
11.	Высота некопящего пламени, mm, не менее или	25,0
12.	При объемной доле нафталиновых углеводородов не более 3 %, mm, не менее	19,0
13.	Коррозия медной пластинки при 100 °С в течение (2 h ± 5 min), класс, не более	1
14.	Термоокислительная стабильность на установке ДжефтоТ (JFTOT) при 260°С в течение 2,5 h: перепад давления, kPa(mm Hg), не более отложения на трубке, номер по калориметрической шкале ASTM, менее	3,3 (25) 3
15.	Концентрация фактических смол, mg/ 100 cm <sup>3</sup> , не более	7
16.	Взаимодействие с водой: а) оценка поверхности раздела фаз, баллы, не более б) оценка светопропускания топлива, не менее: с антистатической присадкой без антистатической присадки	1b 70 85
17.	Удельная электрическая проводимость, pS/m, для топлива: с антистатической присадкой, в пределах без присадки, не более	50-600 10
18.	Объемная доля нафталиновых углеводородов, % не более	3
19.	Смазывающая способность диаметр пятна износа, mm, не более	0,85

**ДЖЕТ А-1 (JET А-1)** топливо авиационное для газотурбинных двигателей ДЖЕТ А-1 (JET А-1) вырабатываемого по Öz 1117:2007.

Термостат жидкостей VT-14-03 прибор для определения коррозии меди Жет А-1 по ASTM D 130.

Плотномер ДЕ-40 для определения плотности авиационного топлива Жет А-1 по ASTM D 4052.

Тестр по коррозии меди для определения коррозии меди под воздействием авиационного топлива Жет А-1 плотности по ASTM D 130 15<sup>0</sup>С - 0,7897

Анализатор пределение устойчивости топлив к термическому окислению для авиационных турбин по ASTM D 130.

**Petrotest** – окисли. **GBC UV** спектрофотометр для определения нафталиновых углеводородов в составе керосина.

Прибор для определения температуры вспышки в закрытом тигле ГОСТ 6356 – 75.

Психрометр – для измерения температуры и влажности.

Прибор для определения максимальной высоты некопящего пламени реактивной топливо Тс-1 по ГОСТ 4332.

Топливо Т-1 представляет собой керосиновую фракцию малосернистых нефтей, выкипающую в пределах 140-280° С. Высокая плотность (более 800 кг/м<sup>3</sup>), малое содержание сернистых соединений и высокая вязкость обеспечивают топливу высокий уровень качества по всем эксплуатационным свойствам, кроме склонности к отложениям. Ресурсы этого топлива ограничены.

**Топливо ТС-1** представляет собой фракцию сернистых нефтей, выкипающую в пределах 140-250° С. Более узкий фракционный состав топлива вызван повышенным содержанием в сернистых нефтях алканов нормального строения, что отрицательно сказывается на температуре начала кристаллизации. Содержание серы в топливе ТС-1 выше, чем в топливе Т-1, в то же время в топливе ТС-1 содержится меньше смолистых соединений и нестабильных углеводородов, вследствие чего его термическая стабильность несколько выше. Допускается получение топлива ТС-1 демеркаптанизацией, а также смешением гидроочищенного и прямогонного дистилляторов. Топлива Т-1 и ТС-1 взаимозаменяемы.

**Топливо Т-2** включает бензиновые и керосиновые фракции прямой перегонки сернистых и малосернистых нефтей. Оно обладает высокой испаряемостью, обеспечивает надежный пуск двигателя. В связи с низкой вязкостью и необходимостью обязательно обрабатывать щелочью бензиновые фракции для удаления низкомолекулярных коррозионно-активных соединений топливо имеет плохие противозносные свойства.

**Топлива Т-1, ТС-1 и Т-2** вырабатывают по **ГОСТ 10227-86**, используя технологию и нефти, которые применялись при изготовлении образцов, прошедших с положительными результатами государственные испытания на технике или по комплексу методов квалифицированной оценки. Нормы по

показателям качества этих топлив приведены в табл. 15.

**Топливо ТС-1** с температурой начала кристаллизации не выше минус 50° С и минус 55° С предназначено для всех климатических зон, за исключением очень холодного климатического района (**ГОСТ 16350-80**). Температура начала кристаллизации топлива ТС-1 для применения в этом климатическом районе устанавливается по согласованию с потребителями. По особому требованию потребителей топливо Т-1 должно выпускаться с плотностью не менее 810 кг/м<sup>3</sup> при 20° С.

Для улучшения эксплуатационных свойств в топлива Т-1, ТС-1 и Т-2 могут добавляться присадки, допущенные к применению в установленном порядке.

Таблица.15  
Показатели качества авиакеросинов по **ГОСТ 10227—86**

Показатель	Норма для марок				
	ТС-1	ТС-1 высшей категории	Т-1	Т-2	РТ
Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup> , не менее	775	780	800	755	755
Фракционный состав:					
температура начала перегонки, °С: не выше	150	150	150	—	135
не ниже	—	—	—	60	—
10% перегоняется при температуре, °С, не выше	165	165	175	145	175
50% перегоняется при температуре, °С, не выше	195	195	225	195	225
90% перегоняется при температуре, °С, не выше	230	230	270	250	270
98% перегоняется при температуре, °С, не выше	250	250	280	280	280
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с:					
при температуре 20°С, не менее	1,25	1,30	1,50	1,05	1,25
при температуре минус 40° С, не более	8	8	16	6	16
Теплота сгорания низшая, кДж/кг, не менее	42 900	43 120	42 900	43 100	43 120
Высота нехоптящего пламени, мм, не менее	25	25	20	25	25
Кислотность, мг КОН на 100 мл топлива, не более	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Давление насыщенных паров, гПа, не более	—	—	—	133	—
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	28	28	30	—	28
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	—50	—55	—60	—60	—50
Йодное число, г йода на 100 г топлива, не более	3,5	2,5	2,0	3,5	0,5
Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более	22	22	20	22	22
Термическая стабильность при 150° С в течение 4 ч, осадок в мг на 100 мл, не более	10	8	18	10	—
Концентрация фактических смол, мг на 100 мл топлива, не более	5	3	6	5	4
Массовая доля общей серы, %, не более	0,25	0,20	0,10	0,25	0,1
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,005	0,003	—	0,005	0,001
Зольность, %, не более	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

К термостабильным авиакеросинам относятся топлива РТ, Т-6 и Т-8В.

**Топливо РТ** получают гидроочисткой фракций (135 - 280° С) различных нефтей. При гидроочистке резко снижается содержание общей

серы, нестабильных углеводородов и смолистых соединений, практически полностью удаляются меркаптановые соединения. Все это повышает стабильность, однако ухудшает противоизносные свойства топлива и увеличивает его окисляемость. Поэтому в топливо вводят противоизносную (0,002- 0,004%) и антиокислительную (0,003-0,004%) присадки.

**Топливо Т-6** представляет собой газойлевую фракцию (195-315° С) прямой перегонки нефти (или продуктов вторичной перегонки), подвергнутую глубокому гидрированию, в результате чего из топлива удаляются сернистые соединения, смолы и нестабильные углеводороды, а большая часть ароматических углеводородов превращается в цикланы. В топливо добавляют антиокислительную присадку и при необходимости противоизносную присадку.

**Топливо Т-8В** выкипает в пределах 165-280°С. Оно может быть получено гидроочисткой, гидродеароматизацией (ужесточенным режимом гидроочистки) прямогонных фракций нефти и гидрокрекингом вакуумного газойля. В топливо Т-8В вводят те же присадки, что и в топливо РТ.

Нормы по показателям качества термостабильным топлив приведены в табл. 16.

### **Характеристика эксплуатационных свойств авиакеросинов**

**Прокачиваемость.** Нарушение подачи топлива возможно вследствие повышения при охлаждении его вязкости выше расчетной величины и выделения твердой фазы (кристаллов воды или углеводородов), а также загрязнения фильтров механическими примесями и другими отложениями продуктов, находящихся в топливе и попадающих в него из атмосферного воздуха.

По техническим требованиям в топливе не должны содержаться вода и механические примеси в таком количестве, которое может быть обнаружено невооруженным глазом в стеклянном цилиндре диаметром 40-55 мм, заполненном топливом. Для удаления воды и механических примесей на аэродромах топливо подвергается отстою и неоднократному фильтрованию через фильтры и фильтры-сепараторы при сливе из транспортных средств, перекачке в отстойные резервуары, при выдаче в автотопливозаправщик или в систему централизованной заправки (тонкость очистки 5-10 мкм) и при заправке самолетов через фильтры ТЗ или ЦЗ (5-7 мкм). В системе питания самолета топливо фильтруется через топливные фильтры летательного аппарата.

Необходимость многоступенчатого фильтрования топлива объясняется тем, что микрозагрязнения в топливе появляются как в результате загрязнения извне (например, атмосферной пылью), так и при коррозии металлов и непрерывном окислении молекул углеводородов и неуглеводородов в процессе хранения.

Перекачка реактивных топлив при хранении и транспортировании не

вызывает затруднений, так как даже в северных районах Республики Узбекистан их температура не опускается ниже температуры, при которой они теряют подвижность. При охлаждении вязкость топлива Т-6 может повыситься до 60 - 80 мм<sup>2</sup>/с, что увеличивает гидравлические сопротивления при движении по трубопроводам, но не вызывает нарушений в перекачке.

Таблица.16

Показатели качества термостабильных авиакеросинов

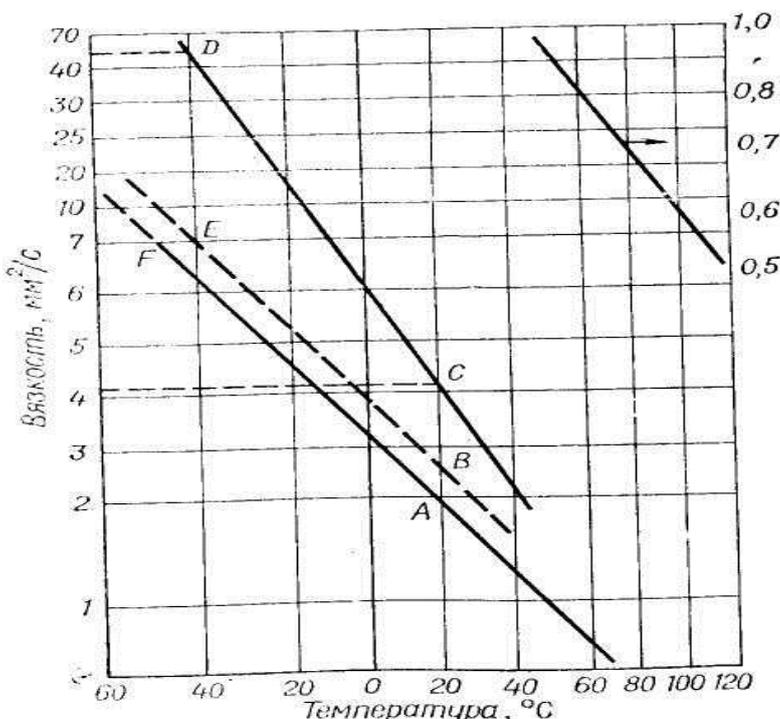
Показатель	Норма для марок	
	Т-8В ТУ 38101560-86	Т-6 ГОСТ 12308-80
Плотность при 20° С, кг/м <sup>3</sup> , не менее	800	840
Фракционный состав:		
температура начала перегонки, °С, не ниже	165	195
10% перегоняется при температуре °С, не выше	185	220
50% перегоняется при температуре, °С, не выше	—	225
90% перегоняется при температуре, °С, не выше	—	290
98% перегоняется при температуре, °С, не выше	260	315
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с:		
при температуре 20° С	Не менее 1,50	Не более 4,5
при температуре минус 40° С, не более	16	60
Теплота сгорания низшая, кДж/кг, не менее	43 100	42914
Высота некопящего пламени, мм, не менее	20	20
Кислотность, мг КОН на 100 мл топлива	0,4 - 0,7	Не более 0,5
Йодное число, г йода на 100 г топлива, не более	1,0	1,0
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	40	—
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	Минус 50	Минус 50
Термическая стабильность в статических условиях при 150° С в течение 5 ч, мг на 100 мл топлива, не более:		
осадок	6	6
растворимые смолы	—	—
нерастворимые смолы	—	Отсутствуют
Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более	22	10
Концентрация фактических смол, мг на 100 мл топлива, не более	6	6
Массовая доля общей серы, %, не более	0,1	0,05
Массовая доля меркаптанов, %, не более	0,001	Отсутствуют
Зольность, %, не более	0,003	0,003
Массовая доля нафталиновых углеводородов, %, не более	2,0	(1,0)
Термическая стабильность динамическим методом при 150 – 180 °С:		
перепад давления на фильтре за 1ч, гПа, не выше	100	(100)
отложения на подогревателе, баллы, не более	1	—
Люминометрическое число, не ниже	45	(45)
Взаимодействие с водой, баллы, не более:		
состояние поверхности раздела	1	(1)
состояние разделенных фаз	1	(1)

Примечание. В скобках приведены значения квалификационных норм.

Необходимые расчеты по вязкости топлив и их смесей могут быть выполнены по номограмме (рис. 2.38), где линия  $AF$  характеризует вязкостно-температурную зависимость топлива, имеющего  $\nu_{20}=1,3$  мм<sup>2</sup>/с, линия  $DC$  - топлива, имеющего  $\nu_{20} = 4$  мм<sup>2</sup>/с, а линия  $BE$  - вязкость смеси указанных топлив, в составе которой доля компонента, равная отношению отрезков  $AB$  к  $AC$  или  $BC$  к  $AC$ .

При охлаждении топлива ниже температуры начала кристаллизации его подача через самолетные фильтры, не оборудованные системой тепловой защиты, прекращается. Кратковременно это явление неопасно, так как в этом случае, минуя фильтр, включается питание двигателя, а самолет может сменить высоту полета, перейдя в зону, где температура заторможенного воздуха выше температуры начала кристаллизации топлива.

Наиболее опасной причиной нарушения подачи авиакеросинов в самолете является наличие воды в виде эмульсии и отстоя. При охлаждении капли эмульсии и отстой могут замерзнуть, закупорить жиклеры автоматических устройств, вызвать примерзание клапанов регулировочных агрегатов и поломку приводов насосов. Отстаивание, вымораживание, удаление воды с помощью фильтров-сепараторов при заправке самолетов дают определенный эффект. Однако это не исключает в дальнейшем в ходе полета появления в топливе эмульсионной и отстойной воды в результате охлаждения топлива и уменьшения количества растворенной в нем воды (рис. 2.39).



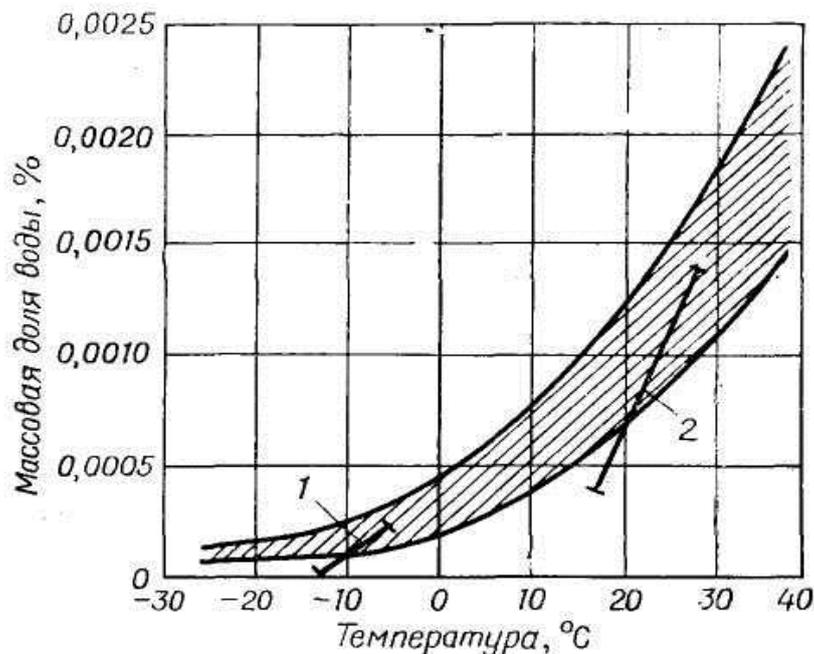
**Рис. 2.38.** Номограмма для расчета вязкости авиакеросинов и их смесей при различной температуре

Эмульсионную воду очень трудно удалить из топлива отстаиванием, так как чем меньше размер капель, тем меньше скорость их осаждения под

действием силы тяжести. Из закона Стокса следует, что для капль диаметром 1-10 мкм скорость осаждения не превышает 30 см/ч. Эксперименты показали, что в наземном резервуаре летом за 3 сут отстаивания содержание воды в топливе уменьшилось только с 0,007 до 0,005%. При резком уменьшении относительной влажности воздуха с 96 до 36% содержание воды в топливе за одни сутки снизилось с 0,008 до 0,006 %.

Наиболее опасным с точки зрения накопления воды является летний период, когда топливо на земле имеет большую температуру и в нем растворено много воды.

В полете эта вода выделяется. Мелкие капли воды способны к переохлаждению. Так, в отсутствие центров кристаллизации капли диаметром 10 мкм могут переохлаждаться до минут  $40^{\circ}\text{C}$ , диаметром 50 мкм - до минус  $35^{\circ}\text{C}$ , 100 мкм - до минус  $30^{\circ}\text{C}$ . Переохлажденная вода при контакте с фильтрующим материалом мгновенно кристаллизуется, образуя корку льда, и прекращает подачу топлива. По зарубежным данным, до разработки эффективных мер защиты от кристаллизации воды более 10% крупных катастроф реактивных самолетов происходили в результате образования кристаллов льда в топливе.



**Рис. 2.39.** Максимальная концентрация воды, растворяющейся в различных образцах топлив ТС-1, Т-1 и РТ (заштрихованная зона), и фактическое количество воды в пробах топлива, отобранных из баков самолета: 1-зимой; 2-летом

Конструкция баков самолета такова, что в них находится невырабатываемый остаток топлива: сливаемый (2,5-3,5%) и несливаемый (0,3-0,4%). Сливаемый остаток образуется в застойных зонах топливных баков и нижних точках трубопроводов. Эти участки являются естественными отстойниками для отделения механических примесей и воды от топлива. Несливаемый остаток топлива находится в застойных зонах, не

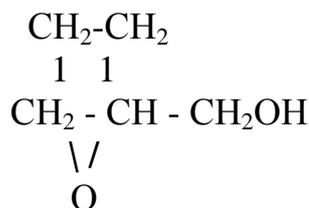
оборудованных сливными кранами.

Контроль за чистотой топливных баков, регулярный слив отстоя являются непременным условием обеспечения безопасности полетов.

В связи с интенсивным перемешиванием топлива в баках выделившаяся в дисперсную фазу вода адсорбирует на своей поверхности мелкодисперсные частицы механических примесей и смол. Эти вещества коагулируют и осаждаются в виде укрупненных комплексов.

Повышению устойчивости эмульсий воды в топливе способствует присутствие поверхностно-активных веществ. Эти вещества должны содержаться в топливе в оптимальных концентрациях, обеспечивающих хорошие противоизносные свойства, но не вызывающих сильное эмульгирование топлива. Наличие ПАВ в авиакеросинах контролируется по показателю «Взаимодействие с водой», который включен в стандарт на топливо РТ и в комплекс методов квалификационной оценки других авиакеросинов.

Эффективным средством борьбы с кристаллизацией эмульсионной воды и застыванием отстоя является добавление в топливо 0,1-0,3% противоводокристаллизационных присадок: моноэтилового эфира этиленгликоля (этилцеллозольва)  $C_2H_5OCH_2-CH_2OH$  или тетрагидрофурурилового спирта (ТГФ):



Требования к качеству этих присадок характеризуют данные, приведенные в табл. 17. В зарубежной практике в качестве аналогичных присадок используют монометиловый эфир этиленгликоля (метилцеллозольв).

Добавление этих присадок позволяет снизить температуру, при которой нарушается фильтрование топлива в результате образования кристаллов льда. Присадки также способны растворять снег и иней, осыпавшиеся в топливо со стенок резервуаров и топливных баков.

Качество этилцеллозольва, применяемого в качестве противоводокристаллизационной присадки, контролируют также по показателям фракционного состава, растворимости в воде и смешиваемости с реактивным топливом.

Растворимость воды в топливе в присутствии присадок повышается в результате образования водородной связи между молекулами воды и присадки. Полагают, что каждая молекула присадки способна удерживать в растворе ассоциат, состоящий как минимум из четырех молекул воды. При большой концентрации воды обводненная присадка переходит в отстой. Водные растворы противоводокристаллизационных присадок и метилового спирта, входящего в состав жидкостей И-М и ТГФ-М, допущенных к при-

менению на технике гражданской авиации, имеют отрицательную температуру замерзания, что повышает надежность топливных систем.

В связи с возможностью перехода обводненных противоводокристаллизационных присадок в отстой их добавляют в топливо перед заправкой летательных аппаратов. Топливо предварительно отстаивают и фильтруют через фильтры - сепараторы. Неизрасходованное топливо с противоводокристаллизационными присадками может храниться в резервуарах аэродромного склада до 6 мес.

**Испаряемость.** Испаряемость авиакеросинов характеризуется фракционным составом и давлением насыщенных паров. Уровень испаряемости авиакеросина влияет на возможность нарушения его подачи (вследствие образования паровых пробок), на пуск двигателя, скорость и полноту сгорания, возможность срыва пламени.

Нарушение подачи на больших высотах вследствие выделения паров топлив и растворенных газов происходит при определенном соотношении объемов паровой и жидкой фаз в системе подачи. Установлено, что нормальная работа насосов реактивного двигателя нарушается, если отношение паровой фазы к жидкой больше 2.

Таблица. 17

Показатели качества противоводокристаллизационных присадок

Показатель	Этилцеллозольв ГОСТ 8313—76		ТГФ ГОСТ 17477-88
	Высший сорт	1-й сорт	
Внешний вид	Прозрачная жидкость без механических примесей		Бесцветная или светло-желтая жидкость без механических примесей
Цветность по платиново-кобальтовой шкале, не более	15	25	—
Плотность при 20° С, кг/м <sup>3</sup>	928-933	928-933	1049 1064
Массовая доля воды % не более	0,2	0,3	02
Массовая доля основного вещества, % не менее	99	97	—
Число омыления, мг КОН на г продукта, не более	0,5	0,5	—
Массовая доля кислот (в пересчете на уксусную кислоту), %, не более	0,005	0,007	0,02
Остаток после прокаливании, % не более	0,002	0 003	
Показатель преломления при 20°С	1,4070 -1,4090	1,4070-1,4090	1,4500-1,4540
Массовая доля фурфуроливого спирта, %, не более	—	—	0,2
Массовая доля фурфуrolа, %, не более	—	—	0,005

По расчету при температуре топлива Т-1 40° С нормальная работа топливных насосов без наддува баков может нарушаться при высоте

примерно 17 км, а на топливе Т-2 - на высоте 12 км.

Образование паровых пробок можно предупредить созданием избыточного давления в системе питания.

При этом давление в топливном баке  $P_б$  должно отвечать соотношению

$$P_б = P_a + P_{над} \geq P + P_k,$$

где  $P_a$  - атмосферное давление на высоте полета;

$P_{над}$  - давление наддува в топливных баках;

$P$  - давление насыщенных паров топлива при температуре топлива в баке;

$P_k$  - кавитационный запас.

Обычно  $P_{над} = 200$  гПа, а  $P_k = 20$  гПа.

С увеличением давления насыщенных паров топлива ухудшаются надежность и подача топлива насосом. Особенно сильно это проявляется в условиях высотного полета, когда подача может снизиться на 40-70%.

При наборе высоты из топлива кроме паров начинают выделяться растворенные газы (воздух). Объем выделившегося воздуха (с учетом его расширения вследствие уменьшения давления в баке) может составлять несколько сотен литров на 1 м<sup>3</sup> топлива. При этом поток топлива, поступающий в насос, становится двухфазным. Скорость выделения воздуха зависит от скорости падения давления в баке, т. е. скорости набора самолетом высоты. При первом наборе высоты с большой скоростью может наблюдаться как бы кипение топлива, вызывающее кавитацию насосов и прекращение подачи.

Определение давления насыщенных паров предусмотрено ГОСТ 10227 - 86 для топлива Т-2 и комплексом методов квалификационной оценки для термостабильных авиакеросинов.

Давление насыщенных паров авиакеросинов (гПа) в зависимости от температуры (в К) может быть рассчитано по формуле

$$\lg P = A - \frac{B}{T}$$

Значения коэффициентов  $A$  и  $B$  для различных топлив равны:

	Т-2	ТС-1, РТ	Т-8В	Т-6
$A$ .....	7,6	7,2	6,8	6,2
$B$ .....	1840	1820	1700	1640

К фракционному составу топлив предъявляются противоречивые требования: для облегчения пуска, расширения пределов устойчивого горения, повышения полноты сгорания и уменьшения нагарообразования топливо должно обладать по возможности более легким фракционным составом; и наоборот, для уменьшения потерь от испарения при хранении, повышения надежности топливных насосов в высотных условиях, повышения объемной теплоты сгорания требуются авиакеросины

утяжеленного фракционного состава.

Пуск двигателя на топливе Т-2, содержащем низкокипящие фракции, осуществляется при определенных условиях при общем коэффициенте избытка воздуха 6,0, а на топливе Т-6 - при 3,0. В связи с этим на некоторых самолетах с ГТД в качестве пускового топлива используют авиабензин и бензин-растворитель (неффрас).

**Пусковые свойства** в известной степени характеризует температура перегонки 10% топлива. Так, на топливе с температурой выкипания 10% фракции 70°С двигатель легко пускается при минус 55°С, а с температурой выкипания 10% фракции 150 - 190° С пуск осложняется уже при минус 40° С. Легкость пуска двигателя при отрицательной температуре имеет исключительно большое значение для повторного пуска заглохшего в полете двигателя.

Связь других показателей фракционного состава топлива (50, 90 и 98% перегонки) с надежностью и эффективностью ГТД изучена в меньшей степени. Температура перегонки 90 и 98% топлива ограничивается главным образом температурой начала кристаллизации топлива.

Комплексные показатели испаряемости  $T_{cp} = 1/3 (T_{10} + T_{50} + T_{90})$  и  $T_{\varepsilon} = 0,3 T_{10} + 0,54 T_{50} + 0,16 T_{98}$  могут быть использованы для расчета теплоты сгорания топлив и склонности их к нагарообразованию.

**Воспламеняемость.** Воспламеняемость авиакеросинов в стандартах характеризуется температурой вспышки в закрытом тигле. Нормы по этому показателю связаны с классификацией веществ по уровню их пожароопасности, а следовательно, с необходимостью оборудования техники средствами пожарной защиты. Топливо Т-2 относится к постоянно опасным легковоспламеняющимся жидкостям (температура вспышки ниже 20°С), топлива остальных марок, кроме Т-6, относятся к легковоспламеняющимся жидкостям, опасным при повышенной температуре. Топливо Т-6 имеет температуру вспышки выше 70° С и по этому показателю отвечает нормам морского Регистра, как и дизельные топлива, предназначенные для применения на судовых энергетических установках.

Важной характеристикой топлив является склонность их к электризации (накоплению зарядов статического электричества при перекачке и фильтровании).

Авиакеросины, не содержащие антистатических присадок, являются хорошими диэлектриками. Их удельная электрическая проводимость  $a$  находится в пределах от 1 до 5 пСм/м, по квалификационной норме  $\wedge 10$  пСм/м, а относительная диэлектрическая проницаемость составляет около 2,1. Введение в топливо антистатической присадки способствует ускорению релаксации зарядов статического электричества, увеличивает допустимую скорость заправки летательных аппаратов. Для топлива с присадкой установлено минимальное значение  $a = 50$  пС м/м при 20°С. Ограничивается и максимальное значение удельной электропроводности — не более 600 пСм/м при рабочей температуре в баках самолета, так как при большем значении может произойти отказ датчиков топливомеров.

**Горючесть.** Энергетические свойства авиакеросинов характеризуются и нормируются значениями плотности и удельной низшей теплоты сгорания, отнесенной к единице массы. Эти два показателя непосредственно связаны с потребной массой  $M_T$ , составляющей 30 - 60% взлетной массы самолета, или с объемом топлива на борту самолета в зависимости от осредненной тяги двигателя, длины пути полета  $L$  и полного КПД силовой установки  $\eta_n$

$$M_T = \frac{R_{cp}L}{Q_n \eta_n}$$

Плотность топлива линейно зависит от температуры и при ее увеличении на каждый градус снижается приблизительно на  $(0,7—0,8)$  кг/м<sup>3</sup> ( $y$ ).

В повседневной практике теплоту сгорания топлив допускается рассчитывать по **ГОСТ 11065—75**:

$$Q_H = 4,1868 [9940 + (T_A + 17,8)] \left( \frac{156500}{\rho + 4440y} - 14,56 \right)$$

где  $T_A$  — анилиновая точка топлива, °С;

$\rho$  — плотность топлива при 20°С, кг/см<sup>3</sup>;

$y$  — коэффициент, учитывающий изменение плотности.

Эта формула не всегда дает точные результаты, так как на значение анилиновой точки оказывают противоположное влияние два фактора: молекулярная масса топлива (с ее повышением анилиновая точка  $T_A$  растет) и содержание ароматических углеводородов, которые имеют сходную структуру с анилином и снижают анилиновую точку  $T_A$ . Но с увеличением температуры кипения фракций топлива возрастают их молекулярная масса, массовая доля ароматических углеводородов и анилиновая точка (рис. 2.40). Более точные результаты дает расчет теплоты сгорания авиакеросинов по формуле

$$Q_H = 35950 + 94,87A - 9,44T_{cp} - 0,35AT_{cp} + \frac{5525 - 111,1A + 10,5T_{cp} + 0,377AT_{cp}}{0,001\rho_{20}}, \text{ кДж/кг,}$$

где  $A$  — массовая доля ароматических углеводородов в топливах, %;

$T_{cp}$  — средняя температура кипения, °С;

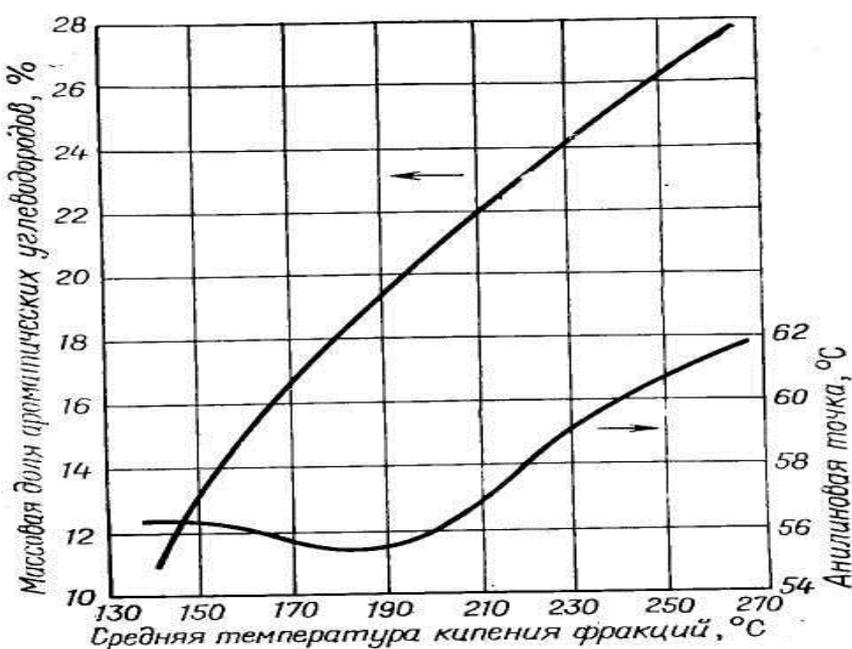
$\rho_{20}$  — плотность при 20° С, кг/м<sup>3</sup>.

Для самолетов-перехватчиков малого радиуса действия, когда первостепенное значение имеет вместимость топливных баков, энергетические свойства топлива лучше характеризует удельная теплота сгорания, отнесенная к единице объема. С увеличением плотности и средней температуры кипения топлива теплота сгорания, отнесенная к единице массы и к единице объема, увеличивается.

Другие показатели горючести авиакеросина — показатели светимости

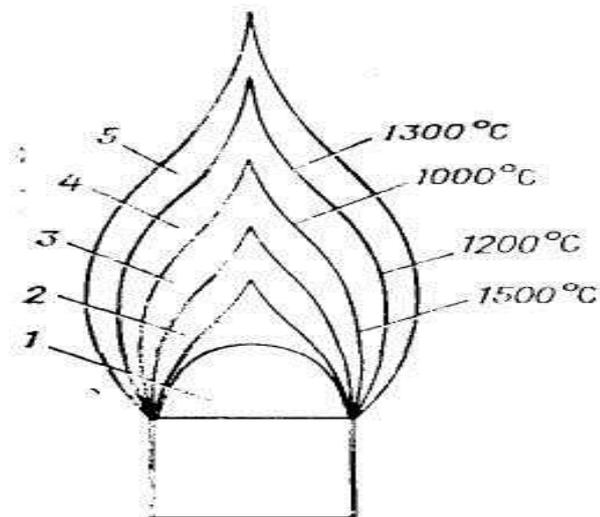
пламени: высота некоптящего пламени и люминометрическое число.

Высоту некоптящего пламени определяют в фитильной лампе. Во время испытания фитиль выдвигают, увеличивая высоту пламени до момента появления копоти. Причиной копоти является изменение соотношения между шириной зон пламени, показанных на рис. 2.41, в результате чего из зоны глубокого пиролиза твердые частицы углерода проходят через сине-зеленую зону и не успевают полностью окисляться (сгореть) в зоне расходования кислорода. Ширина сине-зеленой зоны пропорциональна отношению водорода к углероду в топливе, что видно из табл. 18. На рис. 2.42 показаны температуры в отдельных зонах пламени. Интенсивность излучения пламени вследствие наличия в нем частиц свободного углерода оценивают люминометрическим числом (ЛЧ).



**Рис. 2.40.** Массовая доля ароматических углеводородов и анилиновые точки 20 - процентных фракций авиационного керосина.

Значение ЛЧ зависит от углеводородного состава топлива. Так, ароматические углеводороды обладают большой склонностью к образованию свободных частиц углерода в пламени, алканы образуют их меньше, а циклоны занимают промежуточное положение.



**Рис. 2.41.** Зоны пламени фитильной лампы: 1-испарения топлива; 2-начального пиролиза; 3-глубокого пиролиза; 4 -синие-зеленая спектроскопически прозрачная; 5-расходования кислорода (горения)

Таблица.18.

Влияние структуры молекул углеводородов на структуру пламени

Углеводород	Соотношение Н:С	Ширина синие-зеленой зоны, мм
Метан $\text{CH}_4$	4,0	4,18
Н-гептан $\text{C}_7\text{H}_{16}$	2,29	3,51
Изооктан $\text{C}_8\text{H}_{12}$	2,25	3,47
Циклогексан $\text{C}_6\text{H}_{12}$	2,0	3,07
Бензол $\text{C}_8\text{H}_6$	1,0	1,0

Прибор для оценки интенсивности излучения топлива состоит из фитильной лампы, аппарата для измерения интенсивности излучения пламени и термопары.

В ходе испытания в лампе сжигают испытуемое и эталонное топлива и определяют разность температур при одинаковой интенсивности излучения пламени. В качестве эталонных топлив используют изооктан ( $\text{ЛЧ}=100$ ) и тетралин ( $\text{ЛЧ} = 0$ ). Люминометрическое число топлива вычисляют по формуле

$$\text{ЛЧ} = \frac{(T_{и.т} - T_t)100}{T_{и.о} - T_t},$$

где  $T_{и.т}$ ,  $T_t$ ,  $T_{и.о}$  — температуры для испытуемого топлива, тетралина и изооктана, взятые при постоянной интенсивности излучения пламени, соответствующей интенсивности излучения пламени тетралина в начале дымления.

Наиболее высокие  $\text{ЛЧ}$  у нормальных алканов, затем в убывающем порядке у изоалканов, цикланов, алканов и ароматических углеводородов. С увеличением молекулярной массы  $\text{ЛЧ}$  уменьшается. Квалификационные нормы по  $\text{ЛЧ}$  установлены: для топлива ТС-1-не менее 55, для топлива Т-І -

не менее 50, для топлива Т-6 -не менее 45 единиц. Такое различие объясняется разным содержанием ароматических углеводородов и составом неароматических углеводородов топлив.

Влияние ЛЧ топлива на плотность лучистой энергии  $\phi$  пламени и температуру стенки  $T_{ст}$  жаровой трубы в различных типах двигателей характеризуют данные табл. 19.

Таблица.19.

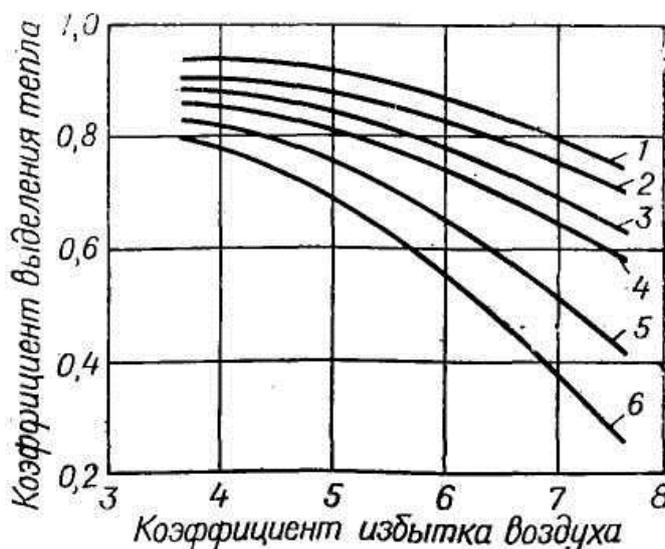
Влияние люминометрического числа топлива на излучение пламени и температуру стенки камеры сгорания

Люминометрическое число топлива	Двигатель № 1		Двигатель № 2	
	$\phi$ , кВт/м <sup>2</sup>	$T_{ст}$ , °С	$\phi$ , кВт/м <sup>2</sup>	$T_{ст}$ , °С
135	247	571	254	363
99	269	—	315	382
64	351	365	401	418
44	407	660	429	428
0	705	754	795	533

Таким образом, с уменьшением ЛЧ увеличивается поток энергии, передаваемой от факела пламени к стенке жаровой трубы, возрастают ее температура и опасность разрушения.

При испытаниях квалификационными методами на однокамерной установке определяются полнота сгорания топлив, пределы устойчивого горения и количество нагара.

Коэффициент полноты сгорания обычно составляет не менее 0,99 и сильно зависит от  $\alpha$  для топлив тяжелого фракционного состава (рис. 2.42).



**Рис. 2.42.** Влияние состава смеси на полноту сгорания топлив различного состава: / — авиабензин; 2 — топливо Т-2; 3 — топливо ТС-1; 4 — топливо Т-1; 5 — топливо Т-6; 6 —дизельное топливо

**Склонность к отложениям.** Авиакеросины образуют отложения в результате сгорания (нагар), окисления и других химических реакций. Зависимость нагарообразования от содержания нафталиновых углеводородов показана в табл. 20.

Таблица.20

Показатели склонности к нагарообразованию авиакеросинов

Показатель	Марка топлива			
	ТС-1, РТ	Т-1	Т-6	Т-8В
Массовая доля нафталиновых углеводородов, %, не более	1,5	2,0	1,0	2,0
Количество нагара, г, не более	4,5	7,0	7,0	6,0

С увеличением содержания в топливе серы, фактических и потенциальных смол, а также с повышением плотности образование нагара усиливается. При сгорании сернистых топлив образуется твердый высокоплавкий нагар, обладающий сильным эрозионным действием.

В практике отмечены случаи, когда при переводе двигателя с топлива ТС-1 на топливо РТ наблюдается искрение отработавших газов, выходящих из сопла. Это объясняется тем, что из-за меньшего содержания серы в топливе РТ изменяется состав и структура ранее образовавшегося нагара, он становится рыхлым, легко разрушается и выносится газами из камеры сгорания.

Связь между показателями качества топлива и количеством нагара (Н в г), образовавшегося при квалификационных испытаниях на однокамерной установке, характеризует формула:

$$H = K(6,3 + 0,7 A) T \sum^4 p20^2,$$

где К - коэффициент, зависящий от конструкции установки;

А - массовая доля ароматических углеводородов, %;

$T \sum$  - усредненная температура кипения топлива, °С;

Р20 -плотность топлива при 20°С, кг/м<sup>3</sup>.

Склонность топлива к образованию отложений на фильтрах, нагретых поверхностях топливомасляных радиаторов, в коллекторах и каналах форсунок контролируется по концентрации растворимых и нерастворимых смол в топливе после термостатирования при 150°С в течение 5 ч; количеству отфильтровываемого осадка после этих испытаний (в статических условиях); по перепаду давления на фильтрах во время перекачки нагретого топлива в лабораторных и стендовых условиях, по состоянию поверхности контрольной трубки подогревателя, количеству отложений на ней (индекс термостабильности) и температуре начала образования отложений (испытание в динамических условиях).

Нормы по этим показателям установлены по статистическим данным

результатов испытания товарных топлив соответствующих марок и опыта их применения на авиационной технике. Непосредственной функциональной связи результатов испытания топлив в статических условиях с надежностью агрегатов топливных систем авиационной техники не установлено. Однако имеются сведения об ускоренном образовании отложений в коллекторах топливных форсунок одного из типов авиационных двигателей при работе на топливах Т-1 и ТС-1, при испытании которых концентрация осадка близка к предельно допустимой по норме.

При испытании абсолютного большинства образцов топлив в динамических условиях в течение 5 ч возрастание перепада давления на фильтре и изменение цвета трубки подогревателя не наблюдается.

Топлива различных марок имеют различное количество и разную температуру начала образования отложений ( $T_{н.о}$ ).

Значения  $T_{н.о}$  топлив Т-1 и ТС-1 приблизительно одинаковы, так как они содержат одинаковые по строению и свойствам нестабильные соединения, однако в топливе Т-1 этих соединений значительно больше, и по мере перемещения топлив вдоль нагревательной трубки (а следовательно, и увеличения температуры) количество отложений быстро возрастает.

$T_{н.о}$  термостабильных топлив приблизительно на  $80^\circ$  выше, чем топлив с обычным уровнем термостабильности. Более жесткий режим гидрогенизационного процесса обуславливает меньшее содержание нестабильных соединений в топливе Т-6 и меньшую толщину отложений по сравнению с топливом РТ.

**Совместимость с материалами.** Коррозионная активность авиакеросинов контролируется по отсутствию сероводорода, растворимых в воде кислот (низкомолекулярные органические кислоты) и щелочей, металлов, входящих в катализаторы ванадия, кобальта, молибдена, вызывающих газовую коррозию; качественно по изменению цвета медной пластинки и количественно по предельному значению кислотности, содержанию серы, меркаптанов и по убыли массы пластин из меди и бронзы ВБ-23НЦ (метод, установленный ГОСТ 18598—73). Нормы и фактический диапазон изменения двух последних показателей для товарных топлив различных марок приведены в табл.21.

Таблица. 21.

Показатели коррозионной активности авиакеросинов

Металл	Коррозионная активность, г/м <sup>2</sup> , в топливе			
	ТС-1	Т-1	РТ	Т-6
Медь:				
норма	15,0	3,0	3,0	3,0
фактически	3-10	0,6-1,5	0,4-0,9	—
Бронза ВБ-23НЦ:				
норма	2,5	1,5	2,5	3,0
фактически	0,4-2,5	0,6-1,0	0,3-1,0	—

Приведенные данные показывают, что наибольшей коррозионной активностью обладают топлива, полученные прямой перегонкой из сернистых нефтей - ТС-1. Коррозию вызывают меркаптаны и элементарная сера, присутствующая в топливе в небольших количествах. Элементарная сера вызывает коррозию роторных насосов, изготовленных из бронзы. Продукт коррозии - сульфид меди - не образует защитной пленки, откалывается от поверхности и скапливается в топливе в виде осадка черного цвета.

В присутствии меркаптанов корродируют медь и особенно сильно бронза ВБ-24. Коррозионная активность меркаптанов зависит от их молекулярной массы и строения радикалов. Более активны низкомолекулярные соединения (входящие в состав топлива Т-2) алифатического строения. Меркаптаны ароматического строения менее активны. Отложения продуктов коррозии на внутренних поверхностях топливомасляного радиатора и на топливных фильтрах содержат 13 - 45% меди и 6 - 10% серы.

Быстрое разрушение кадмиевого покрытия деталей топливных систем, ведущих к образованию меркаптидов кадмия, студенистые отложения которого нарушали работу топливной системы, заставило авиационную промышленность отказаться от применения кадмия в тех местах, где он может контактировать с топливом.

Современные реактивные топлива имеют высокую степень очистки и не вызывают газовой коррозии металлов, применяемых в настоящее время в самолетостроении.

Явление, близкое по своей сущности к газовой коррозии (эрозионное выветривание деталей камеры сгорания в зоне смешения), наблюдалось на участках с относительно невысокой температурой нагрева, где имеется возможность контакта с невоспламененной топливовоздушной смесью, содержащей топливо в капельном состоянии.

Совместимость авиакеросинов с неметаллическими материалами оценивается по результатам воздействия на резины, применяемые в топливных насосах ГТД, и герметики, применяемые для герметизации кессонных топливных баков.

После контакта резин с топливом в течение 4 ч при 140°C в бомбах, заполненных на 1/3 топливом и на 2/3 воздухом, их предел прочности должен быть не менее 8,5 МПа, а относительное удлинение - не менее 100%.

Топливо характеризуется и по периоду старения (появление трещин на поверхности) деталей из нитрильной резины ИРП-1078. Состояние поверхности резиновой детали (кольца) проверяется через каждый 5-часовой этап контакта с нагретым до 150°C топливом. По норме деталь должна выдерживать не менее трех этапов.

Разрушение резин при контакте с топливом вызывают главным образом нестабильные продукты окисления, распадающиеся на радикалы.

Это наблюдается в топливах, полученных с использованием гидрогенизационных процессов. Введение в такое топливо антиокислителя

предупреждает разрушение резин.

Таким образом, добавление ионола в концентрации, предусмотренной стандартами, эффективно только в свежеприготовленное топливо, когда отсутствуют гидроперекиси. Если при хранении в топливе накопились гидроперекиси, концентрацию антиокислителя надо увеличить более чем в три раза.

В топливах, полученных прямой перегонкой, и в гидрогенизационных топливах с антиокислительной присадкой полисульфидный (тиоколовый) герметик не разрушается после длительного контакта (50 ч) при температуре 80° С. Если в гидрогенизационных топливах присадок нет, то прочность герметика снижается и тем в большей степени, чем меньше вязкость топлива.

Причиной изменения прочности герметика является взаимодействие с ним гидроперекисей. Наличие антиокислительной присадки в топливе контролируется по величине индукционного периода окисления. По квалификационной норме индукционный период должен составлять не менее 75 мин.

**Защитные свойства.** Топливо способно тормозить процесс электрохимической коррозии металлов, протекающий в присутствии электролитов (воды). Уровень защитных свойств отечественных реактивных топлив и условия их применения не требуют обязательного применения ингибиторов коррозии. Защитные свойства авиакеросинов оценивают по величине коррозионных потерь и в их среде стали и бронзы ВБ-23НЦ в условиях насыщения водой (**ГОСТ 18597—73**). Допускаемая убыль массы пластин приведена в табл. 22.

Защитные свойства топлив по отношению к цинковым покрытиям после введения в них противообледенительных присадок несколько ухудшаются.

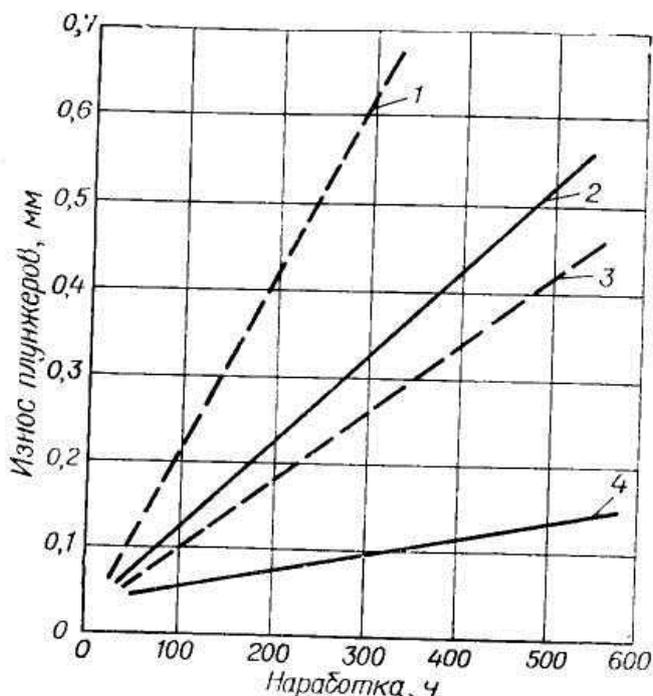
Таблица. 22.

Убыль массы пластин в условиях насыщения водой

Металл	Убыль массы пластин, г/м, в топливе		
	ТС-1	Т-1	РТ
Сталь:			
по норме	8,0	—	8,0
фактически	0,9-6,4	1,4-8,9	0,4-0,9
Бронза ВБ-23НЦ:			
по норме	10	—	8,0
фактически	0,9-9,8	1,7-7,6	0,3-1,0

**Противоизносные свойства.** Для обеспечения устойчивости работы двигателя и автоматического поддержания заданного режима его работы при изменении скорости и высоты полета на летательных аппаратах применяют основные топливные насосы плунжерного типа особой конструкции, способные изменять подачу топлива при постоянной частоте вращения ротора двигателя и сохранять ее неизменной при изменении частоты вращения ротора. Насос включает ротор с цилиндрическими каналами,

расположенными параллельно оси вращения вдоль его окружности. В каналах помещаются плунжеры, полусферические торцы которых опираются на поверхность упорного подшипника, запрессованного в наклонную шайбу. Ход плунжеров, а следовательно, подача топлива зависят от угла наклона шайбы: чем больше угол наклона, тем больше ход и подача. Эта пара трения изнашивается наиболее интенсивно и служит контрольной парой при оценке противоизносных свойств топлив в условиях эксплуатации. Износ сфер плунжеров зависит от наработки насосов, износостойкости материалов и условий работы (рис. 2.43).



**Рис. 2.43.** Зависимость износа плунжеров, изготовленных из различных металлов, от наработки насосов-регуляторов: 1 и 3-вспомогательные, насосы (соответственно из сплавов ХВГ и Х12М); 2 и 4- основные насосы (соответственно из сплавов ХВГ и Х12М)

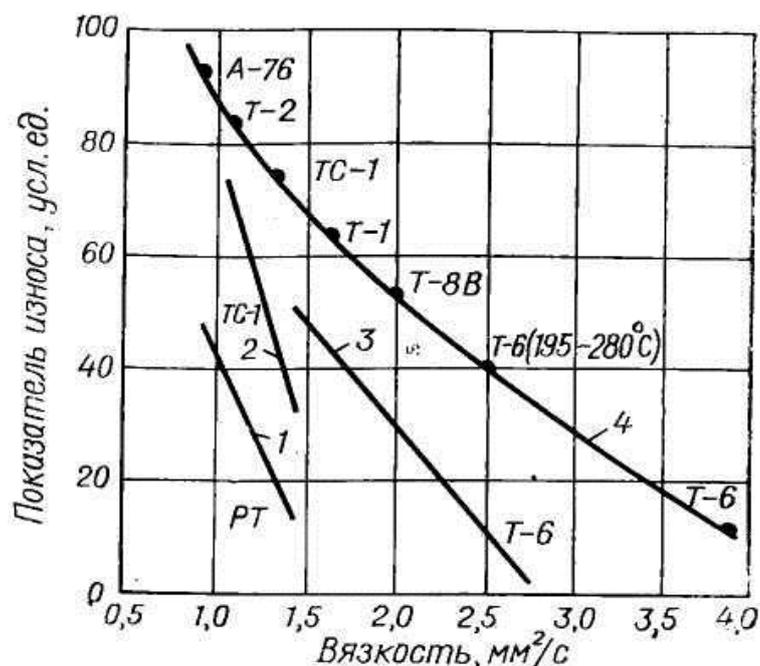
Вспомогательные насосы, работающие обычно с меньшей подачей (меньшим углом наклона шайбы), изнашиваются быстрее. Это явление объясняется тем, что при малом угле наклона шайбы преобладает трение скольжения, с увеличением угла наклона возрастает доля трения качения, соответственно изменяется вклад в противоизносный эффект рабочей среды ее химических и физических свойств. Главным фактором, обуславливающим уровень противоизносных свойств авиакеросинов, является содержание в них химически активных и поверхностно-активных соединений.

Вместе с тем определенную роль играет и уровень вязкости топлив, что видно из рис. 2.44. Минимальный уровень вязкости ( $1,05 \text{ мм}^2/\text{с}$ ) и худшие противоизносные свойства соответствуют топливу Т-2.

Отмечается определенное соответствие между концентрацией ПАВ в топливе и его кислотностью, однако противоизносные свойства прямогонных топлив лучше, чем смесевых, даже при одинаковом уровне кислотности.

Поэтому уровень кислотности гидроочищенного топлива с противоизносной присадкой, имеющего низкую вязкость (топливо РТ), установлен в пределах 0,4-0,7 мг КОН на 100 мл топлива.

При нагреве в топливе накапливаются продукты окисления, обладающие противоизносным эффектом. В результате этого увеличение износа по мере роста температуры замедляется; достигнув максимума, износ начинает уменьшаться. Добавление в топливо ионола замедляет этот процесс и сдвигает точку максимума по температуре на 5-10° С, а по величине - на 4-8 единиц. Это указывает на необходимость избегать нежелательного температурного режима топлива при разработке топливных систем летательных аппаратов.



**Рис. 2.44.** Влияние вязкости и поверхностно-активных веществ на противоизносные свойства авиационных керосинов:

1, 2 и 3 - показатели износа соответственно для топлив РТ, ТС-1 и Т-6 при изменении вязкости за счет нагрева от 20 до 80° С; 4- показатель износа топлив, очищенных от ПАВ, при температуре 25° С.

Применение противоизносной присадки в гидроочищенных топливах, прекращение зашлакачивания топлива ТС-1, применение более износостойких материалов и изменение конструкции узла трения насосорегулятора позволили решить проблему противоизносных свойств всех марок авиакеросинов. Некоторые ограничения по ресурсу топливной аппаратуры могут быть только для топлива Т-2.

**Антифрикционные свойства.** Проблемы, связанные с повышенным трением при применении авиакеросинов, отмечаются только в прецизионных парах, представляющих собой чувствительные и регулирующие элементы, ограничивающие или изменяющие давление или расход топлива. Величина диаметрального зазора в этих парах (золотниках) может быть от 2 мкм до

нескольких десятков, что обеспечивает бесконтактное уплотнение. Основные требования, предъявляемые к золотникам: высокая стабильность малых по величине сил трения и герметичность (минимальные утечки топлива). Чем меньше усилие трения, тем выше чувствительность регулирующего элемента. Практически все отказы золотниковых пар вызываются повышенным трением или утечками топлива через зазоры. Увеличение утечек вызывается изнашиванием деталей, этот процесс постепенный, связанные с ним отказы могут быть своевременно выявлены и предупреждены.

Отказы, вызываемые увеличением трения, носят внезапный характер и поэтому являются особенно опасными. Обычно такие отказы наблюдаются в виде временного зависания золотника в гильзе, после чего пара может продолжать работать без отклонений. Это затрудняет проведение профилактических мероприятий. Описанные явления наблюдались, при применении прямогонных и гидроочищенных топлив с противоводокристаллизационными присадками в случае несвоевременного слива водных отстоев из топливных баков. В отстое концентрировались ПАВ, которые, попадая в насос-регулятор, вызывали временное заклинивание золотников. Это обнаруживалось по колебаниям (или «зависанию») оборотов ротора турбины при изменении положения рукоятки управления движением. Очевидно, что излишнее количество ПАВ в топливе наряду с улучшением противоизносных свойств может привести и к отрицательным последствиям. Наличие ПАВ в топливе контролируется по показателю «взаимодействие с водой». Перед испытанием стеклянный цилиндр тщательно моют хромовой смесью, так, чтобы вода полностью смочила его стенки. Затем в цилиндр наливают 20 мл дистиллированной воды или фосфатного буферного раствора и 80 мл топлива, содержимое перемешивают и после отстаивания регистрируют состояние поверхности раздела и разделенных фаз. Присутствие в топливе ПАВ отражается на изменении высоты мениска воды, наличии капель на стенках цилиндра, внутри слоя топлива и воды, пузырьков и волокон на поверхности раздела жидких фаз.

**Охлаждающая способность.** Авиакеросины обладают удовлетворительной охлаждающей способностью, позволяющей эффективно использовать их в качестве хладагента в топливомасляных радиаторах, системах охлаждения электронного оборудования и кондиционирования воздуха. Показатели охлаждающей способности, авиакеросинов приведены в разделе «Охлаждающие свойства». Основные мероприятия по улучшению охлаждающей способности топлив сводятся к предупреждению их окисления и образования отложений, улучшения совместимости с теплопередающими материалами. Охлаждающая способность оценивается при разработке новых образцов топлив и в дальнейшем при их производстве и применении не контролируется.

**Токсичность.** Все авиакеросины относятся к малоопасным веществам, не требующим каких-либо специальных мер защиты личного состава при

обращении с ними. Продукты сгорания авиакеросинов в значительно меньшей степени загрязняют атмосферный воздух по сравнению с другими типами двигателей внутреннего сгорания. Состав продуктов сгорания турбовентиляторного двигателя с низким дымлением на режиме взлета и посадки в сравнении с ДВС, по зарубежным данным, приведен в табл. 23.

Таблица. 23.

Состав отработавших газов двигателей

Двигатель	Оксиды			Углеводороды	Сажа
	углерода	азота	серы		
ДВС серийный	342	23,5	1,0	49,2	2,0
ДВС с контролируемой полнотой сгорания	202	27,8	1,1	19,7	1,5
ТВлД	26	4,0	1,1	4,8	5,9

Газотурбинный двигатель отличается повышенным дымлением только на режиме взлета и посадки, когда практически невозможно обеспечить благоприятные условия сгорания.

## КОТЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА

### Особенности рабочего процесса котельного агрегата

Котельный агрегат представляет собой комплекс устройств и систем, конструктивно объединенных в единое целое и предназначенных для получения пара или горячей воды. Основная часть котельного агрегата - топка, в которой сжигают топливо для получения высоконагретых дымовых газов. Теплота этих газов в дальнейшем используется для получения механической и электрической энергии, в технологических целях или для бытовых нужд. Жидкое, твердое и газообразное котельное топливо сжигают в камерных топках, работа которых характеризуется пространственной плотностью теплового потока - тепловым напряжением топочного объема ( $\text{Вт/м}^3$ ), коэффициентом избытка воздуха и КПД.

Кроме топки в состав котельного агрегата входят испарительные поверхности, пароперегреватели, воздухоподогреватели, водяной экономайзер, каркас, обмуровка, обшивка, трубопроводы, арматура, топливные подогреватели, насосы, фильтры, контрольно-измерительные приборы и средства автоматики.

Развитие паровых котлов осуществлялось по двум направлениям. **Первое направление** - создание газотурбинных котлов (жаротрубных, дымогарных, дымогарно-жаротрубных). В этих котлах в цилиндрическом кожухе располагаются одна - три жаровые трубы большого диаметра или десятки дымогарных труб малых диаметров.

**Водяной экономайзер** - это теплообменник, в котором подогревается уходящими газами питательная вода перед подачей в котел. Применение экономайзера позволяет снизить температуру уходящих газов и повысить КПД котельного агрегата.

**Второе направление** - создание водотрубных котлов, в которых сотни кипящих труб малого диаметра, расположенных вертикально или под большим углом к горизонту, соединяют верхний и нижний горизонтальные барабаны. К водотрубным котлам относится и барабанный прямоточный котел с однократной принудительной циркуляцией. Он состоит из большого числа параллельно включенных змеевиков, выполненных из металлических труб с внутренним диаметром 20-50 мм. Вода в эти трубы подается питательным насосом через экономайзер, поступает в испарительную часть, радиационный и конвективный паронагреватели и полностью превращается в пар. Последнее обстоятельство предъявляет повышенные требования к качеству воды.

В ходе развития паровые котлы непрерывно совершенствовались, это сопровождалось улучшением их главных показателей: повышением паропроизводительности, параметров пара, КПД котла, а также уменьшением удельного расхода металла. Если простой цилиндрический котел имел КПД около 30%, паропроизводительность 400 кг/ч, рабочее давление пара до 1 МПа, то современные котельные агрегаты имеют КПД 93-95%, паропроизводительность до 2500 т/ч, давление пара до 30 МПа и более, температуру пара до 570° С.

В настоящее время только на отечественных судовых кораблях эксплуатируется несколько тысяч паровых котлов. Эти котлы могут быть классифицированы по следующим признакам:

- по назначению - главные и вспомогательные;
- главные обеспечивают паром главный двигатель и других потребителей;
- вспомогательные применяются на теплоходах для обеспечения паром бытовых нужд, подогрева топлива, турбоприводов генераторов и грузовых насосов;
- по относительному движению теплообменивающихся сред (продуктов сгорания, воды и пара) - водотрубные и комбинированные;
- по принципу движения воды и пароводяной смеси с естественной и принудительной циркуляцией;
- по давлению в топке - обычные и с наддувом.

Отечественной промышленностью для морского флота созданы главные котлы типов КВГ25, КВГ34 и КВГ80/80 (цифры в числителе указывают паропроизводительность в т/ч, а в знаменателе - давление пара в кгс/см<sup>2</sup>).

Котлы КВГ25 и КВГ34 - трехколлекторные, имеют два контура циркуляции. Перегрев пара осуществляется в вертикальном паронагревателе. В котлах типа КВГ25 в качестве хвостовых поверхностей теплообмена использованы экономайзер и трубчатый воздухонагреватель. В котлах типа

КВГ34 подогрев воздуха осуществляется в паровом воздухоподогревателе.

Котел КВГ 80/80 характеризуется потолочным расположением топочных устройств и наличием газохода шахтного типа, в котором расположены первичный (основной) и вторичный (промежуточный) паронагреватели, экономайзер и трехходовой трубчатый воздухоподогреватель. В этом котле представилось возможным секции паронагревателей для повышения их надежности вынести в зону дымовых газов с относительно низкой температурой. Большие размеры топки позволяют обеспечить полное сгорание топлива при малом коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,03$ .

Малый избыток воздуха, V-образный путь движения газового потока, низкая температура газов в районе «горячих» секций паронагревателей позволяют уменьшить интенсивность их загрязнения и снизить вероятность возникновения высокотемпературной коррозии.

Котлостроение является одной из старейших областей машиностроения (первый паровоз и первый судовой паровой котел были построены почти 200 лет назад). Дальнейшее повышение качества паровых котлов по традиционным показателям (например, паропроизводительность, КПД, параметры пара, массогабаритные характеристики, геометрические характеристики пучков труб) практически невозможно, так как многие из них достигли предельных значений для современного уровня развития техники. Считают, что повышение КПД сверх 96 - 97% вызовет резкое увеличение капитальных затрат для обеспечения надежности хвостовых поверхностей нагрева. Дальнейшее повышение паропроизводительности (свыше 150 т/ч) ограничивается проблемой надежности крепления котла на судовом фундаменте, а повышение параметров пара - уровнем жаростойкости и прочности сталей.

На стадии эксплуатации котлов основными факторами, определяющими их надежность, являются: режимы использования, качество топлива и питательной воды, профилактических и ремонтных работ.

Во время эксплуатации элементы судовых паровых котлов подвергаются воздействию коррозионно-активных сред: воды, пара и дымовых газов. Равномерная химическая коррозия деталей, вызванная паром или водой, в современных котлах протекает с низкой скоростью и не оказывает существенного влияния на их надежность. Неравномерная (местная) химическая коррозия, вызываемая химическими элементами, содержащимися в отложениях золы, так же как и электрохимическая коррозия, представляет большую опасность.

Роль деполяризаторов при электрохимической коррозии играют кислород, углекислый газ, ионы водорода, хлора,  $SO_4^{2-}$ , а также оксиды железа и меди. Полностью удалить деполяризаторы из питательной воды не представляется возможным, поэтому используют ингибиторы NaOH,  $Na_3PO_4$  и др. При больших концентрациях кислорода и углекислого газа защитное действие ингибиторов снижается. Кислород из питательной воды можно удалить деаэрацией, добавлением присадок, в частности  $K_2S_2O_7$ ; углекислый

газ - добавлением аммиака или аминов.

Кислородная коррозия в судовых котлах наблюдается в экономайзерах, арматуре, питательных трубопроводах, пароводяных коллекторах, паро- и воздухоподогревателях. С повышением давления интенсивность кислородной коррозии возрастает. Максимальное значение скорости коррозии может достигать 1 мм в год.

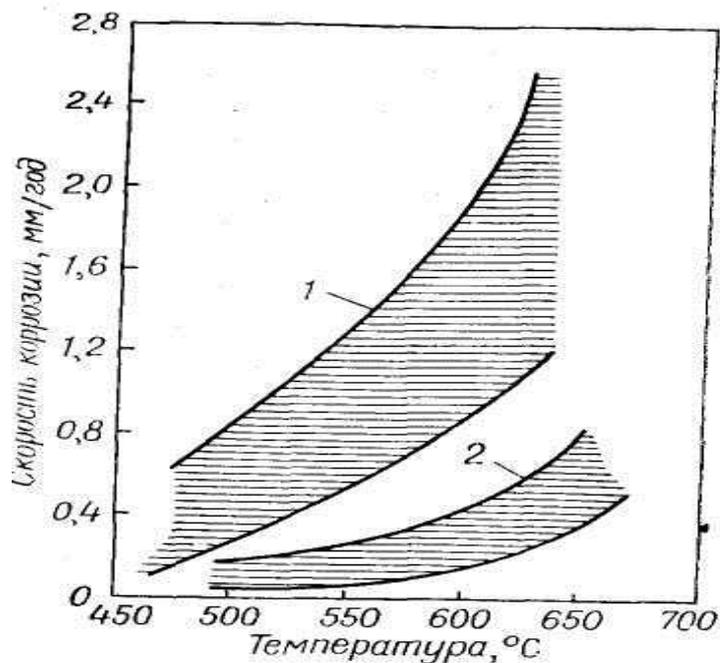
Коррозия наружных поверхностей нагрева котлов под действием оксидов серы возникает при температуре дымовых газов ниже точки росы, когда пары воды, конденсируясь, растворяют оксиды серы и образуют слабые растворы кислот, электролитов. Этот вид коррозии наблюдается при малых нагрузках и в период бездействия котла.

Газовая (высокотемпературная) коррозия протекает на поверхностях нагрева, контактирующих с продуктами сгорания. В процессе коррозии участвуют  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaVO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{V}_2\text{O}_4$ , оксиды серы и кислород. Известен ряд гипотез, объясняющих механизм газовой коррозии в котлах и газотурбинных двигателях. Наиболее распространено мнение о том, что защитная оксидная пленка корродирующих металлов растворяется: сульфатами щелочных металлов (при низкой температуре) или соединениями ванадия (при температуре выше  $600^\circ\text{C}$ ). Считается, что обязательным условием начала интенсивной коррозии является размягчение (расплавление) наружных отложений (зола). Роль переносчика кислорода от газов к металлу через слой золы играет пятиокись ванадия. Отдавая кислород металлу, она восстанавливается до  $\text{V}_2\text{O}_4$ , которая в атмосфере дымовых газов неустойчива и быстро окисляется до  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

Установлено, что скорость газовой коррозии зависит от температуры (рис. 2.45), общего содержания и соотношения ванадия и натрия в золе, содержания серы в топливе и коэффициента избытка воздуха. Скорость коррозии увеличивается: при увеличении содержания ванадия в золе от 5 до 30% - в 3 - 3,5 раза. Защита металла труб и креплений поверхностей нагрева от ванадиевой коррозии использованием присадок, уменьшающих отложения золы, а также промывкой топливом оказалась недостаточно эффективной.

Скорость коррозии снижается при сжигании топлива с малым  $\alpha$ , когда уменьшается скорость загрязнения поверхностей и возможность расплавления золы. Полагают, что при  $\alpha = 1,03 - 1,05$  скорость ванадиевой коррозии судовых котлов не превысит 0,1 мм/год.

Специфичным для котлов видом коррозии является разрушение обмуровки. Состав топлива оказывает влияние на виды и скорость разрушения кирпичной кладки: расплавление, деформацию, растрескивание, откалывание, выгорание и шлакоразъедание. При этом 60% случаев разрушения кладки приходится на шлакоразъедание, 33% - на растрескивание под действием температурных напряжений и 7% - на прочие разрушения.



**Рис. 2.45.** Зависимость скорости газовой коррозии хромомолибденовой стали от температуры:

1 — лабораторные установки; 2 — действующие котлы.

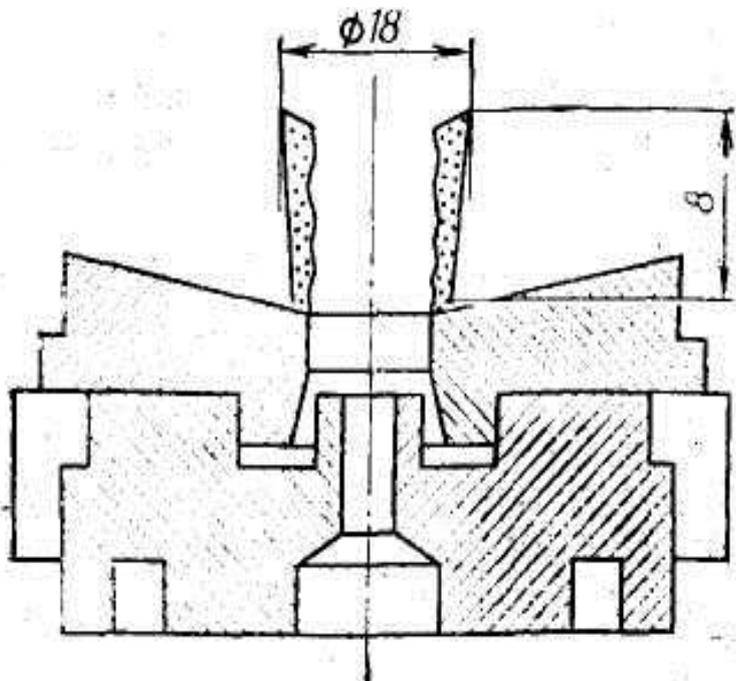
Скорость процесса шлакоразъедания зависит от химического состава золы топлива, огнеупоров, шлака и температуры. Большое содержание в золе топлива Na, V, Ca, Mg приводит к образованию шлаков, температура плавления которых значительно ниже температуры плавления огнеупоров. Шлаки растворяют  $\text{SiO}_2$  с поверхности огнеупоров, насыщают поверхность Na, Ca, V и снижают температуру плавления насыщенного слоя. При увеличении концентрации  $\text{V}_2\text{O}_5$  и  $\text{NaVO}_3$  до 80 % температура плавления поверхностного слоя огнеупора снижается с  $1570^\circ\text{C}$  до  $700^\circ\text{C}$ . Пятиокись ванадия менее агрессивна при отсутствии натрия, а последний может попадать в топку котла не только с топливом, но и с морским воздухом. Увеличение температуры кладки на  $1^\circ\text{C}$  выше расчетной ускоряет процесс шлакоразъедания более чем на 1%. Таким образом, работа в течение 1 - 2 ч при температуре на  $50 - 60^\circ\text{C}$  выше расчетной приводит к такому же разрушению кладки, как и работа в течение 2-3 мес на расчетном режиме.

Растрескиванию кладки способствует периодическое изменение теплового режима. Как показывает практика, главной причиной разрушения отдельных элементов котла является наличие агрессивных отложений на внутренних и наружных поверхностях труб. Наружные отложения золы и сажу в большинстве случаев ухудшают температурный режим металла труб, этому способствует неравномерное распределение отложений и наличие в них ванадия, натрия, серы и других коррозионно-активных элементов.

Эти же элементы, попадая на поверхность кирпичной кладки, вызывают ее разрушение. Кроме отрицательного влияния на надежность котлов загрязнение поверхностей нагрева вызывает снижение их экономичности, повышает трудозатраты на профилактические работы.

Образование нагара и термоокислительных отложений. Основной причиной повреждения топочных устройств является обгорание диффузоров и форсуночных труб. Этому способствует закоксовывание распылителей форсунок, приводящее к ухудшению распыливания топлива, попаданию капель топлива на диффузоры и форсуночные трубы и образованию нагара. Нагар ухудшает аэродинамику воздушного потока и качества сгорания топливовоздушной смеси. Это усиливает образование нагара, в конечном счете приводит к перегреву и разрушению металла. Чем тяжелее мазуты, тем чаще отказы топочных устройств.

Схема образования нагара на наружной поверхности паровой шайбы форсунки после 20 ч работы котла КВГ34 показана на рис. 2.46. Образовавшийся нагар обуславливает увеличение местного коэффициента избытка воздуха до 5%. В практике нагар удаляют «прожиганием» форсунок.



**Рис. 2.46.** Схема образования нагара на наружной, поверхности паровой шайбы форсунки котла КВГ 34

Для этого закрывают на 40 - 60 с подачу топлива и воздуха. Головка форсунки нагревается, и нагар сгорает. Такой способ позволяет довести работу форсунки между чистками до 500 ч, однако увеличивает опасность образования отложений на внутренней поверхности форсунки.

**Требования к качеству топлива.** Рабочий процесс котельных агрегатов характеризуется большой продолжительностью непрерывной работы; высоким тепловым напряжением топочного пространства до 50 ГДж/(м<sup>3</sup>/ч); составом топливовоздушной смеси, близким к стехиометрическому значению; высокой, близкой к предельно допустимой температурой нагреваемых поверхностей; наличием малоциклических

колебаний общего уровня нагрева и местных, сравнительно быстро изменяющихся перегревов; низким уровнем испаряемости, высокой вязкостью и зольностью топлива; наличием в топливе большого количества смолисто-асфальтовых веществ и коррозионно-активных элементов.

В котельном агрегате обеспечивается перенос энергии в виде теплоты в пространстве с неоднородным полем температуры — теплообмен (конвективный, лучистый и теплопередача за счет теплопроводности). Теплообмен и, в частности, теплопередача тем интенсивнее, чем выше температурный напор — разность температур между теплоносителями. Интенсивность теплопередачи характеризуется коэффициентом теплопередачи  $K$ :

$$K = \frac{\delta Q}{\Delta T ds},$$

где  $\delta Q$  — тепловой поток сквозь элемент поверхности стенки, разделяющей теплоносители, площадью  $ds$ ;  
 $\Delta T$  — разность температур теплоносителей.

При постоянстве конструктивных факторов тепловой поток прямо пропорционален  $T$ . Это обуславливает стремление в максимально возможной степени повысить температуру продуктов сгорания и нагреваемых поверхностей. При образовании зольных и других отложений на этих поверхностях теплоток уменьшается.

Во время работы котельного агрегата в топку вентилятором или компрессором непрерывно подаются воздух и распыленное паровой или воздушной форсункой топливо. Скорость горения лимитируется скоростью испарения топлива и смешения его паров с воздухом. Для улучшения качества распыливания и ускорения испарения топливо перед впрыском нагревается в подогревателях или в форсуночных трубах.

В паровых котлах, работающих на жидком топливе, используется самое доступное из всех групп топлив данного типа — мазут. Учитывая доступность и дешевизну мазута по сравнению с бензином, реактивным и дизельным топливом, требования к его качеству, вытекающие из особенностей рабочего процесса, конструктивных и эксплуатационных факторов, следует увязывать с требованиями к котлам, определяемыми, в свою очередь, качеством топлива.

Для обеспечения высокого уровня экономичности силовой установки в целом котельный агрегат должен быть рассчитан на давление пара не менее 6 МПа и температуру пара не ниже 500° С.

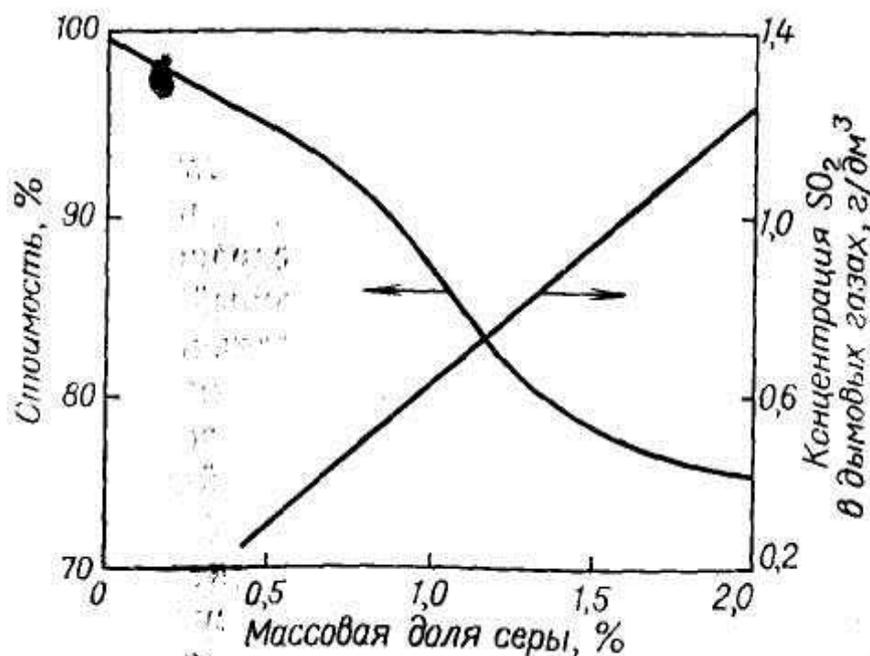
Конструкция топки должна обеспечивать достаточно длинный путь пламени и исключать воздействия радиации от зоны горения на паронагреватели. В котле должен быть обеспечен свободный доступ ко всем деталям для их осмотра. Поверхности нагрева должны иметь по возможности простую форму и легко очищаться от отложений и продуктов коррозии при

обслуживании.

Котел должен обеспечивать полное бездымное сжигание топлива во всем диапазоне нагрузок при минимальном коэффициенте избытка воздуха, иметь большой ресурс работы и не требовать значительных затрат при обслуживании. Котлоагрегаты, как правило, должны быть оборудованы подогревателями и регуляторами (за счет нагрева) вязкости топлива.

К мазуту наряду с требованиями, общими для всех жидких топлив, предъявляются специфические требования: не иметь большого количества балластных веществ (воды, золы); характеризоваться по возможности малым содержанием и определенным соотношением коррозионно-активных элементов (серы, натрия, ванадия); не расслаиваться при хранении и смешении; не эмульгироваться при контакте с водой. Продукты сгорания мазута не должны образовывать большого количества отложений на теплопередающих поверхностях и огнеупорах.

Степень удовлетворения этим требованиям определяется сырьевыми, техническими и экономическими факторами. С учетом дефицита энергии и необходимости рационально использовать все жидкие остаточные продукты прямой перегонки и деструктивной переработки нефти, продукты переработки сланцев, коксования углей и т. д. в состав мазута могут вовлекаться все перечисленные компоненты практически независимо от их свойств.



**Рис. 2.47.** Влияние содержания серы в мазуте на его стоимость и содержание оксидов серы в дымовых газах

Фактическое качество мазута учитывается при определении области его применения: как моторное топливо в дизелях; как газотурбинное или

котельное топливо в судовых энергетических установках; как топливо для электростанций, мартеновских и других промышленных печей и т. д.

Повышение качества мазута увеличивает эффективность его применения и уменьшает загрязнение окружающей среды, но одновременно вызывает, как правило, сокращение ресурсов светлых нефтепродуктов и увеличение затрат при производстве (рис. 2.47).

## МАРКИ МАЗУТОВ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

**Марки мазутов.** При переработке нефти получают флотские (Ф5, Ф12) и топочные (40, 40В, 100 и 100В) мазуты **ГОСТ 10585 - 75**. Мазут Ф5 получают из продуктов прямой перегонки сернистых нефтей с добавлением до 22% керосиногазойлевых фракций каталитического или термического крекинга. Мазут Ф12 получают переработкой малосернистых нефтей. В мазуты Ф5 и Ф12, применяемые на судовых котельных установках, допускается добавлять 0,2% присадки ВНИИ НП-102, снижающей образование нагара, а по согласованию с потребителем — и депрессорные присадки. Характеристики флотских и топочных мазутов приведены в табл. 24.

Для мазутов, прошедших водные перевозки или слитых при подогреве острым паром, норма по содержанию воды устанавливается: для флотских Ф12 - не более 2%; для топочных - не более 5%. В мазутах марок 40 и 100, вырабатываемых из отдельных нефтей Поволжья, допускается содержание серы 4,3%. Мазуты марок 40В и 40 из высокопарафинистых нефтей и мазуты марок 100В и 100 на судовых котельных установках не применяются. По согласованию с потребителем (за исключением электростанций) зольность мазутов, вырабатываемых из Бакинских нефтей, может составлять Ф12 до 0,15%, а мазутов 40 и 100 - до 0,5%.

**Прокачиваемость.** Прокачиваемость мазута характеризуется вязкостью при 0, 50 и 80° С, которая с учетом метода испытания нормируется в условных градусах и соответствующих им единицах кинематической вязкости (мм<sup>2</sup>/с), а также в Паскалях (при 0°С), и температурой застывания. Норма по последнему показателю особенно важна для флотского мазута, который не должен терять подвижности при охлаждении до минимальной температуры забортной воды. Чтобы удовлетворить требованиям по температуре застывания, в остаточный мазут добавляют до 50% дистиллятные фракции (дизельное топливо и легкий газойль каталитического крекинга).

Топочные мазуты застывают при положительной температуре. Для мазута марки 100 этот показатель, по существу, является не-лимитируемым, так как допускается застывание практически при любой температуре окружающего воздуха (ниже 42° С). Следовательно, для перекачки мазут необходимо подогреть, при этом может быть обеспечен требуемый уровень вязкости. Температура застывания мазута не является постоянной величиной

и в процессе хранения может повышаться. Так, температура застывания опытного образца мазута Ф5 в день приготовления составляла минус 10° С, через месяц - минус 8° С, а через три месяца - минус 6° С.

Вязкостно-температурная зависимость мазутов, полученных из различных нефтей различными способами, неодинакова (рис. 2.48). Наиболее пологую вязкостно-температурную кривую имеют продукты прямой перегонки малосернистых и малопарафинистых нефтей.

## АССОРТИМЕНТ ПРОДУКЦИИ ФЕРГАНСКОГО И БУХАРСКОГО НПЗ СВЕТЛЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ

### ТОПЛИВО НЕФТЯНОЕ МАЗУТ

Область применения: изготавливают из остатков переработки нефти используется в качестве топлива в транспортных, стационарных котельных и технологических установках.

в зависимости от состава нашим предприятием выпускается две марки мазута:

топочный марки 40 (условная вязкость при 80°С - 8 градусов ВУ, температура застывания - +10°С);

топочный марки 100 (условная вязкость при 80°С - 16 градусов ВУ, температура застывания - +25°С).

### ТОПЛИВО ПЕЧНОЕ БЫТОВОЕ ТПБ

Область применения: предназначено для коммунально-бытовых нужд, нужд совхозов; колхозов и других предприятий сельского хозяйства, а также для снабжения населения

### ТОПЛИВО ПЕЧНОЕ УФС

Область применения: предназначено для коммунально-бытовых нужд, нужд совхозов, колхозов и других предприятий сельского хозяйства, а также для снабжения населения.

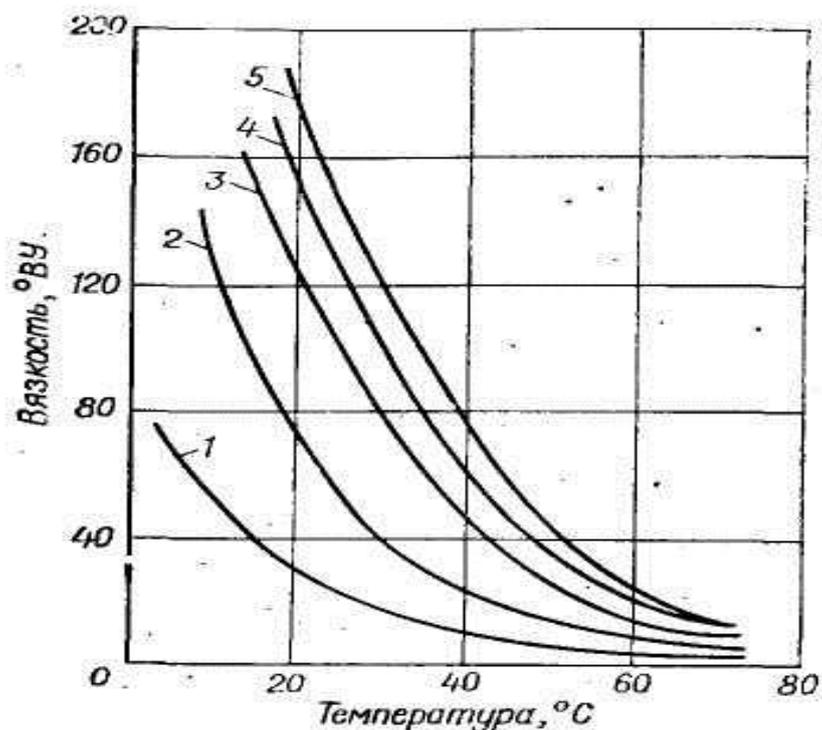
### ТОПЛИВО КОТЕЛЬНОЕ

Область применения: предназначено для коммунально-бытовых нужд, а так же для сжигания в теплогенераторах средней мощности, используемых в сельском хозяйстве.

Таблица. 24.

## Характеристики мазутов

Показатель	Норма для марок					
	Ф5	Ф12	40В	40	100В	100
Вязкость при 50° С, не более:						
условная, градусы °ВУ	5	12	—	—	—	—
кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	36,2	89,0	—	—	—	—
Вязкость при 80° С, не более:						
условная, градусы ° ВУ	—	—	6	8	10	16
кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	—	—	43,8	59,0	73,9	118,0
Вязкость динамическая при 0°С, Па, не более	2,7	—	—	—	—	—
Зольность, %, не более	0,05	0,10	0,04	0,12	0,05	0,14
Массовая доля для механических примесей, %, не более	0,10	0,12	0,07	0,80	0,20	1,50
Массовая доля воды, %, не более	0,3	0,3	0,3	1,5	0,3	1,5
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствуют					
Массовая доля серы, %, не более	2,0	0,6	0,5 2,0*	0,5 3,5 **	0,5 2,0*	0,5 3,5**
Коксуемость, %, не более	6,0	6,0	—	—	—	—
Содержание сероводорода	Отсутствует	—	Не нормируется			
Температура вспышки, ° С, не более:						
в закрытом тигле	80	90	—	—	—	—
в открытом тигле	—	—	90	90	100	100
Температура застывания, °С, не выше	—5	— 8	10 25 ***	10 25 ***	25 42 ***	25 42 ***
Теплота сгорания низшая в пересчете на сухое топливо, кДж/кг, не менее	41 450	41 450	40 740	40 740 39 900 **	40 530	40 530 39 900 **
Плотность при 20° С, кг/м <sup>3</sup> не более	—	—	—	—	1015	1015



**Рис. 2.48.** Вязкостно-температурная зависимость мазутов:

1 — мазут Ф5; 2 и 3 — мазуты Ф12 из малосернистых и сернистых нефтей соответственно; 4 — крекинг-мазут из сернистых нефтей (ВУ<sub>60</sub>=20); 5 — мазут 40 прямой перегонки.

Добавление крекинг-компонентов вызывает более резкое увеличение вязкости при охлаждении мазута. Мазуты из сернистых нефтей содержат больше парафинов и смолистых веществ, что ухудшает их вязкостно-температурные свойства (табл. 25). При температуре ниже 10° С у всех образцов мазута отмечается появление структурной вязкости.

Таблица.25.

Влияние состава мазута на его вязкостно-температурные свойства

Мазут	Массовая доля, %			Вязкость, °ВУ, при		
	парафинов	смол	Асфальтенов	°С	10°С	50°С
Ф12 прямой перегонки	5,1	11,1	0,2	728	267	11
Ф5 прямой перегонки	7,0	9,8	0,9	5511	169	4 12
Крекинг-мазут из сернистых нефтей	13,1	9,5	4,3	3274	903	

Перекачка мазута с нормальным заполнением насоса возможна, если его вязкость не превышает 2,5 Па·с. Температуры, при которых вязкость различных образцов мазута достигает 2,5 Па·с, приведены на рис. 2.49. Наличие воды ухудшает вязкостно-температурные свойства мазута. Вязкость обводненного мазута при 50°С, содержащего 15% воды, в шесть раз больше,

чем у исходного продукта.

В мазуте допускается сравнительно большое количество механических примесей (от десятых долей процента до 1,5 для топочного мазута марки 100). Перед подачей в форсунку мазут фильтруют. Щелевые фильтры, применяемые для фильтрования флотских мазутов, обеспечивают удаление механических примесей размером более 0,5 мм.



**Рис. 2.49.** Влияние вязкости мазута при 38°С на температуру, при которой обеспечивается нормальное заполнение насоса.

**Воспламеняемость.** Воспламеняемость флотских мазутов нормируется температурой вспышки в закрытом тигле, топочных мазутов — в открытом тигле. Фактические значения температуры вспышки флотских мазутов находятся в пределах 91 — 155°С, температура самовоспламенения — около 350°С. Опасность воспламенения представляет смесь сероводорода и легких углеводородов, растворяемых в мазуте и выделяющихся при хранении. Наличие сероводорода у флотских мазутов не допускается. Температура вспышки мазута косвенно характеризует его испаряемость. Фракционный состав мазута не регламентируется.

**Горючесть.** Основной показатель горючести мазутов — удельная низшая теплота сгорания, пересчитанная на сухое топливо. Величина этого показателя зависит от содержания углерода, водорода и серы в топливе. Содержание серы в топочном мазуте допускается до 4,3%, следовательно, этот показатель может существенно повлиять на теплоту сгорания. Элементный состав мазутов характеризуют данные табл. 26.

## Массовые доли элементов в мазутах

Мазут	Массовые доли, % элементов				
	С	Н	О+S	N	Н+О
Ф12 из малосернистых нефтей	84,68	12,05	0,71	1,59	0,94
Ф12 из сернистых нефтей	85,74	11,10	2,05	0,92	0,15
Марки 40	85,15	10,75	2,00	2,08	0,00
Ярегская нефть	85,29	11,58	1,16	0,98	0,99

Зная элементный состав, можно по эмпирическим формулам, например по формуле Д. И. Менделеева, вычислить теплоту сгорания мазута. Другие показатели горючести не нормируются, так как процесс сгорания мазута протекает при постоянных условиях и он может быть хорошо организован за счет конструктивных и эксплуатационных факторов.

**Склонность к отложениям.** Характер и количество отложений, образующихся в топливной системе котельного агрегата и на деталях топки, в основном зависят от содержания смолистых и золообразующих веществ. Смолистые вещества обладают большой вязкостью и липкостью. При контакте с водой совместно с механическими примесями они образуют плотные сгустки, отлагающиеся в топливных цистернах, трубопроводах и на фильтрах. Нагрев топлива сопровождается образованием термоокислительных отложений. Термоокислительная стабильность мазута контролируется при квалификационных испытаниях следующим образом. В стеклянном приборе мазут, нагретый до 98°С, под действием неоднородного температурного поля циркулирует в течение 6 ч, контактируя с поверхностью стальной втулки, нагретой до 176°С. Термоокислительную стабильность мазута оценивают визуально, сравнивая внешний вид поверхности трубки с эталонной шкалой.

О склонности мазута к образованию нагара судят по коксуемости, нормированной для мазутов Ф5 и Ф12 не более 6%.

Для уменьшения образования нагара и других углеводородистых отложений в топках в мазут вводят присадку ВНИИ НП-102, представляющую собой фракцию (180—360°С), двухзамещенных гомологов нафталина.

Отрицательное физическое действие зольных отложений на поверхностях нагрева заключается в ухудшении теплопередачи, снижении экономичности котельного агрегата, в повышении термических напряжений. Вероятность отказов элементов котла пропорциональна зольности топлива. Из солей, содержащихся в золе мазута, около 70% приходится на долю NaCl. При попадании в мазут морской воды его зольность возрастает на 0,1% на каждые 0,3% воды.

**Конструкционная совместимость.** Из нормируемых стандартом показателей качества это свойство мазута характеризуется только наличием

серы. Коррозионные разрушения металлов вызывают продукты сгорания мазута — дымовые газы и зола. При снижении сернистых соединений в дымовых газах образуются  $SO_2$  и  $SO_3$ . Наличие  $SO_3$  повышает температуру, при которой возможна конденсация водяных паров (точка росы дымовых газов равна 45—65°C), до 120—150°C. В этом случае вместе с водой конденсируется серная кислота, образовавшаяся при взаимодействии  $SO_3$  с водяными парами.

Слабые растворы серной кислоты могут конденсироваться на поверхностях воздухонагревателей и экономайзеров, вызывая их коррозию. Скорость коррозии зависит от концентрации кислоты и температуры стенок.

Коррозионная активность золы мазута может быть оценена по скорости перегорания нихромовой проволоочки, нагреваемой электрическим током и периодически погружаемой в мазут. Влияние натрия и ванадия на коррозионную активность золы мазута характеризуют данные табл. 27.

Таблица 27.

Влияние натрия и ванадия на время перегорания нихромовой проволоочки в мазуте Ф12

Массовая доля металла $1 \times 10^{-3}$ , %		Время перегорания, °C
Натрий	Ванадий	
13		1734
13	1	1730
13	2	1505
13	5	803
13	10	593
38	—	1528
63	—	1190

Как следует из приведенных данных, 0,001% ванадия мало влияет на скорость коррозии, а 0,005% увеличивает скорость коррозии значительно больше, чем пятикратное увеличение концентрации натрия.

Некоторые снижения коррозионной активности мазута могут быть достигнуты за счет промывки водой и добавления присадок (например, нафтената магния в соотношении Mg: V=3 : 1).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гулин Е. И., Горенков А.Ф., Зайцев С.Н., Бузин В.Н., Якубов Д.П., Токарь И.Я., Партей В.И., Гордейко М.М. Применение горючего на военной технике. - Москва, 1989, Военное издательство.
2. Гулин Е. И., Горенков А.Ф., Лесников А.П., Новиков В.К. Эксплуатационные свойства и применение горючего, смазочных материалов и специальных жидкостей. - Ленинград, учебное пособие, 1974.
3. Гуреев А.А., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химмотология. – Москва: Химия, 1972.
4. Папок К.К. Химмотология топлив и смазочных материалов. – Москва: Военное издательство, 1980.
5. Усманов А.А. Химмотология. Учебное пособие. – Ташкент, 2004.
6. Якубов Д.П., Чупин В.И. Горючее, смазочные материалы и специальные жидкости. - Ленинград: ВОЛАТТ, 1972.
7. Большаков Г.Ф. Физико-химические основы образования осадков в реактивных топливах. - Л.: Химия, 1972.
8. Гуреев А.А. Применение автомобильных бензинов. - М.: Химия, 1972.
9. Гуреев А.А., Камфер Г.М. Испаряемость топлив для поршневых двигателей. - М.: Химия, 1982.
10. Заправка гусеничных и колесных машин. К.В.Рыбаков.
11. Забрянский Е.И., Зарубин А.П. Детонационная стойкость и воспламеняемость моторных топлив. – М.: Химия, 1974.
12. Ирисов А.С. Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы ее исследования. – М.: Гостоптехиздат, 1955.
13. Краткий справочник по горючему. Ф. Кушнаренко.
14. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. - М.: Химия, 1985.
15. Нефтяное топливо и смазочные материалы. Справочник. - М.: Транспорт, 1972.
16. Папок К.К., Семенидо Е.Г. Моторные, реактивные и ракетные топлива. - М.: Гостоптехиздат, 1962.
17. Папок К.К., Семенидо Е.Г. Моторные, реактивные и ракетные топлива. - М.: Химия, 1963.
18. Папок К.К., Рагозин Н.А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и спецжидкостям. – М.: Химия, 1975.
19. Резников М.Е. Топлива и смазочные материалы для летательных аппаратов. - М.: Воениздат, 1973.
20. Ферганский нефтеперерабатывающий завод «50-лет», //Ж.Фергана, 2010.
21. Узнефтьгаз, //Ж. Ташкент, 2010.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава II. <b>НЕФТЯНЫЕ ЖИДКИЕ ТОПЛИВА</b> .....	7
<b>Бензины</b> .....	7
Особенности рабочего процесса поршневого двигателя с искровым зажиганием и требования к качеству бензинов .....	7
Марки, состав, уровень качества и применение бензинов .....	15
Ассортимент продукции Ферганского и Бухарского НПЗ светлые нефтепродукты .....	20
Основные эксплуатационные свойства бензинов .....	25
Газообразные топлива.....	42
<b>ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА</b> .....	44
Особенности рабочего процесса и требования к качеству .....	44
Марки, состав, уровень качества и применение дизельных топлив.....	51
Ассортимент продукции Ферганского и Бухарского НПЗ светлые нефтепродукты.....	51
Основные эксплуатационные свойства дизельных топлив .....	55
Перспективные топлива для дизелей .....	63
<b>ТОПЛИВА ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ</b> .....	64
Классификация и область применения газотурбинных двигателей.....	64
Особенности рабочего процесса газотурбинного двигателя и требования к качеству авиакеросинов .....	69
Марки, состав и показатели качества авиакеросинов .....	74
Ассортимент продукции Ферганского и Бухарского НПЗ светлые нефтепродукты .....	74
Характеристика эксплуатационных свойств авиакеросинов .....	78
<b>КОТЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА</b> .....	97
Особенности рабочего процесса котельного агрегата .....	97
Требования к качеству топлива.....	102
Марки мазутов и их эксплуатационные свойства .....	105
Марки мазутов. Ассортимент продукции Ферганского и Бухарского НПЗ светлые нефтепродукты .....	106
Литература	112







