Автор проекта В.М. Школьников
и ООО «Издательский центр «Техинформ»
Международной Академии Информатизации
выражают благодарность
Представительствам компаний:
Castrol Central and Eastern Europe GmbH,
ESSO A.G.,
Mobil Oil Lubricants,
Shell East Europe Company Ltd.
и концерну ***Neste Oyj***
за участие в создании Справочника
и предоставленную информацию о продукции,
вырабатываемой предприятиями
этих компаний.

СПРАВОЧНИК

Под редакцией В.М. Школьникова

*

ТОПЛИВА СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

АССОРТИМЕНТ И ПРИМЕНЕНИЕ

*

Второе издание, переработанное и дополненное

Москва
Издательский центр «ТЕХИНФОРМ»
Международной Академии Информатизации
1999

.... 10
.... 13
... 13
... 13
.. 29
.. 41
.. 46
. 48
. 62
. 66
. 76
77
94
.00
01
17
1
4
4
5
1
0
1
1
1

ББК 35.514
Т581
УДК 662.75/76:621.892(031)

Авторы: И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов, Ш.К. Богданов, Т.И. Богдан
С.Б. Борщевский, В.В. Булатников, Е.М. Бушуева, К.Э. Гаитов, И.Б. Грудни
Е.Е. Довгополый, С.Ю. Дубровский, В.Е. Емельянов, Ю.Л. Ищук, И.О. Колеси
Н.И. Корох, В.В. Куцевалов, И.В. Лендьел, Т.Н. Митусова, Т.И. Назарова, Е.А. Никити
В.Д. Резников, Л.А. Садовникова, В.В. Фрязинов, А.А. Фуфаев, А.Ф. Хурумо
Г.И. Чередниченко, Т.Н. Шабалина, С.З. Шейнина, Т.В. Шестаковская, Ю.Н. Шехт
Б.А. Энглин

Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применен
Т 581 Справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов и др.; Под р
В.М. Школьникова. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Издательский центр "Техинфор
1999. – 596 с.: ил.

ISBN 5-89551-006-X

Приведены краткие сведения о важнейших физических и эксплуатационных свойствах, о
бенностях применения топлив, масел, пластичных смазок, смазочно-охлаждающих жидкост
других нефтепродуктов. Показано влияние основных видов топлива и смазочных материалов
надежность и эффективность эксплуатации техники. Описаны присадки, улучшающие свойс
смазочных материалов. Уделено внимание нефтепродуктам, используемым для консерва
техники, для защиты ее от коррозии.

Второе издание (1-е изд. 1989 г.) переработано с учетом новых нормативных документов
расширения ассортимента нефтепродуктов.

Предназначен для специалистов, занимающихся получением и применением топлив, смазоч
материалов и технических жидкостей. Полезен при подготовке кадров различной квалифика
связанных с производством и применением нефтепродуктов.

ББК 35.5

ISBN 5-89551-006-X

© И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова,
С.А. Бнатов и др., 1999

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 10

1 НЕФТЯНЫЕ ТОПЛИВА 13

АВТОМОБИЛЬНЫЕ И АВИАЦИОННЫЕ БЕНЗИНЫ *(В.Е. Емельянов, Е.А. Никитина)* 13
Свойства 13
Ассортимент, качество и состав автомобильных бензинов 29
Ассортимент, качество и состав авиационных бензинов 41
РЕАКТИВНЫЕ ТОПЛИВА (Б.А. Энглин, *Е.М. Бушуева)* 46
Свойства 48
Ассортимент, качество и состав реактивных топлив 62
Присадки к реактивным топливам 66
ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА *(Т.Н. Митусова)* 76
Свойства 77
Ассортимент, качество и состав дизельных топлив 94
КОТЕЛЬНЫЕ, ТЯЖЕЛЫЕ МОТОРНЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ, СУДОВЫЕ И ПЕЧНОЕ ТОПЛИВА *(Т.Н. Митусова)* 100
Котельные, тяжелые моторные и судовые топлива 101
Свойства (101) – *Ассортимент, качество и состав* (113)
Газотурбинное топливо 117
Печное топливо 121

2 МОТОРНЫЕ МАСЛА *(В.Д. Резников)* 124

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОТОРНЫМ МАСЛАМ 124
СВОЙСТВА МАСЕЛ И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ 126
КЛАССИФИКАЦИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ 134
МАСЛА ДЛЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 140
Масла групп $Г_1$, В и $В_1$ 141
МАСЛА ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ 143
Масла групп А и $Б_2$ 144
Масла группы $В_2$ 146
Масла группы $Г_2$ 150
Масла группы $Д_2$ 153
Цилиндровые масла для крейцкопфных дизелей 157
ПЕРЕЧЕНЬ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ВЫРАБАТЫВАЕМЫХ ПО СТАНДАРТАМ ПРЕДПРИЯТИЙ 159

3 МАСЛА ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
(Т.И. Назарова, С.З. Шейнина, А.Ф. Хурумова) 164

МАСЛА ДЛЯ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 164
МАСЛА ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 165
Минеральные масла 167
Синтетические масла 168

ОГЛАВЛЕНИЕ

МАСЛА ДЛЯ ТУРБОВИНТОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 172
МАСЛА ДЛЯ ВЕРТОЛЕТОВ 173
МАСЛА ДЛЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ 176
Масла для ГПА со стационарными ГТУ и электроприводами 177
Масла для газомотокомпрессорных ГПА 178
Масла для ГПА с приводом от конвертированных авиационных или судовых ГТД 179

4 ТРАНСМИССИОННЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАСЛА *(Т.В. Шестаковская, Ш.К. Богданов, С.З. Шейнина)* 185

ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА 185
Общие требования 185
Важнейшие свойства трансмиссионных масел 186
Классификация трансмиссионных масел 191
Ассортимент трансмиссионных масел 193
Трансмиссионные масла класса вязкости 9 (194) — *Трансмиссионные масла класса вязкости 18* (196)
МАСЛА ДЛЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ 201
ОСЕВЫЕ МАСЛА 204
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАСЛА 205
Общие требования и свойства 205
Система обозначений гидравлических масел 209
Ассортимент гидравлических масел 211
Маловязкие гидравлические масла (211) – *Средневязкие гидравлические масла* (214) – *Вязкие гидравлические масла* (216) – *Синтетические и полусинтетические гидравлические масла* (217)
ТОРМОЗНЫЕ И АМОРТИЗАТОРНЫЕ ЖИДКОСТИ 221
Тормозные жидкости 221
Амортизаторные жидкости 223
ПРИБОРНЫЕ МАСЛА 226
Масла общего назначения 226
Масла специального назначения на синтетической или минеральной основе 227
Масла на смешанной (синтетической и минеральной) основе 231
Часовые масла 232

5 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАСЛА *(Е.Е. Довгополый)* 233

ТУРБИННЫЕ МАСЛА 233
Общие требования и свойства 233
Ассортимент турбинных масел 234
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАСЛА 238
Трансформаторные масла 238
Общие требования и свойства (238) – *Ассортимент трансформаторных масел* (244)
Конденсаторные масла 248
Кабельные масла 249
КОМПРЕССОРНЫЕ МАСЛА 250
Масла для поршневых и ротационных компрессоров 250
Компрессорные масла без присадок (252) – *Компрессорные масла с присадками* (252)

Масла для турбокомпрессоров 255
Масла для компрессоров холодильных машин 256

6 ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ МАСЛА *(Т.Н. Шабалина, К.М. Бадыштова)* 258

СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ 258
СВОЙСТВА МАСЕЛ 261
АССОРТИМЕНТ МАСЕЛ 269
Масла общего назначения 269
Масла без присадок (269) – *Масла с присадками* (271)
Масла для легконагруженных высокоскоростных механизмов 275
Масла для гидравлических систем 276
Масла для направляющих скольжения станочного оборудования 282
Масла для тяжелонагруженных узлов 286
Масла для прокатных станов 291
Масла цилиндровые 293
Масла специального назначения 295
Масла для текстильного оборудования (297) – *Полусинтетические бытовые масла* (298) – *Масла рабоче-консервационные* (300) – *Жидкости формовочные ТСП и СЖФ-9* (301) – *Защитные жидкости Предокол и АГ-5И* (301) – *Масла-компоненты и рабочие жидкости* (302)

7 ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ *(Ю.Л. Ищук, И.В. Лендьел)* 307

НАЗНАЧЕНИЕ СМАЗОК 307
СОСТАВ СМАЗОК 308
КЛАССИФИКАЦИЯ СМАЗОК 313
АССОРТИМЕНТ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОК 315
Антифрикционные смазки 319
Смазки общего назначения для обычных температур (319) – *Смазки общего назначения для повышенных температур* (320) – *Многоцелевые смазки* (320) – *Термостойкие смазки* (323) – *Низкотемпературные смазки* (326) – *Химически стойкие смазки* (327) – *Приборные смазки* (329) – *Редукторные смазки (полужидкие)* (332) – *Приработочные пасты* (335)
Узкоспециализированные (отраслевые) смазки 335
Смазки для электрических машин (335) – *Автомобильные смазки* (336) – *Железнодорожные смазки* (339) – *Морские смазки* (340) – *Авиационные смазки* (341) – *Индустриальные смазки* (343) – *Буровые смазки* (346) – *Электроконтактные смазки* (347)
Консервационные (защитные) смазки 348
Канатные смазки и пропиточные составы 349
Уплотнительные (резьбовые) смазки 351
СВОЙСТВА СМАЗОК 354

8 КОНСЕРВАЦИОННЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ *(Ю.Н. Шехтер, Т.И. Богданова, Н.И. Корох)* 365

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ 365
МАСЛОРАСТВОРИМЫЕ ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ 370
ЛЕТУЧИЕ ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ 376
КОНСЕРВАЦИОННЫЕ И РАБОЧЕ-КОНСЕРВАЦИОННЫЕ МАСЛА 378

ОГЛАВЛЕНИЕ

Консервационные и консервационно-рабочие масла ... 379
Рабоче-консервационные масла ... 383
ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ ИНГИБИРОВАННЫЕ НЕФТЯНЫЕ СОСТАВЫ ... 384
ЗАЩИТНЫЕ ВОДОВЫТЕСНЯЮЩИЕ СОСТАВЫ ... 395

9 СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА *(Г.И. Чередниченко, С.Ю. Дубровский)* ... 397

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ... 397
АССОРТИМЕНТ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И СВОЙСТВА СОТС ... 403

10 БАЗОВЫЕ МАСЛА *(И.О. Колесник, С.З. Шейнина)* ... 422

НЕФТЯНЫЕ БАЗОВЫЕ МАСЛА ... 422
Основные физико-химические свойства ... 426
Состав масел и технология их получения ... 428
СИНТЕТИЧЕСКИЕ БАЗОВЫЕ МАСЛА ... 429
Полиальфаолефиновые масла ... 429
Сложные эфиры дикарбоновых кислот ... 430
Эфиры фосфорной кислоты ... 432
Сложные эфиры неопентиловых спиртов ... 433
Полиорганоксилоксаны ... 434

11 ПРИСАДКИ К МАСЛАМ *(С.Б. Борщевский, А.А. Фуфаев)* ... 439

АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРИСАДКИ ... 440
Зольные антиокислители ... 441
Беззольные антиокислители ... 442
МОЮЩЕ-ДИСПЕРГИРУЮЩИЕ ПРИСАДКИ ... 444
Сульфонатные присадки ... 444
Алкилфенольные присадки ... 445
Алкилсалицилатные присадки ... 450
Беззольные диспергирующие присадки ... 451
ПРИСАДКИ, УЛУЧШАЮЩИЕ СМАЗЫВАЮЩИЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ ... 454
ДЕПРЕССОРНЫЕ ПРИСАДКИ ... 457
ВЯЗКОСТНЫЕ ПРИСАДКИ ... 459
АНТИПЕННЫЕ ПРИСАДКИ ... 461
ПАКЕТЫ ПРИСАДОК ... 461

12 НЕФТЯНЫЕ РАСТВОРИТЕЛИ, АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ, КЕРОСИНЫ *(В.В. Булатников)* ... 463

НЕФТЯНЫЕ РАСТВОРИТЕЛИ ... 463
АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ НЕФТЯНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ... 466
КЕРОСИНЫ ... 470

13 ТВЕРДЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ *(И.Г. Анисимов, И.Б. Грудников, В.В. Фрязинов)* ... 472

ПАРАФИНЫ ... 472
ЦЕРЕЗИНЫ ... 474
ВАЗЕЛИНЫ ... 476
ВОСКИ, ВОСКОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ И СОСТАВЫ ... 480
НЕФТЯНЫЕ БИТУМЫ ... 491
НЕФТЯНЫЕ КОКСЫ ... 498

14 ПРОЧИЕ ПРОДУКТЫ *(В.В. Булатников, С.А. Бнатов, В.В. Куцевалов, К.Э. Гаитов)* ... 500

ЛЕГКИЕ И СРЕДНИЕ ФРАКЦИИ НЕФТИ ... 500
НЕФТЯНЫЕ КИСЛОТЫ ... 505
БЕЛЫЕ МАСЛА ... 506
ВАКУУМНЫЕ МАСЛА ... 508
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАСЛА ... 510
Масла-мягчители и пластификаторы парафино-нафтенового основания ... 510
Ароматические масла-мягчители и пластификаторы ... 511
Масла для производства химических волокон ... 514
Масла разного назначения ... 516
МАСЛА-ТЕПЛОНОСИТЕЛИ ... 518
Масла-теплоносители АМТ ... 518
Теплоносители для систем регулирования ... 519

15 ЗАРУБЕЖНЫЕ КЛАССИФИКАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ *(Л.А. Садовникова, Т.В. Шестаковская, В.В. Булатников)* ... 520

КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВ ... 522
КЛАССИФИКАЦИЯ МАСЕЛ ... 524
Индустриальные масла ... 524
Моторные масла ... 525
Трансмиссионные масла ... 529
Гидравлические масла ... 532
О допуске к производству и применению топлив, масел, смазок и специальных жидкостей ... 533
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ... 536

BRITISH PETROLEUM. Смазочные материалы ... 537
CASTROL. Смазочные материалы ... 545
ESSO. Смазочные материалы ... 555
MOBIL. Смазочные материалы ... 568
NESTE. Смазочные материалы ... 574
SHELL. Смазочные материалы ... 586

ВВЕДЕНИЕ

Требования по повышению надежности и эффективности работы техники привели к значительному ужесточению эксплуатационных характеристик топлив и смазочных материалов. Законодательные акты по защите окружающей среды поставили задачу создания нефтепродуктов с улучшенными экологическими свойствами. В связи с этим в последние годы значительно повышено качество автомобильных бензинов, дизельных топлив, моторных, трансмиссионных, гидравлических и других масел. Этому способствовало широкое использование гидрокаталитических процессов и современных присадок, повышающих эксплуатационные и экологические свойства нефтепродуктов.

Следует подчеркнуть, что конкретным конструктивным особенностям и условиям эксплуатации техники должны соответствовать определенные по составу и свойствам топлива и смазочные материалы. Неправильный их выбор может привести к сокращению срока службы и надежности работы машин и оборудования. Таким образом, нефтепродукты, являясь эксплуатационными материалами, по влиянию на эффективность работы техники равнозначны конструкционным материалам. Поэтому знание их состава, свойств, областей применения, эксплуатационных характеристик, токсикологических и экологических особенностей необходимо как специалистам, эксплуатирующим технику, так и тем, кто занимается производством, транспортированием и хранением нефтепродуктов.

Настоящее издание справочника "Топлива, смазочные материалы, технические жидкости" предпринято в связи с тем, что в последние десять лет произошли серьезные изменения в производстве, ассортименте и качестве нефтепродуктов. Появилось большое количество новых производителей топлив и смазочных материалов — малых предприятий и акционерных обществ, резко расширился ассортимент нефтепродуктов, вырабатываемых по различным техническим условиям. На российском нефтяном рынке работают ведущие зарубежные нефтяные компании.

Все это привело к насыщению рынка большим количеством нефтепродуктов самого различного качества, и, чтобы потребитель мог правильно ориентироваться в "нефтяном море" предложений, ему необходима определенная систематизированная информация. Предоставить такую информацию и призван настоящий справочник.

Авторы ставили задачу охарактеризовать, в первую очередь, ассортимент и свойства топлив, смазочных материалов и технических жидкостей, производимых отечественной нефтеперерабатывающей промышленностью. Сведения по российским и зарубежным классификациям нефтепродуктов помогут потребителям определить область применения импортируемых топлив, смазочных материалов и технических жидкостей, а также решать задачи экспорта в дальнее и ближнее зарубежье. Учитывая все возрастающий объем продаж нефтяных и синтетических базовых масел, как товарной продукции, определенное место в справочнике авторы отвели изложению их свойств и описанию ассортимента.

Вся нормативно-техническая документация, приводимая в издании, уточнена по состоянию на 01.10.98 г.

Справочник следует рассматривать как руководство по выбору и применению нефтепродуктов. При официальном рассмотрении вопросов качества нефтепродуктов или методов их испытаний следует обращаться к изданиям Госстандарта РФ.

Авторы надеются, что издание справочника будет способствовать техническому прогрессу в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, повышению технико-экономических показателей эксплуатации транспортных средств и промышленного оборудования.

АВТОРЫ ВЫРАЖАЮТ ИСКРЕННЮЮ БЛАГОДАРНОСТЬ

предприятиям и организациям

ЗАО «Авиатехмас»; ОАО «Ангарская нефтехимическая компания»; АООТ «ВНИИНЕФТЕХИМ»; АТ «ГАЛОЛ»; ОАО «Завод им. Шаумяна»; ИФХ РАН; ООО «ЛУКойл-Волгограднефтепереработка»; ООО «ЛУКойл-Пермнефтеоргсинтез»; АО МОПЗ «Нефтепродукт»; ОАО «Московский НМЗ»; ПО «НАФТАН»; ОАО «Новокуйбышевский НПЗ»; ОАО «Ново-Уфимский НПЗ»; АО «НОРСИ»; АООТ «ОРГСТЕКЛО»; АО «Омский НПЗ»; ОАО «Оренбургский НМЗ»; ОАО «Орскнефтеоргсинтез»; АО «Пермский завод смазок и СОЖ»; ОАО «Рязанский НПЗ»; ОАО «СвНИИНП»; ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез»; ОАО «Славнефть-Ярославский НПЗ им. Д.И. Менделеева (Русойл)»; АО ПГ «Спектр-Авто»; АО «Уфанефтехим»; ГПО «Узнефтепереработка»,

специалистам

А.И. Алцыбеевой, Ю.И. Кузнецову

ЗА ЛЮБЕЗНО ПРЕДОСТАВЛЕННУЮ ИНФОРМАЦИЮ, ПОЗВОЛИВШУЮ В ПОЛНОЙ МЕРЕ ОТРАЗИТЬ В СПРАВОЧНИКЕ СОСТОЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВ, СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ.

АВТОРЫ ПРИЗНАТЕЛЬНЫ СПЕЦИАЛИСТАМ

М.Б. Бакалейникову, Л.В. Белоскурской, П.П. Гару, Т.И. Ермаковой, С.А. Конаковой, Н.А. Литвиновой, О.Н. Цветкову

ЗА ПОМОЩЬ, ОКАЗАННУЮ В ПОДГОТОВКЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СПРАВОЧНИКА.

1 НЕФТЯНЫЕ ТОПЛИВА

Автомобильные и авиационные бензины 13
Реактивные топлива 46
Дизельные топлива 76
Котельные, тяжелые моторные, газотурбинные, судовые и печное топлива .. 100

Автомобильные и авиационные бензины

Бензины предназначены для применения в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением (от искры). В зависимости от назначения их разделяют на автомобильные и авиационные.

Несмотря на различия в условиях применения автомобильные и авиационные бензины характеризуются в основном общими показателями качества, определяющими их физико-химические и эксплуатационные свойства.

Современные автомобильные и авиационные бензины должны удовлетворять ряду требований, обеспечивающих экономичную и надежную работу двигателя, и требованиям эксплуатации:

иметь хорошую испаряемость, позволяющую получить однородную топливовоздушную смесь оптимального состава при любых температурах;

иметь групповой углеводородный состав, обеспечивающий устойчивый, бездетонационный процесс сгорания на всех режимах работы двигателя;

не изменять своего состава и свойств при длительном хранении и не оказывать вредного влияния на детали топливной системы, резервуары, резинотехнические изделия и др.

В последние годы экологические свойства топлива выдвигаются на первый план.

Свойства

Испаряемость. Для обеспечения полного сгорания топлива в двигателе необходимо перевести его в короткий промежуток времени

из жидкого состояния в парообразное и смешать с воздухом в определенном соотношении, т. е. создать рабочую смесь. В зависимости от конструкции двигателя возможны два способа образования рабочей смеси. При *первом способе* в карбюраторе происходит частичное испарение бензина и образование горючей смеси, затем паровоздушный поток распределяется по цилиндрам. Вследствие неполного испарения бензина часть капель из паровоздушного потока оседает в виде жидкой пленки на стенках впускного трубопровода. Из-за разности в скоростях движения паров и жидкой пленки в цилиндры поступает горючая смесь, неоднородная по качеству и составу. При *втором способе* бензин впрыскивается с помощью форсунок непосредственно в камеру сгорания или во впускной трубопровод.

Система подготовки горючей смеси с помощью карбюратора отличается относительной простотой и надежностью и используется практически во всех отечественных автомобилях, однако в этом случае предъявляются более жесткие требования к испаряемости бензина. Непосредственный впрыск бензина с помощью форсунок используется во всех современных автомобильных и авиационных двигателях, в том числе и отечественных. В двигателях, оборудованных системой электронного впрыска топлива, обеспечивается более равномерное распределение топлива по цилиндрам, и вследствие этого они обладают рядом преимуществ по сравнению с карбюраторными по топливной экономичности, динамичности, токсичности отработавших газов.

К физико-химическим показателям, от которых зависит испаряемость бензинов, относят давление насыщенных паров, фракционный состав, скрытую теплоту испарения, коэффициент диффузии паров, вязкость, поверхностное натяжение, теплоемкость, плотность. Из перечисленных показателей важнейшими, определяющими испаряемость бензинов, являются давление насыщенных паров и фракционный состав. По вязкости, поверхностному натяжению, скрытой теплоте испарения, коэффициенту диффузии паров, теплоемкости бензины разного состава сравнительно мало различаются между собой, и эти различия нивелируются конструктивными особенностями двигателей. Давление насыщенных паров и фракционный состав являются функциями состава бензина, и эти показатели могут существенно различаться для разных бензинов. Эти два параметра определяют пусковые свойства бензинов, их склонность к образованию паровых пробок, физическую стабильность. Давление насыщенных паров зависит

от температуры и от соотношения паровой и жидкой фаз и уменьшается с уменьшением температуры и увеличением отношения паровой фазы к жидкой. В лабораторных условиях давление насыщенных паров определяют при температуре 37,8 °С и соотношении паровой и жидкой фаз (3,8–4,2):1 в «Бомбе Рейда» (ГОСТ 1756–52) или аппарате с механическим диспергированием типа «Вихрь» (ГОСТ 28781–90).

Фракционный состав бензинов определяют перегонкой на специальном приборе, при этом отмечают температуру начала перегонки, температуру выпаривания 10, 50, 90 % и конца кипения (97,5 % для авиабензинов), или объем выпаривания при 70, 100 и 180 °С.

Требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров бензинов определяются конструкцией автомобильного двигателя и климатическими условиями его эксплуатации. С одной стороны, необходимо обеспечить запуск двигателя при низких температурах, с другой стороны — предотвратить нарушения в работе двигателя, связанные с образованием паровых пробок при высоких температурах. Пусковые свойства бензина зависят от содержания в нем легких фракций, которое может быть определено по давлению насыщенных паров и температуре перегонки 10 % или объему легких фракций, выкипающих при температуре до 70 °С. Чем ниже температура окружающего воздуха, тем больше легких фракций требуется для запуска двигателя. Существует эмпирическая формула, позволяющая связать предельную температуру запуска двигателя с температурой выкипания 10 % бензина: $t_в = t_{10}/2 - 50{,}5$, где $t_в$ — предельная температура запуска, °С, t_{10} — температура выкипания 10 % бензина, °С.

Пусковые свойства бензинов ухудшаются с понижением давления их насыщенных паров, причем при давлении 34 кПа концентрация паров бензина в рабочей зоне настолько мала, что запуск двигателя становится невозможным. Поэтому ГОСТ Р 51105–97 на автобензины предусматривает ограничение не только верхнего, но и нижнего уровня давления насыщенных паров. Присутствие бутанов в составе бензинов также положительно влияет на его пусковые свойства. Однако чрезмерное содержание низкокипящих фракций в составе бензинов может вызвать неполадки в работе прогретого двигателя, связанные с образованием паровых пробок в системе топливоподачи. Причиной образования паровых пробок в автомобильном двигателе является интенсивное испарение топлива вследствие его перегрева. В условиях жаркого климата это явление может иметь массовый характер. В авиационных двигателях

причиной образования паровой пробки служит снижение атмосферного давления при подъеме самолета. Образование паровых пробок зависит от испаряемости бензина, температуры и конструкции двигателя. Чем выше давление насыщенных паров бензина, ниже температуры начала кипения и перегонки 10 % и больше объем фракции, выкипающей при температуре до 70 °С, тем больше его склонность к образованию паровых пробок. Эта зависимость носит линейный характер и определяется следующим образом: ИПП = 10 ДНП + $7V_{70}$, где ИПП — индекс паровой пробки; ДНП — давление насыщенных паров бензина, кПа; V_{70} — объем бензина, выкипающего при температуре до 70 °С. Склонность бензина к образованию паровых пробок можно оценить по предельной температуре его нагрева, при которой соотношение паровой и жидкой фаз равно 20. Именно возможность образования паровых пробок является причиной ограничения верхнего уровня давления насыщенных паров (особенно для авиационных бензинов), которое не должно превышать 48 кПа.

От содержания в бензине легкокипящих фракций зависит его физическая стабильность, т.е. склонность к потерям от испарения. Наибольшие потери от испарения имеют бензины, содержащие в своем составе низкокипящие углеводороды: бутаны, изопентан.

Высокая испаряемость бензина может иногда стать причиной обледенения карбюратора. Испарение бензина в карбюраторе сопровождается понижением температуры его деталей. В условиях высокой влажности при температуре воздуха около 4 °С происходит вымерзание влаги из окружающего воздуха, которое вызывает обледенение карбюратора.

Снижая испаряемость бензина, можно предотвратить обледенение карбюратора, однако это ухудшает пусковые свойства бензинов. Поэтому в бензин вводят специальные антиобледенительные присадки или осуществляют конструктивные меры.

От фракционного состава зависят такие показатели как скорость прогрева двигателя, его приемистость, износ цилиндро-поршневой группы. Наиболее существенное влияние на скорость прогрева двигателя, его приемистость оказывает температура перегонки 50 % бензина. Температура выкипания 90 % бензина также влияет на эти характеристики, но в меньшей степени. Скорость прогрева двигателя, его приемистость зависят и от температуры окружающего воздуха. Чем ниже температура воздуха, тем ниже должна быть температура перегонки

50 % бензина для обеспечения быстрого прогрева и хорошей приемистости двигателя. При понижении температуры это влияние усиливается. Поэтому нормы на этот показатель также зависят от температурных условий эксплуатации и различаются по сезону и климатическим зонам.

Для нормальной работы двигателя большое значение имеет полнота испарения топлива, которая характеризуется температурой перегонки 90 % бензина и температурой конца кипения. При неполном испарении бензина во впускной системе часть его может поступать в камеру сгорания в жидком виде, смывая масло со стенок цилиндров. Жидкая пленка через зазоры поршневых колец может проникать в картер, при этом происходит разжижение масла. Это приводит к повышенным износам и отрицательно влияет на мощность и экономичность работы двигателя. Снижение температуры конца кипения бензинов может повысить их эксплуатационные свойства, однако это снижает ресурс бензинов.

Применение в современных автомобилях систем непосредственного впрыска бензина с электронным управлением позволяет достаточно эффективно использовать бензины с повышенной температурой конца кипения. С учетом широкого распространения таких автомобилей ГОСТ Р 51105–97 установлена норма на температуру конца кипения автомобильных бензинов 215 °С.

Как было указано выше, требования к испаряемости автомобильных бензинов в значительной мере зависят от температурных условий их применения. С учетом климатических особенностей нашей страны автомобильные бензины по фракционному составу и давлению насыщенных паров подразделяют на два вида: зимний и летний. По показателям испаряемости ГОСТ Р 51105–97 предусматривает пять классов бензинов. Требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров определены в зависимости от сезона и климатического района применения. Такая классификация в большей степени удовлетворяет требованиям эксплуатации двигателей в разных климатических условиях и будет способствовать более экономичному и рациональному использованию топлив.

Детонационная стойкость. Этот показатель характеризует способность автомобильных и авиационных бензинов противостоять самовоспламенению при сжатии. Высокая детонационная стойкость топлив обеспечивает их нормальное сгорание на всех режимах эксплуатации двигателя. Процесс горения топлива в двигателе носит радикальный

2 — 2538

характер. При сжатии рабочей смеси температура и давление повышаются и начинается окисление углеводородов, которое интенсифицируется после воспламенения смеси. Если углеводороды несгоревшей части топлива обладают недостаточной стойкостью к окислению, начинается интенсивное накапливание перекисных соединений, а затем их взрывной распад. При высокой концентрации перекисных соединений происходит тепловой взрыв, который вызывает самовоспламенение топлива. Самовоспламенение части рабочей смеси перед фронтом пламени приводит к взрывному горению оставшейся части топлива, к так называемому детонационному сгоранию. Детонация вызывает перегрев, повышенный износ или даже местные разрушения двигателя и сопровождается резким характерным звуком, падением мощности, увеличением дымности выхлопа. На возникновение детонации оказывает влияние состав применяемого бензина и конструктивные особенности двигателя.

Показателем детонационной стойкости автомобильных и авиационных бензинов является *октановое число,* показывающее содержание изооктана (в % объемных) в смеси с н-гептаном, которая по детонационной стойкости эквивалентна топливу, испытуемому в стандартных условиях. В лабораторных условиях октановое число автомобильных и авиационных бензинов и их компонентов определяют на одноцилиндровых моторных установках УИТ-85 или УИТ-65. Склонность исследуемого топлива к детонации оценивается сравнением его с эталонным топливом, детонационная стойкость которого известна. Октановое число на установках определяется двумя методами: моторным (по ГОСТ 511–82) и исследовательским (по ГОСТ 8226–82).

Методы отличаются условиями проведения испытаний. Испытания по моторному методу проводят при более напряженном режиме работы одноцилиндровой установки, чем по исследовательскому. Поэтому октановое число, определенное моторным методом, обычно ниже октанового числа, определенного исследовательским методом. Октановое число, полученное моторным методом в большей степени характеризует детонационную стойкость топлива при эксплуатации автомобиля в условиях повышенного теплового форсированного режима, октановое число, полученное исследовательским методом, больше характеризует бензин при работе на частичных нагрузках в условиях городской езды. Разницу между октановыми числами бензина, определенными двумя методами, называют *чувствительностью бензина.* Наибольшей

чувствительностью (9-12 ед.) отличаются бензины каталитического крекинга и каталитического риформинга, содержащие непредельные и ароматические углеводороды. Менее чувствительны (1-2 ед.) к режиму работы двигателя алкилбензин и прямогонные бензины, состоящие из парафиновых и изопарафиновых углеводородов. Для авиационных бензинов нормируется октановое число, определенное только моторным методом, для автомобильных бензинов, за исключением А-76, определяются и нормируются октановые числа, определенные двумя методами.

Важным показателем детонационной стойкости авиационных бензинов является *сортность* на богатой смеси, которую определяют при испытании на стандартной одноцилиндровой моторной установке ИТ9-1 (ГОСТ 3338–68). Сортность топлива численно равна сортности такого эталонного топлива, которое при испытании на одноцилиндровом двигателе в стандартных условиях на режиме начальной детонации имеет одинаковое с испытуемым топливом значение среднего индикаторного давления. Чем выше сортность топлива, тем выше его детонационная стойкость на богатой смеси в условиях работы авиационного двигателя. При маркировке авиационных бензинов в числителе дроби указывается октановое число по моторному методу, а в знаменателе — сортность на богатой смеси.

Требования к детонационной стойкости бензинов зависят от конструктивных особенностей двигателя, определяющими среди которых являются степень сжатия и диаметр цилиндра. Так как увеличение степени сжатия позволяет повысить эксплуатационные показатели и экономичность работы двигателя, оно является определяющим в развитии автомобилестроения. Таким образом, прогресс в автомобилестроении приводит к постоянному повышению требований к детонационной стойкости применяемых бензинов.

Детонационная стойкость автомобильных и авиационных бензинов определяется их углеводородным составом. Наибольшей детонационной стойкостью обладают ароматические углеводороды. Самая низкая детонационная стойкость у парафиновых углеводородов нормального строения, причем она уменьшается с увеличением их молекулярной массы. Изопарафины и олефиновые углеводороды обладают более высокими антидетонационными свойствами по сравнению с нормальными парафинами. Увеличение степени разветвленности и снижение молекулярной массы повышает их детонационную стойкость. По детонационной стойкости нафтены превосходят парафиновые углеводороды,

но уступают ароматическим углеводородам. Наибольшую чувствительность — разность между октановыми числами по исследовательскому и моторному методам — имеют олефиновые углеводороды. Чувствительность ароматических углеводородов несколько ниже. Для парафиновых углеводородов эта разница очень мала, а высокомолекулярные низкооктановые парафиновые углеводороды имеют отрицательную чувствительность.

Антидетонационные свойства бензинов, получаемых различными технологическими процессами, определяются входящими в их состав углеводородами. Самую низкую детонационную стойкость имеют бензины прямой перегонки, состоящие, в основном, из парафиновых углеводородов нормального строения, причем она снижается с повышением температуры конца кипения. Октановые числа, определяемые по моторному методу, прямогонных фракций, выкипающих до 180 °С, обычно составляют 40–50 ед. Детонационная стойкость фракций с температурой начала кипения 85 °С несколько выше — 65–70 ед. Исключение составляют прямогонные бензины, получаемые из нефтей нафтенового основания (сахалинские, азербайджанские и др.), их октановые числа достигают 71–73 ед. Однако ресурсы этих нефтей весьма ограничены.

Для повышения октановых чисел прямогонных бензинов их подвергают каталитическому риформингу.

Октановые числа бензинов каталитического риформинга зависят от жесткости режима процесса. При жестком режиме они достигают ОЧИ = 95÷99 (исследовательский метод) и ОЧМ = 86÷90 (моторный метод), при мягком режиме соответственно 83–85 и 74–79.

Бензины термических процессов (крекинга, коксования) содержат до 60 % олефиновых углеводородов и по детонационной стойкости превосходят прямогонные бензины: ОЧИ = 68÷75, ОЧМ = 62÷69. Бензины каталитического крекинга помимо олефиновых углеводородов содержат ароматические и изопарафиновые углеводороды. Их детонационная стойкость выше, чем бензинов, получаемых термическими процессами.

Для повышения октановых чисел товарных бензинов используют также специальные антидетонационные присадки и высокооктановые компоненты.

С точки зрения эксплуатационных свойств получаемых бензинов технологический путь является более предпочтительным. Для

строительства новых технологических установок с целью получения высокооктановых бензинов и компонентов требуются значительные капитальные затраты. Учитывая постоянно возрастающие требования к уровню детонационной стойкости товарных бензинов, размеры необходимых вложений также увеличиваются.

Самым дешевым и до недавнего времени наиболее распространенным способом повышения детонационной стойкости товарных бензинов было добавление к ним алкилсвинцовых антидетонаторов, в частности тетраэтил- или тетраметилсвинца в виде этиловой жидкости. Бензины, в которые добавлена этиловая жидкость, называют этилированными. Во все авиационные бензины для достижения требуемого уровня детонационной стойкости добавляется этиловая жидкость. При высоких температурах в камере сгорания тетраалкилсвинец разлагается с образованием алкильных радикалов и свинца, который далее окисляется с образованием диоксида свинца. Последний вступает в реакцию с гидроперекисями, разрушая их с образованием малоактивных продуктов окисления и оксида свинца:

$$RCH_2OOH + PbO_2 \rightarrow RCOH + PbO + H_2O + 0{,}5O_2.$$

Оксид свинца подвергается окислению с образованием активного диоксида свинца, который вновь вступает в реакцию с гидроперекисями, прерывая радикальный процесс окисления и тем самым предотвращая детонацию.

Тетраэтилсвинец (ТЭС) более распространен, чем тетраметилсвинец. Последний более эффективен при применении в высокоароматизированных, высокооктановых бензинах, но не может использоваться при производстве авиационных бензинов, так как не обеспечивает необходимый уровень сортности на богатой смеси. В России производится только тетраэтилсвинец.

Алкилсвинцовые антидетонаторы в разной степени повышают октановые числа различных углеводородов. Способность бензинов к повышению детонационной стойкости при добавлении антидетонаторов называют *приемистостью*. Наибольшую приемистость к тетраэтилсвинцу имеют парафиновые углеводороды и содержащие их прямогонные бензины и алкилбензин. Меньшей приемистостью к ТЭС обладают ароматические и олефиновые углеводороды и содержащие их бензины каталитического риформинга и крекинга. Нафтеновые углеводороды занимают промежуточное положение. Приемистость к ТЭС для различных

бензинов снижается при увеличении содержания в них сернистых соединений, особенно меркаптанов и дисульфидов.

При работе двигателя на этилированном бензине в камере сгорания образуется оксид свинца, имеющий высокую температуру плавления (880 °С). Накопление оксида свинца на электродах свечей зажигания, днищах поршней и стенках камеры сгорания отрицательно влияет на работу двигателя, значительно сокращая его ресурс. Для предотвращения отложения оксида свинца в камере сгорания ТЭС применяют в виде этиловой жидкости, в состав которой входят органические соединения брома (бромэтан или дибромпропан). Эти соединения при взаимодействии в камере сгорания с оксидом свинца образуют бромид свинца, имеющий более низкую температуру плавления, который выносится из камеры сгорания вместе с отработавшими газами. В зависимости от применяемого выносителя этиловая жидкость вырабатывается двух марок: Р-9 с бромистым этилом и П-2 с дибромпропаном. Алкилсвинцовые антидетонаторы так же, как и продукты их сгорания, высоко токсичны, поэтому примерно с 1970 г. четко наметилась тенденция к отказу от их применения при производстве автомобильных бензинов. В ряде стран применение этилированных бензинов запрещено законом. Помимо высокой токсичности применение этилированных бензинов препятствует широкому использованию на автомобилях катализаторов дожига отработавших газов, так как продукты сгорания свинца отравляют катализатор.

В качестве альтернативы алкилсвинцовым антидетонаторам для повышения детонационной стойкости автомобильных бензинов в России допущены и используются при производстве бензинов органические соединения марганца, железа, ароматические амины. Широкое распространение в России и за рубежом при производстве высокооктановых бензинов получил метил-третбутиловый эфир (МТБЭ). МТБЭ имеет октановые числа смешения: 115—135 по исследовательскому методу и 98—110 по моторному.

Теплота сгорания. Этот показатель во многом определяет мощностные и экономические показатели работы двигателя. Он особенно важен для авиационных бензинов, так как оказывает влияние на удельный расход топлива и на дальность полета самолета. Чем выше теплота сгорания, тем меньше удельный расход топлива и больше дальность полета самолета при одном и том же объеме топливных баков. Для авиационных бензинов регламентируется низшая теплота сгорания.

Теплота сгорания зависит от углеводородного состава бензинов, а для различных углеводородов она, в свою очередь, определяется соотношением углерод : водород. Чем выше это соотношение, тем ниже теплота сгорания. Наибольшей теплотой сгорания обладают парафиновые углеводороды и соответственно бензины прямой перегонки и алкилбензин, наименьшей — ароматические углеводороды и содержащие их бензины каталитического риформинга.

Теплота сгорания экспериментально определяется калориметрически.

Химическая стабильность. Этот показатель характеризует способность бензина сохранять свои свойства и состав при длительном хранении, перекачках, транспортировании или при нагревании впускной системы двигателя. Химические изменения в бензине, происходящие в условиях транспортирования или хранения, связаны с окислением входящих в его состав углеводородов. Следовательно, химическая стабильность бензинов определяется скоростью реакций окисления, которая зависит от условий процесса и строения окисляемых углеводородов.

При окислении бензинов происходит накопление в них смолистых веществ, образующихся в результате окислительной полимеризации и конденсации продуктов окисления. На начальных стадиях окисления содержание в бензине смолистых веществ невелико, и они полностью растворимы в нем. По мере углубления процесса окисления количество смолистых веществ увеличивается, и снижается их растворимость в бензине. Накопление в бензинах продуктов окисления резко ухудшает их эксплуатационные свойства. Смолистые вещества могут выпадать из топлива, образуя отложения в резервуарах, трубопроводах и др. Окисление нестабильных бензинов при нагревании во впускной системе двигателя приводит к образованию отложений на ее элементах, а также увеличивает склонность к нагарообразованию на клапанах, в камере сгорания и на свечах зажигания.

Окисление топлив представляет собой сложный, многостадийный свободнорадикальный процесс, происходящий в присутствии кислорода воздуха. Скорость реакции окисления углеводородов резко возрастает с повышением температуры. Контакт с металлом оказывает каталитическое воздействие на процесс окисления. Низкую химическую стабильность имеют олефиновые углеводороды, особенно диолефины с сопряженными двойными связями. Высокой реакционной способностью обладают

также ароматические углеводороды с двойной связью в боковой цепи. Наиболее устойчивы к окислению парафиновые углеводороды нормального строения и ароматические углеводороды. Причем реакционноспособные олефиновые или алкенароматические углеводороды могут инициировать процесс окисления химически стабильных углеводородов. Химическая стабильность автомобильных бензинов определяется в основном их углеводородным составом.

Содержащиеся в бензинах неуглеводородные компоненты также влияют на их химическую стабильность. Наибольшей склонностью к окислению обладают бензины термического крекинга, коксования, пиролиза, каталитического крекинга, которые в значительных количествах содержат олефиновые и диолефиновые углеводороды. Бензины каталитического риформинга, прямогонные бензины, алкилбензин химически стабильны.

Химическую стабильность товарных бензинов и их компонентов оценивают стандартными методами путем ускоренного окисления при температуре 100 °С и давлении кислорода по ГОСТ 4039–88. Этим методом определяют индукционный период, т.е. время от начала испытания до начала процесса окисления бензина. Чем выше индукционный период, тем выше стойкость бензина к окислению при длительном хранении. По индукционным периодам бензины различных технологических процессов существенно различаются. Индукционные периоды бензинов термического крекинга составляют 50–250 мин; каталитического крекинга — 240–1000 мин; прямой перегонки — более 1200 мин; каталитического риформинга — более 1500 мин.

Установлено, что бензины, характеризующиеся индукционным периодом не менее 900 мин, могут сохранять свои свойства в течение гарантийного срока хранения (5 лет). Так как не все бензины предназначены для длительного хранения, в нормативно-технической документации нормы на индукционный период установлены от 360 до 1200 мин.

Склонность бензинов к окислению в двигателе в большей степени характеризует показатель *«сумма продуктов окисления»*, определяемый окислением бензина в герметичной бомбе при 110 °С в течение 6 ч (ГОСТ 22054–76). Этот метод используется в основном для исследовательских целей и при квалификационных испытаниях.

Химическая стабильность бензинов в определенной степени может быть охарактеризована *йодным числом*, которое является показателем

наличия в бензине непредельных углеводородов. Йодное число нормируется для авиационных бензинов, так как вовлечение в их состав нестабильных бензинов недопустимо.

Химическая стабильность этилированных бензинов зависит также от содержания в них этиловой жидкости, так как тетраэтилсвинец при хранении подвергается окислению с образованием нерастворимого осадка. Авиационные бензины практически не содержат непредельных углеводородов, но содержание в них тетраэтилсвинца значительно выше, чем в автомобильных бензинах. Поэтому их химическая стабильность характеризуется *периодом стабильности* (ГОСТ 6667–75) и определяется в основном наличием тетраэтилсвинца.

Для обеспечения требуемого уровня химической стабильности в автомобильные бензины, содержащие нестабильные компоненты, разрешается добавлять антиокислительные присадки Агидол-1 или Агидол-12. В авиационные бензины введение антиокислителя обязательно для стабилизации ТЭС.

Склонность к образованию отложений и нагарообразованию. Применение автомобильных бензинов, особенно этилированных, сопровождается образованием отложений во впускной системе двигателя, в топливном баке, на впускных клапанах и поршневых кольцах, а также нагара в камере сгорания. Наиболее интенсивное образование отложений происходит на деталях карбюратора: на дроссельной заслонке и вблизи нее, в воздушном жиклере и жиклере холостого хода. Образование отложений на указанных деталях приводит к нарушению регулировки карбюратора, уменьшению мощности и ухудшению экономичности работы двигателя, увеличению токсичности отработавших газов. Образование отложений в топливной системе частично зависит от содержания в бензинах смолистых веществ, нестабильных углеводородов, неуглеводородных примесей, от фракционного и группового состава, которые определяют «моющие свойства» бензина. Однако в большей степени этот процесс определяется конструктивными особенностями двигателя. Так, введение принудительной системы вентиляции картера резко увеличило образование отложений в карбюраторе, в основном вследствие содержания в картерных газах капель масла, продуктов неполного сгорания бензина и др. Использование двигателей с непосредственным впрыском бензина привело к повышенному образованию отложений на впускных клапанах (*в местах расположения форсунок*).

На образование нагара в камере сгорания также оказывает влияние конструкция двигателя и состав бензина. Установлено, что повышенному нагарообразованию способствует высокое содержание в бензинах олефиновых и ароматических углеводородов, особенно высококипящих. Содержание ароматических и олефиновых углеводородов в товарных бензинах ограничивается соответственно 55 и 25 % (об.).

Склонность бензинов к образованию отложений во впускной системе определяется только при проведении квалификационных испытаний междуведомственным лабораторно-моторным методом.

Наиболее эффективным способом борьбы с образованием отложений во впускной системе двигателя является применение специальных моющих или многофункциональных присадок. Такие присадки широко применяют за рубежом. В России также разработаны и допущены к применению присадки аналогичного назначения.

Эксплуатационные требования. Автомобильные и авиационные бензины должны быть химически нейтральными и не вызывать коррозию металлов и емкостей, а продукты их сгорания — коррозию деталей двигателя. Коррозионная активность бензинов и продуктов их сгорания зависит от содержания общей и меркаптановой серы, кислотности, содержания водорастворимых кислот и щелочей, присутствия воды. Эти показатели нормируются в нормативно-технической документации на бензины. Бензин должен выдерживать испытание на медной пластинке. При квалификационных испытаниях автомобильных и авиационных бензинов определяется также их коррозионная активность в условиях конденсации воды по ГОСТ 18597–73.

Эффективным средством защиты от коррозии топливной аппаратуры является добавление в бензины специальных антикоррозионных или многофункциональных присадок.

Независимо от компонентного состава бензины, не содержащие спиртов и эфиров, имеют высокие низкотемпературные свойства. Введение в состав бензинов спиртов и эфиров снижает их температуру помутнения. В нормативно-технической документации на авиационные бензины нормируется температура начала кристаллизации. Топливо не должно образовывать кристаллов льда, которые забивают топливный фильтр при полетах в условиях низких температур, поэтому температура начала кристаллизации авиабензинов должна быть ниже -60 °С.

Экологические требования. Бурный рост автомобильного транспорта в развитых странах, где плотность автомобилей достигла

10–20 ед. на 1 кв. км, привел к сильному загрязнению окружающей среды и, в первую очередь, воздушного бассейна вредными выбросами отработавших газов. Огромное количество загрязняющих веществ, образующихся при сжигании автомобильных бензинов, обусловливает тот факт, что среди всех требований, предъявляемых к бензинам, на первое место выдвигаются экологические.

Загрязнение окружающей среды, связанное с применением бензинов, может происходить на этапах транспортирования, заправки и др. (испарение, утечки и пр.). Однако основным источником загрязнения являются отработавшие газы. В их составе содержится более 300 соединений, наносящих вред окружающей среде и здоровью человека.

Среди экологических показателей бензинов важнейшим является содержание в них соединений свинца. Это связано не только с высокой токсичностью этилированных бензинов и продуктов их сгорания, но и с возможностью применения каталитических систем нейтрализации отработавших газов, так как продукты сгорания свинца отравляют катализатор. Поэтому одной из первоочередных экологических задач в области производства бензинов является сокращение или полный отказ от применения этиловой жидкости. В США и ряде европейских стран применение этилированных бензинов запрещено законом. Переход на производство и применение неэтилированных бензинов позволит не только снизить выбросы в атмосферу высокотоксичных соединений свинца, но и даст возможность оборудовать автомобили каталитическими системами нейтрализации отработавших газов и до минимума сократить токсичность последних. В России также приняты и осуществляются программы, направленные на решение экологических проблем. По относительному объему производства и потребления неэтилированных автобензинов Россия в настоящее время находится на уровне развитых европейских стран. За последние пять лет его выработка увеличилась втрое и в 1997 г. составила 70 % общего объема. Максимальная норма на содержание свинца в автомобильных бензинах снижена с 0,37 до 0,15 г/дм^3.

Среди продуктов сгорания неэтилированных бензинов наибольшую опасность представляют оксид и диоксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, углеводороды и твердые частицы.

Токсичность неэтилированных бензинов и продуктов их сгорания в основном определяется содержанием в них ароматических углеводородов, особенно бензола, олефиновых углеводородов и серы. Ароматические углеводороды более токсичны по сравнению с парафиновыми

углеводородами. Если парафины в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 относятся к 4-му классу опасности, то бензол относится ко 2-му классу, а толуол — к 3-му. При их сгорании образуются полициклические ароматические углеводороды (бензпирены), обладающие канцерогенными свойствами. Чем выше содержание ароматических углеводородов в бензине, тем выше температура его сгорания и содержание оксидов азота в отработавших газах. Несгоревшие углеводороды, содержащиеся в отработавших газах, в воздушной среде под воздействием различных факторов (повышенная влажность, солнечный свет и пр.) способствуют образованию стойких аэрозолей, получивших название «смог». Наибольшей фотохимической активностью обладают продукты сгорания олефиновых и ароматических углеводородов. Высокое содержание серы в бензине увеличивает выбросы оксидов серы, которые губительно действуют на здоровье человека, животный и растительный мир, конструкционные материалы. При использовании бензинов с кислородсодержащими добавками содержание токсичных продуктов в отработавших газах несколько снижается.

Запрет на применение свинцовых антидетонаторов в бензинах можно считать первым шагом в изменении экологических свойств бензинов, вторым шагом является переход к использованию так называемых реформулированных бензинов, связанный с принятием в США в 1990 г. поправок к закону о чистом воздухе. Для реформулированного бензина предусматривается введение ограничений и ужесточение требований по целому ряду показателей: давление насыщенных паров, фракционный состав, содержание ароматических углеводородов, бензола, олефинов, серы, предусматривается обязательное добавление кислородсодержащих соединений (не менее 1,8 % по кислороду) и моющих присадок. С 1 января 1995 г. в девяти городах США (Нью-Йорк, Чикаго, Хьюстон и др.) потребляется только реформулированный бензин. Требования Калифорнийского Совета по охране воздушного бассейна (CARB) к качеству реформулированного бензина, предусмотренные сверх федеральных норм, приведены в табл. 1.1. Переход к реформулированному бензину разбит на два этапа (первый этап действует с 1990 г.).

В России также приняты и осуществляются программы, направленные на решение экологических проблем. ГОСТ Р 51105–97 «Бензины для автомобильного транспорта» предусматривает доведение требований к отечественным автобензинам до уровня европейских норм (EN 228).

1.1. Спецификации на бензин в соответствии с CARB и требования федеральных нормативных актов к реформулированному бензину

Параметры	Этап 1	Федеральные требования к реформулированному бензину	Среднее значение
Давление насыщенных паров, МПа	0,05	0,05	0,05*
Массовая доля:			
кислорода, %, не менее	0	2*	1,8*
серы, ppm, не более	150	150**	30**
Объемная доля, %:			
ароматических углеводородов, не более	32	25	22*
олефинов, не более	9,9	9,9	4*
бензола	1,8	0,95 (ср.)*	0,8*
Температура выкипания бензина, °С, не выше:			
50 %	-	100	100
90 %	165	165	143,3

* Регулируемый параметр топлива.
** Уровень серы в Калифорнии. Среднее содержание серы по стране 339 ppm.

Ужесточена норма на содержание в бензинах общей серы — до 0,05 %; введена норма на содержание бензола — не более 5 %. Еще более жесткие требования установлены на автобензины, предназначенные для применения в Москве.

Одним из путей снижения токсичных выбросов автотранспорта является введение моющих присадок в автобензины, так как образование отложений во впускной системе двигателя и особенно в карбюраторе приводит к падению мощности и ухудшению экономичности работы двигателя, возрастанию токсичности отработавших газов, особенно на режимах холостого хода и на малых оборотах (условия городской езды). Путем поддержания в чистоте топливной системы моющие присадки способствуют снижению содержания оксидов углерода и несгоревших углеводородов в отработавших газах. На ряде нефтеперерабатывающих предприятий осуществляется организация производства автомобильных бензинов с моющими присадками и с улучшенными экологическими свойствами.

Ассортимент, качество и состав автомобильных бензинов

Основную массу автомобильных бензинов в России вырабатывают по ГОСТ 2084–77 и ТУ 38.001165–97. В зависимости от октанового

числа ГОСТ 2084–77 предусматривает пять марок автобензинов: **А-72, А-76, АИ-91, АИ-93 и АИ-95.** Для первых двух марок цифры указывают октановые числа, определяемые по моторному методу, для последних — по исследовательскому. В связи с увеличением доли легкового транспорта в общем объеме автомобильного парка наблюдается заметная тенденция снижения потребности в низкооктановых бензинах и увеличения потребления высокооктановых. Бензин А-72 практически не вырабатывается ввиду отсутствия техники, эксплуатируемой на нем.

Наибольшая потребность существует в бензине **А-92,** который вырабатывается по ТУ 38.001165–97, хотя доля бензина А-76 в общем объеме производства остается очень высокой. Указанные ТУ предусматривают также марки бензинов **А-80** и **А-96** с октановыми числами по исследовательскому методу соответственно 80 и 96. Эти бензины предназначены в основном для поставки на экспорт. Бензин **АИ-98** с октановым числом 98 по исследовательскому методу производится по ТУ 38.401-58-122–95 и ТУ 38.401-58-127–95. Бензины А-76, А-80, АИ-91, А-92 и А-96 допускается вырабатывать с использованием этиловой жидкости. Малоэтилированный бензин АИ-91 с содержанием свинца 0,15 г/дм^3 выпускается по отдельным техническим условиям (ТУ 38.401-58-86–94). При производстве бензинов АИ-95 и АИ-98 использование алкилсвинцовых антидетонаторов не допускается.

Требования ГОСТ 2084–77 к качеству автомобильных бензинов приведены в табл. 1.2. Все бензины, вырабатываемые по ГОСТ 2084–77, в зависимости от показателей испаряемости делят на летние и зимние. Зимние бензины предназначены для применения в северных и северо-восточных районах в течение всех сезонов и в остальных районах с 1 октября до 1 апреля. Летние — для применения во всех районах кроме северных и северо-восточных в период с 1 апреля по 1 октября; в южных районах допускается применять летний бензин в течение всех сезонов. **Бензины для экспорта** (ТУ 38.001165–97) и **бензин АИ-98** — всесезонные (табл. 1.3).

Параметры автомобильных бензинов, вырабатываемых по ГОСТ 2084–77, существенно отличаются от принятых международных норм, особенно в части экологических требований. В целях повышения конкурентоспособности российских бензинов и доведения их качества до уровня европейских стандартов разработан ГОСТ Р 51105–97 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия», который вводится в действие с 01.01.99 г. Этот

1.2. Характеристики автомобильных бензинов (ГОСТ 2084–77)

Показатели	А-72 неэтилированный	А-76 неэтилированный	А-76 этилированный	АИ-91 неэтилированный	АИ-93 неэтилированный	АИ-95 неэтилированный
Детонационная стойкость: октановое число, не менее:						
моторный метод	72	76	76	82,5	85	85
исследовательский метод	Не нормируется			91	93	95
Массовое содержание свинца, г/дм^3, не более	0,013	0,013	0,17	0,013	0,013	0,013
Фракционный состав: температура начала перегонки бензина, °С, не ниже:						
летнего	35	35	35	35	35	30
зимнего	Не нормируется					
10 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:						
летнего	70	70	70	70	70	75
зимнего	55	55	55	55	55	55
50 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:						
летнего	115	115	115	115	115	120
зимнего	100	100	100	100	100	105
90 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:						
летнего	180	180	180	180	180	180
зимнего	160	160	160	160	160	160
конец кипения бензина, °С, не выше:						
летнего	195	195	195	205	205	205
зимнего	185	185	185	195	195	195
Остаток в колбе, %, не более	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

1.2. Характеристики автомобильных бензинов (ГОСТ 2084–77) (продолжение)

Показатели	А-72 неэтилированный	А-76 неэтилированный	А-76 этилированный	АИ-91 неэтилированный	АИ-93 неэтилированный	АИ-95 неэтилированный
Давление насыщенных паров бензина, кПа:						
летнего, не более	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
зимнего	66,7-93,3	66,7-93,3	66,7-93,3	66,7-93,3	66,7-93,3	66,7-93,3
Кислотность, мг КОН/100 см³, не более	3,0	1,0	3,0	3,0	0,8	2,0
Содержание фактических смол, мг/100см³, не более:						
на месте производства	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
на месте потребления	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Индукционный период на месте производства бензина, мин, не менее	600	1200	900	900	1200	900
Массовая доля серы, %, не более	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Цвет	-	-	Желтый	-	-	-

Примечания. 1. Для бензинов всех марок: испытание на медной пластинке — выдерживают; содержание водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды — отсутствие; плотность при 20 °С — не нормируется, определение обязательно.

2. Для городов и районов, а также предприятий, где Главным санитарным врачом запрещено применение этилированных бензинов, предназначаются только неэтилированные.

3. Допускается вырабатывать бензин, предназначенный для применения в южных районах, со следующими показателями по фракционному составу:

10 % перегоняется при температуре не выше 75 °С;

50 % перегоняется при температуре не выше 120 °С;

4. Для бензинов, изготовленных с применением компонентов каталитического риформинга, допускаемая температура конца кипения не выше 205 °С — для летнего и не выше 195 °С — для зимнего.

стандарт не заменяет ГОСТ 2084–77, которым предусмотрен выпуск как этилированных, так и неэтилированных бензинов. В соответствии с ГОСТ Р 51105–97 будут вырабатываться только неэтилированные бензины (максимальное содержание свинца не более 0,01 г/дм³).

1.3. Характеристики автомобильных экспортных бензинов и АИ-98

Показатели	А-80	А-92	А-96	АИ-98
Плотность, кг/м³, при температуре:				
20 °С, не более	755	770	770	Не нормируется. Определение обязательно.
15 °С	Не нормируется			-
Детонационная стойкость, октановое число, не менее:				
исследовательский метод	80	92	96	98
моторный метод	76	83	85	88
Массовое содержание свинца, г/дм³, не более:				
бензин этилированный	0,15	0,15	0,15	-
бензин неэтилированный	0,013	0,013	0,013	0,013
Фракционный состав:				
температура начала перегонки бензина, °С, не ниже	35	35	35	-
перегоняется при температуре, °С, не выше:				
10 %	70	75	75	75
50 %	120	120	120	120
90 %	190	190	190	190
температура конца кипения , °С, не выше	215	215	215	215
остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5
остаток и потери, %, не более	4,0	4,0	4,0	4,0
Давление насыщенных паров бензина, кПа (мм рт. ст.), не более	79,9 (600)	79,9 (600)	79,9 (600)	79,9 (600)
Кислотность, мг КОН/100 см³, не более	3,0	3,0	3,0	3,0
Содержание фактических смол, мг/100 см³, не более	5,0	5,0	5,0	5,0
Индукционный период на месте производства бензина, мин, не менее	600	600	600	600
Массовая доля серы, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,1
Цвет	Бесцветный или бледно-желтый			-
Докторская проба	Отрицательная			-
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,001	0,001	0,001	-
Содержание бензола, % (об.), не более	-	-	-	5,0
Массовая доля МТБЭ, %, не более	-	-	-	12

Примечание. Для бензинов всех марок: испытание на медной пластинке — выдерживает, содержание водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды — отсутствие.

3 — 2538

В зависимости от октанового числа по исследовательскому методу установлено четыре марки бензинов: **«Нормаль-80», «Регуляр-91», «Премиум-95», «Супер-98».** Бензин «Нормаль-80» предназначен для использования на грузовых автомобилях наряду с бензином А-76. Неэтилированный бензин «Регуляр-91» предназначен для эксплуатации автомобилей взамен этилированного А-93. Автомобильные бензины «Премиум-95» и «Супер-98» полностью отвечают европейским требованиям, конкурентоспособны на нефтяном рынке и предназначены в основном для зарубежных автомобилей, ввозимых в Россию.

С целью ускорения перехода на производство неэтилированных бензинов взамен этиловой жидкости допускается использование марганцевого антидетонатора в концентрации не более 50 мг Mn/дм^3 для марки «Нормаль-80» и не более 18 мг Mn/дм^3 для марки «Регуляр-91». В соответствии с европейскими требованиями по ограничению содержания бензола введен показатель «объемная доля бензола» — не более 5 %. Установлена норма по показателю «плотность при 15 °С». Ужесточена норма на массовую долю серы — до 0,05 %. Для обеспечения нормальной эксплуатации автомобилей и рационального использования бензинов введено пять классов испаряемости для применения в различных климатических районах по ГОСТ 16350—80. Наряду с определением температуры перегонки бензина при заданном объеме предусмотрено определение объема испарившегося бензина при заданной температуре 70, 100 и 180 °С. Введен показатель «индекс испаряемости». В ГОСТ Р 51105—97 наряду с отечественными включены международные стандарты на методы испытаний (ISO, EN, ASTM). Нормы и требования к качеству автомобильных бензинов и характеристики испаряемости по ГОСТ Р 51105—97 приведены в табл. 1.4 и 1.5.

С целью обеспечения Москвы и других регионов с высокой плотностью автомобильного транспорта экологически чистыми топливами разработан ряд технических условий на бензины автомобильные неэтилированные с улучшенными экологическими показателями: **«Городские»** (ТУ 38.401-58-171—96), **«ЯрМарка»** (ТУ 38.301-25-41—97) и др. ТУ 38.401-58-171—96 распространяются на автомобильные бензины, вырабатываемые ОАО «Московский НПЗ», ТУ 38.301-25-41—97 — на бензины, вырабатываемые ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез». По сравнению с ГОСТ Р 51105—97 в этих технических условиях установлены более жесткие нормы по содержанию бензола, предусмотрено нормирование ароматических углево-

1.4. Нормы и требования к качеству автомобильных бензинов по ГОСТ Р 51105—97

Показатели	Нормаль-80	Регуляр-91	Премиум-95	Супер-98	Метод испытания
Октановое число, не менее: моторный метод	76,0	82,5	85,0	88,0	По ГОСТ 511-82 или ASTM D 2700, ИСО 5163-90
исследовательский метод	80,0	91,0	95,0	98,0	По ГОСТ 8226-82 или ASTM D 2699-94, ИСО 5164-90
Содержание свинца, г/дм^3, не более	0,010				По ГОСТ 28828-90 или ASTM D 3237-90, EN 237
Содержание марганца, мг/дм^3, не более	50	18	-	-	По п. 7.2 ГОСТ Р 51105-97 и ASTM D 3831-94
Содержание фактических смол, мг/100 см^3, не более	5,0				По ГОСТ 1567-83 или ASTM D 381-94, EN 5
Индукционный период бензина, мин, не менее	360				По ГОСТ 4039-88 или ASTM D 525-95, ИСО 7536-94
Массовая доля серы, %, не более	0,05				По ГОСТ Р 50442-92 или ASTM D 1266-91, ASTM D 2622-94, ASTM D 4294-90, ИСО 8754-92
Объемная доля бензола, %, не более	5				По ГОСТ 29040-90 или ASTM D 4420-94, ASTM D 3606-92, ASTM 4053-91, EN 238
Испытание на медной пластине	Выдерживает, класс 1				По ГОСТ 6321-92 или ASTM D 130-94, ИСО 2160-85
Внешний вид	Чистый, прозрачный				По п. 7.3 ГОСТ Р 51105-97
Плотность при 15 °С, кг/м^3	700-750	725-780	725-780	725-780	По ГОСТ Р 51069-97 или ASTM D 1298-90, ASTM D 4052-91, ИСО 3675-93, ИСО 3838-83

Примечания. 1. Содержание марганца определяют только для бензинов с марганцевым антидетонатором (МЦТМ).

2. Автомобильные бензины, предназначенные для длительного хранения (5 лет) в Госрезерве и Министерстве обороны, должны иметь индукционный период не менее 1200 мин.

1.5. Характеристики испаряемости бензинов всех марок

Показатели	Класс					Метод испытания
	1	2	3	4	5	
Давление насыщенных паров бензина, кПа	35-70	45-80	55-90	60-95	80-100	По ГОСТ 1756-52 или ГОСТ 28781-90, ASTM D 323-94, ASTM D 4953-93, EN 12
Фракционный состав: температура начала перегонки, °С, не ниже	35	35	Не нормируется			По ГОСТ 2177-82 или ASTM D 86-95, ИСО 3405-88
пределы перегонки, °С, не выше: 10 %	75	70	65	60	55	
50 %	120	115	110	105	100	
90 %	190	185	180	170	160	
конец кипения, °С, не выше			215			
объемная доля остатка в колбе, %			2			
остаток и потери, %			4			
или						
объем испарившегося бензина, %, при температуре:						По ГОСТ 2177-82 или ASTM D 86-95, ИСО 3405-88
70 °С	10-45	15-45	15-47	15-50	15-50	
100 °С	35- 65	40-70	40-70	40-70	40-70	
180 °С, не менее	85	85	85	85	85	
Индекс испаряемости, не более	900	1000	1100	1200	1300	По п. 7.4 EN 228

дородов и добавление моющих присадок. Требования ТУ на бензины с улучшенными экологическими свойствами приведены в табл. 1.6.

По составу автомобильные бензины представляют собой смесь компонентов, получаемых в результате различных технологических процессов: прямой перегонки нефти, каталитического риформинга, каталитического крекинга и гидрокрекинга вакуумного газойля, изомеризации прямогонных фракций, алкилирования, ароматизации термического крекинга, висбрекинга, замедленного коксования. Компонентный состав бензина зависит, в основном, от его марки и определяется набором технологических установок на нефтеперерабатывающем заводе.

Базовым компонентом для выработки автомобильных бензинов являются обычно бензины каталитического риформинга или каталитического крекинга. Бензины каталитического риформинга характеризу-

1.6. Характеристики бензинов с улучшенными экологическими показателями

Показатели	АИ-80ЭК	АИ-92ЭК	АИ-95ЭК	АИ-98ЭК	ЯрМарка 92 Е	ЯрМарка 95 Е
	ТУ 38.401-58-171-96				ТУ 38.301-25-41-97	
Октановое число, не менее, по методу: моторному	76,0	83,0	85,0	88,0	83,0	85,0
исследовательскому	80,0	92,0	95,0	98,0	92,0	95,0
Содержание свинца, г/дм³, не более	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Фракционный состав: объем испарившегося бензина, %, при температуре:						
70 °С	10-50	15-50	15-50	15-50	15-50	15-50
100 °С	35-70	40-70	40-70	40-70	40-70	40-70
180 °С	>85	>85	>85	>85	>85	>85
конец кипения бензина, °С, не выше	215	215	215	215	215	215
остаток в колбе, % (об.), не более	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Давление насыщенных паров бензина, кПа: летний период с 1 апреля по 1 октября	35-70	35-70	35-70	35-70	35-70	35-70
зимний период с 1 октября по 1 апреля	-	-	-	-	60-100	60-100
Индекс паровой пробки, не более: летний период	950	950	950	950	950	950
зимний период	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Содержание фактических смол, мг/100 см³, на месте производства, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Объемная доля, %, не более: ароматических углеводородов	-	-	-	-	45	45

1.6. Характеристики бензинов с улучшенными экологическими показателями (продолжение)

Показатели	АИ-80ЭК	АИ-92ЭК	АИ-95ЭК	АИ-98ЭК	ЯрМарка 92 Е	ЯрМарка 95 Е
	ТУ 38.401-58-171-96				ТУ 38.301-25-41-97	
в том числе бензола	3	3	5	5	3	3
Индукционный период бензина на месте производства, мин, не менее	360	360	360	360	360	360
Массовая доля серы, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	780	780	780	780	780	780

Примечание. Для бензинов всех марок: испытание на медной пластинке — выдерживает; содержание высокорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды — отсутствие.

ются низким содержанием серы, в их составе практически отсутствуют олефины, поэтому они высокостабильны при хранении. Однако повышенное содержание в них ароматических углеводородов с экологической точки зрения является лимитирующим фактором. К их недостаткам также относится неравномерность распределения детонационной стойкости по фракциям. В составе бензинового фонда России (табл. 1.7) доля компонента каталитического риформинга превышает 50 %.

1.7. Компонентный состав бензинового фонда, % (об.)

Компонент	США	Западная Европа	Россия
Бутаны	5,5	5,7	5,7
Бензин каталитического риформинга	34,6	46,9	52,8
Бензин каталитического крекинга	36,1	27,1	9,6
Изомеризат	4,7	5,0	1,5
Алкилат	13,0	5,9	0,3
Прямогонный бензин	4,0	7,6	25,2
Бензин коксования	-	-	4,9
Оксигенаты	2,1	1,8	0,2

Примечание. Общий бензиновый фонд, млн.т/год: Россия — 30; США — 325; Западная Европа — 125.

Бензины каталитического крекинга характеризуются низкой массовой долей серы, октановыми числами по исследовательскому методу 90–93 единицы. Содержание в них ароматических углеводородов составляет 30–40 %, олефиновых — 25–35 %. В их составе практически отсутствуют диеновые углеводороды, поэтому они обладают относительно высокой химической стабильностью (индукционный период 800–900 мин.). По сравнению с бензинами каталитического риформинга для бензинов каталитического крекинга характерно более равномерное распределение детонационной стойкости по фракциям. Поэтому в качестве базы для производства автомобильных бензинов целесообразно использовать смесь компонентов каталитического риформинга и каталитического крекинга.

Бензины таких термических процессов, как крекинг, замедленное коксование имеют низкую детонационную стойкость и химическую стабильность, высокое содержание серы и используются только для получения низкооктановых бензинов в ограниченных количествах.

При производстве высокооктановых бензинов используются алкилбензин, изооктан, изопентан и толуол. Бензины АИ-95 и АИ-98 обычно получают с добавлением кислородсодержащих компонентов: метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) или его смеси с трет-бутанолом, получившей название фэтерол. Введение МТБЭ в бензин позволяет повысить полноту его сгорания и равномерность распределения детонационной стойкости по фракциям. Максимально допустимая концентрация МТБЭ в бензинах составляет 15 % из-за его относительно низкой теплоты сгорания и высокой агрессивности по отношению к резинам.

Физико-химические свойства компонентов, используемых для приготовления товарных автобензинов, приведены в табл. 1.8.

Для достижения требуемого уровня детонационных свойств этилированных бензинов к ним добавляют этиловую жидкость (до 0,15 г свинца/дм³ бензина). К бензинам вторичных процессов, содержащим непредельные углеводороды, для их стабилизации и обеспечения требований по индукционному периоду разрешается добавлять антиокислители Агидол-1 или Агидол-12. В целях обеспечения безопасности в обращении и маркировки этилированные бензины должны быть окрашены. Бензин А-76 окрашивается в желтый цвет жирорастворимым желтым красителем К, бензин АИ-91 — в оранжево-красный цвет жирорастворимым темно-красным красителем Ж. Этилированные бензины, предназначенные для экспорта, не окрашиваются.

Примерные компонентные составы автомобильных бензинов различных марок приведены в табл. 1.9.

1.8. Характеристики компонентов товарных автомобильных бензинов

Показатели	Бензин каталитического риформинга жесткого режима	Бензин каталитического крекинга Г-43-107	Алкилбензин	Ксилольная фракция
Детонационная стойкость:				
октановое число по методу:				
исследовательскому	91-99	91-93	91-94	100-108
моторному	82-90	80-82	90-93	90-99
Фракционный состав:				
температура начала перегонки бензина, °С	35-50	30-45	30-45	100-110
пределы перегонки, °С:				
10 %	60-70	52-75	66-75	120-126
50 %	110-120	97-120	105-110	130-140
90 %	160-180	165-185	115-130	150-160
конец кипения бензина, °С	195-215	205-215	170-190	175-205
Массовая доля серы, %	0,01-0,02	0,03-0,08	0,005-0,02	-
Испытание на медной пластинке	Выдерживает			
Плотность при 20 °С, кг/м³	770-780	725-750	690-700	835-850

1.9. Средние компонентные составы автомобильных бензинов

Компонент	А-76 (А-80)	А-76*	АИ-91	А-92	А-92*	АИ-95	АИ-98
Бензин каталитического риформинга:							
мягкого режима	40-80	70-60	60-90	60-88	50-100	-	-
жесткого режима	-	-	40-100	40-100	10-40	45-90	25-88
Ксилольная фракция	-	-	10-20	10-30	-	20-40	20-40
Бензин каталитического крекинга	20-60	10-60	10-85	10-85	10-85	10-50	10-20
Бензин прямой перегонки	20-60	40-100	10-20	10-20	10-80	-	-
Алкилбензин	-	-	5-20	5-20	-	10-35	15-50
Бутаны+изопентан	1-7	1-5	1-10	1-10	1-7	1-10	1-10
Газовый бензин	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	-	-
Толуол	-	-	0-7	0-10	-	8-15	10-15
Бензин коксования	1-5	5-10	-	-	-	-	-
Гидростабилизированный бензин пиролиза	10-35	10-20	10-30	10-30	10-30	10-20	10-20
МТБЭ	≤8	-	5-12	5-12	-	10-15	10-15

* Этилированный.

Ассортимент, качество и состав авиационных бензинов

Авиационные бензины предназначены для применения в поршневых авиационных двигателях. В отличие от автомобильных двигателей, в авиационных используется в большинстве случаев принудительный впрыск топлива во впускную систему, что определяет некоторые особенности авиационных бензинов по сравнению с автомобильными. Более высокие требования к качеству авиационных бензинов определяются также жесткими условиями их применения. ГОСТ 1012—72 предусматривает две марки авиационных бензинов: **Б-91/115** и **Б-95/130.** Марка авиабензина означает его октановое число по моторному методу, указываемое в числителе, и сортность на богатой смеси — в знаменателе дроби. Бензин Б-91/115 предназначен для эксплуатации двигателей АШ-62ир, АИ-26В, М-14Б, М-14П и М-14В-26, а Б-95/130 — двигателей АШ-82Т и АШ-82В. В течение 1988—1992 гг. проведен большой комплекс исследований и испытаний, в результате чего разработан единый бензин **Б-92** без нормирования показателя «сортность на богатой смеси», вырабатываемый по ТУ 38.401-58-47—92. Как показали испытания, бензин Б-92 может применяться взамен бензина Б-91/115 в двигателях всех типов. Использование авиабензина Б-92 без нормирования показателя сортности позволяет наряду с обеспечением нормальной работы двигателей на всех режимах значительно расширить ресурсы авиабензинов и снизить содержание в них токсичного тетраэтилсвинца.

В России вырабатывают две марки авиабензинов: Б-91/115 и Б-92. Требования к качеству бензинов — Б-92, Б-91/115 и Б-95/130 приведены в табл. 1.10.

Разработаны технические условия на авиационные бензины марок **Б-100/130** и **Б-100/130 малоэтилированный** — ТУ 38.401-58-197—97. Установленные нормы к качеству указанных бензинов соответствуют требованиям ASTM D 910 и европейским спецификациям на бензины марок 100 и 100LL (табл. 1.11).

В связи с тем, что к авиационным бензинам предъявляются более жесткие требования, чем к автомобильным, в их состав входят компоненты ограниченного числа технологических процессов: прямой перегонки нефти, каталитического риформинга, алкилирования, ароматизации. В состав авиационных бензинов могут также входить продукты изомеризации прямогонных фракций. Продукты вторичных

1.10. Характеристики авиационных бензинов

Показатели	Б-95/130 ГОСТ 1012-72	Б-91/115 ГОСТ 1012-72	Б-92 ТУ 38.401-58-47-92	Б-70 ТУ 38. 101913-82
Содержание тетраэтилсвинца, г/1 кг бензина, не более	3,1	2,5	2,0	-
Детонационная стойкость:				
октановое число по моторному методу не менее,	95	91	91,5	70
сортность на богатой смеси, не менее	130	115	-	-
Удельная теплота сгорания низшая, Дж/кг (ккал/кг), не менее	$42947 \cdot 10^3$ (10250)	$42947 \cdot 10^3$ (10250)	$42737 \cdot 10^3$ (10200)	-
Фракционный состав:				
температура начала перегонки, °С, не ниже	40	40	40	40
перегоняется при температуре, °С, не выше:				
10 %	82	82	82	88
50 %	105	105	105	105
90 %	145	145	145	145
97,5 %	180	180	180	180
остаток, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5
Давление насыщенных паров, Па	33325-45422	29326-47988	29326-47988	47988
Кислотность, мг КОН/100 см³, не более	0,3	0,3	1,0	1,0
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-60	-60	-60	-60
Йодное число, г йода/100 г бензина, не более	6,0	2,0	2,0	2,0
Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более	35	35	Не нормируется. Определение обязательно	12-20
Содержание фактических смол, мг/100 см³ бензина, не более	4,0	3,0	3,0	2,0
Массовая доля серы, %, не более	0,03	0,03	0,05	0,05
Цвет	Желтый	Зеленый	Зеленый	Бесцветный
Массовая доля параоксидифениламина, %	0,002-0,005	0,002-0,005	-	-
Период стабильности, ч, не менее	12	12	8	-

Примечания. 1. Для бензинов всех марок: испытание на медной пластинке — выдерживает; содержание водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды — отсутствие; прозрачность — прозрачный; плотность при 20 °С, кг/м³ — не нормируется, определение обязательно.

2. Для авиационного бензина марки Б-91/115, получаемого на основе компонента каталитического крекинга, устанавливаются:

а) йодное число — 10 г йода/100 г бензина.

б) содержание фактических смол не более 4 мг/100 см³ бензина.

1.10. Характеристики авиационных бензинов (продолжение)

3. Для авиационных бензинов марок Б-95/130 и Б-91/115, выработанных из бакинских нефтей, допускается содержание параоксидифениламина 0,004-0,010 %, а на базе бензинов каталитического крекинга не менее 0,004 %.

4. С 1 мая по 1 октября нижний предел давления насыщенных паров авиационных бензинов не служит браковочным признаком, за исключением отгружаемых на длительное хранение.

5. Для авиационных бензинов, сдаваемых после длительного хранения (более 2 лет), допускаются отклонения при определении фракционного состава по ГОСТ 2177-82 для температуры перегонки 10 и 50 % на 2 °С и 90 % на 1 °С. Этилированные авиационные бензины после длительного хранения допускается сдавать с периодом стабильности не менее 2 ч.

6. Норма по показателю пункта 3 для бензинов с добавлением базового компонента крекинга должна быть не менее $43157 \cdot 10^3$ (10300) Дж/кг (ккал/кг).

7. По согласованию с потребителями допускается изготовлять авиационные бензины по показателю «период стабильности» с нормой не менее 8 ч.

процессов, содержащие олефиновые углеводороды, для получения авиационных бензинов не используются.

Компонентный состав авиационных бензинов зависит в основном от их марки и в меньшей степени, чем для автомобильных бензинов, определяется набором технологических установок на нефтеперерабатывающем заводе.

Базовым компонентом для выработки авиационных бензинов марок Б-92 и Б-91/115 обычно являются бензины каталитического риформинга. В качестве высокооктановых компонентов могут быть использованы алкилбензин, изооктан, изопентан и толуол.

Бензины каталитического риформинга обладают высокой детонационной стойкостью на богатых и бедных смесях. Чем больше суммарное содержание в бензине ароматических углеводородов, тем выше его сортность на богатой смеси.

Для обеспечения требований ГОСТ и ТУ по детонационной стойкости, теплоте сгорания, содержанию ароматических углеводородов к базовым бензинам добавляют изопарафиновые и ароматические компоненты — алкилбензин, изомеризат и толуол.

Физико-химические свойства компонентов, используемых для приготовления товарных авиабензинов, приведены в табл. 1.12.

В целях обеспечения требуемого уровня детонационных свойств к авиационным бензинам добавляют антидетонатор тетраэтилсвинец (от 1,0 до 3,1 г на 1 кг бензина) в виде этиловой жидкости. Для стабилизации этиловой жидкости при хранении авиабензинов добавляется антиокислитель 4-оксидифениламин или Агидол-1.

1.11. Показатели качества авиационного бензина Б-100/130 (ТУ 38.401-58-197–97)

Показатели	Б-100/130 и Б-100/130 малоэтилированный
Внешний вид	Прозрачный, не содержит механических примесей и воды
Детонационная стойкость:	
октановое число по моторному методу, не менее	100
сортность на богатой смеси, не менее	130
Содержание тетраэтилсвинца, г/кг бензина, не более	2,2*
Цвет	Голубой
Удельная теплота сгорания низшая, Дж/кг, не менее	$43000 \cdot 10^3$
Плотность при 15 °С, кг/м³	Не нормируется, определение обязательно
Фракционный состав:	
температура начала перегонки бензина, °С	Не нормируется, определение обязательно
перегоняется при температуре, °С:	
10 %	⩽75
40 %	⩾75
50 %	⩽105
90 %	⩽145
сумма температур перегонки 10 и 50 %, °С, не ниже	135
температура конца перегонки, °С, не выше	180
выход, %, не менее	97
остаток, % (об.), не более	1,5
потери, %, не более	1,5
Давление насыщенных паров, кПа	38-49
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-60
Массовая доля серы, %, не более	0,05
Испытание на медной пластинке	Выдерживает
Период стабильности, ч, не менее	12
Содержание фактических смол, мг/100 см³ бензина, не более	3
Взаимодействие с водой, баллы, не более:	
состояние поверхности раздела	1
состояние разделенных фаз	1
Кислотность, мг КОН/100 см³, не более	0,3
Электропроводимость, пСм/м, не более	450

* Содержание тетраэтилсвинца в бензине марки Б-100/130 малоэтилированном составляет 1,0 г/кг бензина

1.12. Характеристики компонентов авиационных бензинов

Показатели	Алкилбензин ТУ 38.101372–84	Толуол нефтяной ГОСТ 14710–78	Бензин каталитического риформинга	Прямогонный бензин
Внешний вид	Прозрачная бесцветная жидкость	Прозрачная жидкость без посторонних примесей и воды, не темнее раствора $K_2Cr_2O_7$ концентрации 0,003 г/дм³	Прозрачная бесцветная или бледно-желтая жидкость	
Детонационная стойкость, октановое число по моторному методу, не менее	91,5	-	73,5	70
Сортность на богатой смеси с добавлением 2,7 г ТЭС/кг	140	-	-	-
Фракционный состав:				
температура начала кипения, °С, не ниже	40	-	40	40
перегоняется при температуре, °С, не выше:				
10 %	75	-	82	75
50 %	105	-	105	105
90 %	130	-	149	145
97,5 %	180	-	180	180
остаток и потери в сумме, %, не более	2,5	-	-	-
остаток, %, не более	1,5	-	1,5	1,5
Пределы перегонки:				
98 % объема перегоняется в пределах температур, °С, не более	-	0,8	-	-
Массовая доля толуола, %, не менее	-	99,6	-	-
Массовая доля примесей, %, не более:	-	0,4	-	-
неароматических углеводородов	-	0,2	-	-
бензола	-	0,15	-	-
ароматических углеводородов C_8	-	0,05	-	-
Окраска серной кислоты, номер образцовой шкалы, не более	-	0,20	-	-
Давление насыщенных паров, кПа, не более	46,7	-	47,9	-
Кислотность, мг КОН/100 см³, не более	0,3	-	0,3	0,3
Йодное число, г I_2/100 г, не более	0,35	-	2,0	-
Содержание фактических смол, мг/100 см³, не более	2,0	-	3,0	3,0

1.12. Характеристики компонентов авиационных бензинов (продолжение)

Показатели	Алкилбензин ТУ 38.101372-84	Толуол нефтяной ГОСТ 14710-78	Бензин каталитического риформинга	Прямогонный бензин
Содержание, %:				
серы, не более	0,015	-	0,03	0,03
кислот и щелочей	Отсутствие	-	Отсутствие	
механических примесей и воды	Отсутствие	-	Отсутствие	
Реакция водной вытяжки	-	Нейтральная	-	-
Испаряемость	-	Испаряется без остатка	-	-
Испытание на медной пластинке	Выдерживает			
Плотность при 20 °С, кг/м³	Не нормируется	864-867	Не нормируется	734

Как и все этилированные топлива, для безопасности в обращении и маркировки, авиационные бензины должны быть окрашены. Бензины Б-91/115 и Б-92 окрашиваются в зеленый цвет красителями: жирорастворимым зеленым 6Ж или жирорастворимым зеленым антрахиноновым; Б-95/130 — в желтый цвет жирорастворимым желтым К; Б-100/130 — в голубой цвет органическим жирорастворимым ярко-синим антрахиноновым или 1,4-диалкиламино-антрахиноном.

Кроме описанных выше марок авиационных бензинов, которые применяются непосредственно для эксплуатации поршневых двигателей, вырабатывается неэтилированный бензин марки Б-70 (ТУ 38.101913–82). Показатели качества приведены в табл. 1.10. В настоящее время этот бензин используется, в основном, как бензин-растворитель.

Авиационный бензин Б-70 готовят на основе бензина прямой перегонки или рафинатов риформинга с добавлением высокооктановых компонентов.

Реактивные топлива

Современная авиация в основном оснащена воздушно-реактивными двигателями (ВРД). В этих двигателях топливо в камеру сгорания подается непрерывно, и вследствие этого процесс горения протекает постоянно. Лишь для запуска двигателя используют постороннее зажигание. Также непрерывно поступает в камеру сгорания ВРД и воздух

(требуемый для сжигания топлива), предварительно сжатый и нагретый в компрессоре. Газообразные продукты сгорания из камеры сгорания поступают в турбину, где часть тепловой энергии превращается в механическую работу вращения колеса турбины, от вала которого приводится в движение ротор компрессора, а также топливный и масляный насосы. После турбины продукты сгорания топлива в виде газового потока проходят реактивное сопло и, расширяясь в нем, создают реактивную силу тяги, с помощью которой и осуществляется полет самолета.

В ВРД топливо из баков самолета под небольшим давлением (0,02–0,03 МПа) подается подкачивающим насосом через систему фильтров тонкой очистки к основному топливному насосу-регулятору высокого давления (0,8–1,0 МПа). С помощью последнего топливо, проходя через форсунки, распыливается в камерах сгорания в нагретый и сильно завихренный воздушный поток, что обеспечивает увеличение поверхности испарения топлива и равномерное распределение его паров по всему объему камеры сгорания двигателя.

В турбореактивных двигателях топливо, проходя через топливо-масляный радиатор, снижает температуру смазочного масла, т.е. выполняет функцию охлаждающей среды. Помимо этого, топливо используют и для смазывания деталей трения топливных насосов. Кроме того, изменяя подачу топлива с помощью топливорегулирующей аппаратуры, регулируют скорость полета самолета.

Основные свойства реактивных топлив:

хорошая испаряемость для обеспечения полноты сгорания;

высокие полнота и теплота сгорания, предопределяющие дальность полета самолета;

хорошие прокачиваемость и низкотемпературные свойства для обеспечения подачи топлива в камеру сгорания;

низкая склонность к образованию отложений, характеризуемая высокой химической и термоокислительной стабильностью;

хорошая совместимость с материалами: низкие противокоррозионные свойства по отношению к металлам и отсутствие воздействия на резиновые технические изделия;

хорошие противоизносные свойства, обусловливающие небольшое изнашивание деталей топливной аппаратуры;

антистатические свойства, препятствующие накоплению зарядов статического электричества, что обеспечивает пожаробезопасность при заправке летательных аппаратов.

1 НЕФТЯНЫЕ ТОПЛИВА

Свойства

Испаряемость. Испаряемость — одно из важнейших свойств реактивных топлив. Она влияет на пределы устойчивого горения топлива, полноту сгорания, нагарообразование в камере сгорания двигателя, бесперебойную работу топливных насосов и склонность к образованию паровых пробок в топливной системе самолетов в условиях высотных полетов. От испаряемости топлив зависят запуск двигателя и потери топлива от испарения при полетах на больших высотах. Реактивные топлива имеют более широкий диапазон температур выкипания, чем топлива другого назначения. Для ВРД используют топлива различного фракционного состава: для дозвуковой авиации — типа керосина с пределами выкипания от 136–156 до 250–280 °С (топлива ТС-1, РТ, Т-1) и широкого фракционного состава (60–280 °С), представляющее собой бензино-керосиновую фракцию (топливо Т-2), и для сверхзвуковой авиации — топлива Т-8В, выкипающее при температуре от 165 до 280 °С, и Т-6, выкипающее при температуре от 195 до 315 °С.

Снижение степени влияния испаряемости реактивных топлив на работу двигателя достигается чисто конструктивными мерами, что позволяет использовать на реактивных двигателях топлива, различные по испаряемости. При этом температура начала кипения топлива характеризует его склонность к образованию паровых пробок в топливной системе и пусковые свойства; температура выкипания 10 % (об.) — пусковые свойства, а 98 % (об.) — полноту испарения, определяющую полноту сгорания топлива.

Учитывая аэродинамический нагрев топлива в баках самолета, имеющий место при сверхзвуковом полете, во избежание образования паровых пробок в топливной системе регламентируются более высокие значения температуры начала кипения топлив, предназначенных для сверхзвуковых самолетов.

Полнота и теплота сгорания реактивных топлив. С понижением полноты сгорания топлива склонность его к нагарообразованию в двигателе возрастает. Нагар отлагается на сопле форсунки, на стенках камеры сгорания, на лопатках турбины. Нагарообразование в двигателе крайне нежелательно. Отложения нагара на форсунках изменяют форму струи распыливаемого топлива, вследствие чего ухудшаются условия его распыливания и испарения, а также нарушается распределение температур вдоль пространства сгорания. Нагарообразование на лопатках турбины вызывает их децентрирование и выход из строя. Частицы

нагара, отделяясь от стенок камеры сгорания и, попадая вместе с газами на лопатки турбины, вызывают их эрозию.

Наличие в пламени сажистых частиц (продуктов неполного сгорания топлива) вызывает его свечение, что связано с излучением тепла пламенем, приводящим к повышению температуры стенок камеры сгорания, их местному короблению и прогару.

Показателями, характеризующими горение реактивных топлив, являются высота некоптящего пламени и люминометрическое число. Кроме того, склонность реактивных топлив к нагарообразованию в двигателе и свечению пламени оценивают по содержанию в них ароматических углеводородов.

Комплексом методов квалификационной оценки реактивных топлив предусмотрено определение их склонности к нагарообразованию на однокамерной установке. С повышением высоты H некоптящего пламени склонность топлива к нагарообразованию снижается:

H, мм	12	18	21	23	26	30	43
Масса нагара в двигателе, г	7,5	4,8	3,2	1,8	1,6	0,5	0,4

Значения люминометрического числа реактивных топлив и высота некоптящего пламени зависят от их углеводородного и фракционного составов. Наиболее низкие значения этих показателей имеют нафталиновые, нафтено-ароматические и моноциклические ароматические углеводороды, а наиболее высокие, снижающиеся с увеличением молекулярной массы и разветвлением молекулы, — парафиновые. Склонность реактивных топлив к нагарообразованию в значительной мере определяется конструкцией камеры сгорания двигателя.

Удельный расход топлива в реактивных двигателях определяет дальность полета самолета. Он снижается с увеличением полноты сгорания топлива, а также с повышением низшей теплоты его сгорания.

Для различных условий эксплуатации самолетов более важное значение имеет массовая, либо объемная теплота сгорания. Так, поскольку объем топливных баков для самолетов с дозвуковой скоростью полетов строго не ограничен, основное значение имеет массовая теплота сгорания. В сверхзвуковых самолетах, где объем топливных баков жестко лимитирован, превалирующее значение приобретает объемная теплота сгорания. Для всех марок реактивных топлив стандартами и техническими условиями регламентируется массовая теплота сгорания. Значения объемной теплоты сгорания топлива регламентируют косвенно, так как она равна произведению массовой

4 — 2538

1.13. Низшая теплота сгорания углеводородов реактивных топлив, $Q_н^р \cdot 10^{-3}$

Пределы выкипания фракций, °С	Парафиновые углеводороды		Нафтеновые углеводороды		Моноциклические ароматические углеводороды	
	кДж/кг	кДж/л	кДж/кг	кДж/л	кДж/кг	кДж/л
100-150	45,1-43,8	33,2-32,3	43,3-41,8	35,5-31,05	41,6-41,1	35,6-34,3
150-200	44,8-43,9	34,15-31,9	43,5-42,3	36,0-32,2	41,9-40,4	37,5-34,7
200-250	44,6-43,8	35,8-33,7	43,7-42,3	36,3-31,9	41,6-41,3	38,0-36,0
250-300	43,8-43,05	34,6-34,4	43,2-42,3	37,0-32,9	41,8-40,9	39,1-36,2

теплоты сгорания топлива на его плотность. Для топлив, предназначенных для сверхзвуковых самолетов, необходимо иметь более высокие значения объемной теплоты сгорания. Поэтому плотность таких топлив устанавливается на более высоком уровне, чем топлив для самолетов с дозвуковой скоростью полета.

Теплота сгорания топлив определяется углеводородным составом (табл. 1.13). Массовая теплота сгорания обусловливается соотношением водорода и углерода (H/C): наибольшее для парафиновых и наименьшее для ароматических углеводородов.

Объемная теплота сгорания углеводородов зависит от их массовой теплоты сгорания и плотности. Ароматические углеводороды имеют наиболее высокие значения плотности, особенно нафталиновые, их объемная теплота сгорания существенно выше, чем нафтеновых и парафиновых углеводородов.

Влияние массовой (кДж/кг) и объемной (кДж/л) теплот сгорания реактивных топлив на относительную дальность полета самолета иллюстрируют данные, приведенные в табл. 1.14 (за 100 % принята дальность полета на топливе Т-1, образец 1).

Прокачиваемость — способность бесперебойной подачи топлива в строго определенном объеме. Прокачиваемость реактивных топлив при их перекачках и заправке самолетов, а также прохождение по топливной системе самолета и двигателя, включая фильтруемость через

1.14. Влияние низшей теплоты сгорания на дальность полета

Марка топлива	Плотность, кг/м³	Теплота сгорания		Дальность полета, %
		10^{-3} кДж/кг	10^{-3} кДж/л	
Т-1:				
образец 1	810	42,8	35,5	100
образец 2	800	42,8	34,2	98,8
ТС-1	775	42,8	33,2	95,6

фильтры, определяется в основном вязкостью топлив, наличием в них примесей и воды, образованием паровых пробок в топливной системе самолета (см. выше).

При положительных температурах вязкость реактивных топлив не лимитирует их прокачиваемость. При охлаждении вязкость топлив возрастает и может достичь значений, при которых нормальная заправка самолетов топливом и его подача в двигатель могут быть нарушены. Прокачка высоковязких топлив по топливной системе самолета и двигателя сопровождается высокими гидравлическими потерями, уменьшением подачи подкачивающих топливных насосов, нарушением нормальной работы топливорегулирующей аппаратуры, снижением давления впрыска топлива и ухудшением качества его распыливания в камере сгорания, т.е. снижением полноты сгорания.

Отрицательные последствия высокой вязкости топлива проявляются не только для топлив, предназначенных для дозвуковой авиации, но и для топлив сверхзвуковых самолетов при перекачках и заправке, в условиях взлета и набора высоты, а также в тех случаях, когда температура топлива не успевает повыситься, например, при аэродинамическом нагреве фюзеляжа самолета при сверхзвуковом полете.

Так как конструктивное оформление топливных систем самолетов и двигателей различно, их нормальная работа может лимитироваться разными значениями вязкости топлива. Как правило, вязкость реактивных топлив регламентируют при двух температурах: +20 и -40 °С. Для всех реактивных топлив, кроме топлива Т-6, во избежание повышенного износа топливной аппаратуры, ограничивают нижний предел вязкости при 20 °С.

В виде твердой фазы в топливах могут содержаться механические примеси, представляющие собой продукты коррозионного воздействия топлив на конструкционные материалы, или твердые вещества, образующиеся при окислении нагретого топлива.

При низкой температуре в топливе могут содержаться кристаллы льда или может наблюдаться выпадение кристаллов углеводородов из топлив при их охлаждении; что обусловлено ограниченной растворимостью в топливах н-парафиновых углеводородов. Наличие твердой фазы в топливе отражается прежде всего на его фильтруемости, определяемой как размерами частиц твердой фазы, так и величиной пор фильтрующего элемента и конструкцией фильтра.

Температура, при которой из реактивных топлив выделяются кристаллы н-парафиновых углеводородов — *температура начала*

кристаллизации — зависит от содержания и температуры плавления н-парафиновых углеводородов.

Реактивные топлива, получаемые из нефтей парафинового основания и содержащие в связи с этим повышенное количество н-парафиновых углеводородов по сравнению с топливами, вырабатываемыми из нефтей нафтенового основания, при одинаковом фракционном составе имеют более высокую температуру начала кристаллизации. Этим обстоятельством, прежде всего, и объясняется более низкая температура конца кипения топлива ТС-1 (не выше 250 °С), получаемого, как правило, из сернистых парафинистых нефтей.

Максимально допустимая температура начала кристаллизации реактивных топлив обусловлена условиями их применения и конструкцией топливной системы самолетов. На самолетах с дозвуковой скоростью полета топливо охлаждается во время полета, и степень охлаждения зависит от исходной температуры топлива, длительности и высоты полета (температуры окружающей среды), а также от места расположения топливных баков (фюзеляжные, крыльевые или консольные, подвесные).

При заправке самолетов топливом, имеющим температуру в пределах -5...+17 °С, после 5-часового полета самолета температура топлива снижалась максимум до -35 °С. Более низкие значения минимальной температуры топлива были зафиксированы при полетах самолетов ИЛ-62М и ТУ-154 на внутрисоюзных линиях — -42 °С в расходном баке самолета ТУ-154 и -48 °С в расходных баках, питающих крайние двигатели самолета ИЛ-62М. Температура топлив, предназначенных для сверхзвуковых самолетов, в полете повышается, и только при их заправке, а также при взлете и наборе высоты она равна температуре окружающей среды.

Кристаллы льда могут образовываться в реактивных топливах при отрицательных температурах в результате замерзания воды, присутствующей в топливе в эмульсионном или растворенном состоянии, либо конденсирующейся из воздуха на поверхности топлива. Кристаллы льда могут также попадать в топливо извне в виде инея, осыпающегося со стенок резервуаров и баков самолета. При подаче топлива по топливной системе самолета кристаллы льда задерживаются на топливном фильтре и, накапливаясь, вначале частично, а затем полностью забивают его, и подача топлива в камеру сгорания нарушается или прекращается. Забивка фильтров кристаллами льда зависит от содержания воды в топливе и размера пор самолетных фильтров:

Размер пор фильтров, мкм	12-16	20-30	40-50	100
Содержание H_2O, при котором фильтры забиваются кристаллами льда, % (мас. доля)	0,0020	0,0035	0,0065	0,0100

Растворимость воды в топливах зависит от их углеводородного и фракционного состава и от температуры. Наибольшую растворимость имеют ароматические углеводороды и наименьшую — парафиновые; с увеличением молекулярной массы углеводородов растворимость воды в них понижается и наиболее интенсивно в ароматических углеводородах. С повышением температуры топлив растворимость воды в них возрастает и тем в большей степени, чем выше температура топлива. Для предотвращения образования кристаллов льда в процессе эксплуатации самолета применяют антиводокристаллизационные присадки.

Механические примеси или микрозагрязнения в реактивных топливах в условиях эксплуатации авиационной техники могут засорять и заклинивать прецизионные пары топливорегулирующей аппаратуры, забивать топливные фильтры и форсунки, способствовать увеличению отложений в агрегатах топливных систем, повышать абразивный износ деталей топливных агрегатов, усиливать коррозию топливного оборудования, оказывать каталитическое воздействие на окисление топлива в зонах повышенных температур, способствовать накоплению статического электричества при перекачках и фильтровании топлива.

Загрязнение топлива механическими примесями может иметь место на нефтеперерабатывающих предприятиях (примеси, попадающие из нефти в процессе ее переработки, продукты коррозии оборудования), при транспортировании (продукты коррозии стенок железнодорожных цистерн, загрязнения, попадающие в цистерны из воздуха при наливе и сливе топлива), на аэродромных складах горючего.

Состав механических примесей в топливах непостоянен и определяется источниками загрязнений. В состав неорганической части (62—74 %) входят продукты коррозии и износа (Fe, Sn, Cu, Ti, Mn, Cd), почвенная пыль, в которой присутствуют Si, Ca, Mg, Al и Na. Органическая часть загрязнений (22—30 %) состоит из смолистых веществ, твердых продуктов окисления топлив, ингредиентов резиновых технических изделий и герметиков и в основном содержит углерод, кислород и водород. Механические примеси включают до 4—8 % воды. Для удаления воды и загрязнений топлива фильтруют на нефтеперерабатывающих предприятиях, в аэродромных условиях и в топливной системе самолетов.

Склонность к образованию отложений. Отложения в реактивных топливах — это продукты различного характера, образующиеся в результате окислительных процессов, которые протекают в топливе при разных температурах. В реактивных топливах практически нет непредельных углеводородов, и склонность их к окислению при температуре окружающей среды, имеющей место при длительном хранении топлив, или их химическая стабильность обусловливается степенью окисления углеводородов других классов, а также наличием в них гетероатомных соединений (серу-, кислород- и азотсодержащих). Склонность топлив к окислению при повышенных температурах с образованием таких продуктов, прежде всего осадков, характеризуется термоокислительной стабильностью*.

Термоокислительная стабильность прямогонных реактивных топлив улучшается при удалении из них гетероатомных соединений в результате гидроочистки. Однако при гидроочистке из топлива удаляется не только основная масса соединений серы (меркаптаны — полностью), но и природные антиоксиданты, в результате химическая стабильность топлива ухудшается: повышается склонность его к окислению в условиях хранения и при повышенных температурах. Степень окисления гидроочищенных топлив определяется их углеводородным составом; наиболее склонны к окислению нафтено-ароматические углеводороды и углеводороды с третичным атомом углерода в молекуле. Первичными продуктами окисления, как правило, являются гидропероксиды, которые быстро, особенно при повышенных температурах, подвергаются дальнейшему окислению с образованием растворимых в топливе кислородсодержащих соединений нейтрального и кислотного характера.

Несмотря на то, что при окислении реактивных топлив, полученных гидрогенизационными процессами, твердые осадки не образуются, длительному хранению и применению такие топлива (без присадок) не подлежат. Это связано с тем, что образующиеся гидропероксиды разрушают резиновые технические изделия и герметики, используемые в топливной системе самолетов, а кислотные продукты корродируют конструкционные материалы.

* Используемый в стандартах на реактивные топлива термин «термическая стабильность» является условным, так как при отсутствии кислорода топлива при температурах до 200–250 °С разложению не подвергаются.

Оценивают термоокислительную стабильность реактивных топлив в статических и динамических условиях. В комплексе методов квалификационной оценки для топлив ТС-1 и Т-1 установлены менее жесткие по сравнению с топливами РТ, Т-8В и Т-6 нормы по термоокислительной стабильности, определяемой как в статических условиях (масса осадка, прибор ТСРТ-2, ГОСТ 11802–88), так и в динамических (перепад давления на фильтре и отложения на трубке, установка ДТС-1, ГОСТ 17751–79).

Косвенным показателем, характеризующим термоокислительную стабильность реактивных топлив, является содержание в них фактических смол (по массе остатка в стаканчике после испарения топлива в струе воздуха или водяного пара). В зависимости от марки топлива оно не должно превышать 3–6 мг/100 см³.

Окисление топлив при повышенных температурах ускоряется вследствие каталитического воздействия металлов и сплавов, применяемых для изготовления топливных агрегатов, особенно меди, бронзы и латуни. Наиболее «опасная» температурная зона, в пределах которой масса осадков, образующихся при окислении топлив, и скорость забивки ими фильтров максимальные — от 140 до 190 °С (рис. 1.1).

Совместимость с материалами. Реактивные топлива при их хранении, транспортировании и применении могут корродировать материалы (металлы и сплавы), воздействовать на резиновые технические изделия и герметики, применяемые в топливной системе самолетов. Коррозионное воздействие на стенки камеры сгорания и лопатки газовой турбины или газовую коррозию способны оказывать и продукты сгорания реактивных топлив.

Коррозионная агрессивность топлива зависит от характера и количества гетероатомных соединений, в том числе серусодержащих, температуры и продолжительности контакта топлива с материалами.

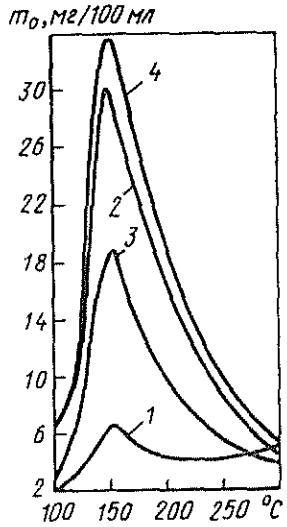

Рис. 1.1. Зависимость термоокислительной стабильности (по массе осадка m_0 при окислении в бомбе) реактивных топлив от температуры: *1* — ТС-1; *2* — Т-1; *3* и *4* — соответственно ТС-1 и Т-1 в присутствии бронзы

Влияние свободной серы и меркаптанов на коррозионную агрессивность реактивных топлив при 120 °С иллюстрируется следующими данными:

Топливо	ТС-1		Т-2
Содержание серы/меркаптанов, %	0,001/0,002	0,001/0,003	0,004/0,002	0,004/0,003
Коррозия бронзы ВБ-23НЦ, г/м²	0,5	0,8	7,2	6,5

Наибольшему коррозионному воздействию меркаптанов подвергаются медь и ее сплавы. С повышением температуры коррозионная агрессивность меркаптанов возрастает. Ввиду высокой коррозионной агрессивности меркаптанов их содержание в реактивных топливах строго ограничивается.

Под влиянием органических кислот, содержащихся в топливах, в большей степени корродируют медь и ее сплавы, затем цинк, магний и низколегированные стали. Алюминий и дюралюминий кислотной коррозии не подвергаются.

Электрохимическая коррозия материалов реактивными топливами имеет место при наличии в них нерастворенной или эмульсионной воды, выпадающей из топлива при его охлаждении.

Электрохимическая коррозия стенок и днища резервуаров и выполненных из стали деталей топливных агрегатов проявляется в виде отдельных пятен ржавчины, местных потемнений и незначительных по глубине очагов. Коррозия сталей сопровождается образованием мелкодисперсных коричневых частиц, состоящих в основном из гидроксида железа. Эти твердые частицы находятся во взвешенном состоянии, но, оседая, могут забить фильтры и топливные агрегаты, а также заклинить плунжерные пары топливных насосов.

Наличие в реактивном топливе эмульсионной воды при повышенных температурах (40—50 °С) является также причиной биохимической коррозии, обусловленной присутствием в топливе микроорганизмов. Максимальный рост микроорганизмов, как правило, наблюдается на поверхности раздела воды и топлива. Наиболее характерна биохимическая коррозия для топливных отсеков, на стенках которых обнаруживается коричневый слизистый осадок, представляющий собой микрозагрязнения топлив, воду и бактерии. При этом наблюдается разрушение полимерных защитных покрытий топливных отсеков и питтинговая коррозия на поверхности алюминия, иногда настолько глубокая, что топливо просачивается и обнаруживается на поверхности крыла.

Газовая коррозия, химическая по характеру, обусловлена наличием в продуктах сгорания топлива диоксида серы и оксидов ванадия, молибдена и натрия.

Скорость газовой коррозии и температура, при которой она начинается, зависят от содержания серы в топливе:

Содержание серы в топливе, %	0,01	0,015	0,07	0,13	0,1
Скорость коррозии, г/(м²·ч)	0,75	1,25	2,10	4,90	4,90
Температура начала коррозии, °С	1040	1030	1015	965	960

Наличие ванадия в реактивном топливе приводит к газовой коррозии лопаток турбины.

Соединения натрия могут попадать в топливо вследствие недостаточной промывки его водой после щелочной очистки, применяемой в отдельных случаях для снижения кислотности топлива или удаления из него сероводорода. Присутствие соединений ванадия возможно в топливах, полученных прямой перегонкой нефти; соединения молибдена, а также кобальта, никеля и цинка могут попасть в реактивные топлива, прошедшие обработку в присутствии катализаторов, содержащих эти элементы. В комплексе методов квалификационной оценки реактивных топлив предусмотрено спектральное определение перечисленных элементов и установлено предельно допустимое их содержание (не более 10^{-5} %).

Воздействие реактивных топлив на резиновые технические изделия, применяемые в топливной системе самолетов и двигателей (манжеты, втулки, прокладки и др.), и герметики, приводящее к их старению (потеря эластичности и формы, появление трещин и выкрашивание), отмечается в присутствии гидропероксидов — продуктов окисления топлив. Антиокислители, присутствующие в гидрогенизационных топливах предотвращают окислительные процессы в топливах, тем самым и воздействие их на резиновые технические изделия и герметики. Можно применять более стойкие к окислению резины. В соответствии с комплексом методов квалификационной оценки степень воздействия топлива на резиновые технические изделия и тиоколовые герметики оценивают по пределу прочности и относительному удлинению резины, ее работоспособности, а также изменению твердости герметика.

Противоизносные свойства. В процессе эксплуатации реактивных двигателей возможен повышенный износ деталей и узлов агрегатов топливной аппаратуры, связанный с трением, абразивным воздействием топливной среды и кавитацией.

Повышенный износ деталей топливных насосов-регуляторов (качающего узла и регулирующей части) увеличивает зазор в прецизионных парах и приводит к утечке топлива через зазоры, при этом

снижается подача насосов и изменяется режим работы двигателя. Износ сфер плунжеров топливных насосов-регуляторов плунжерного типа, установленных на двигателях большинства типов самолетов, — наиболее характерный дефект. Поверхность сфер срабатывается вплоть до образования заусенцев на краях поверхности плунжера и скалываний. Чрезмерный износ сфер плунжеров приводит к снижению максимальной подачи насоса, неравномерности подачи топлива и дополнительным нагрузкам, сокращающим срок службы насоса-регулятора.

Износ поверхностей трения деталей и узлов агрегатов топливной аппаратуры предотвращается при надежной смазке, осуществляемой самим топливом. В связи с этим топливо должно обладать хорошими смазывающими, или противоизносными свойствами, обеспечивающими длительный ресурс топливной аппаратуры реактивных двигателей.

Противоизносные свойства предусмотрено контролировать комплексом методов квалификационной оценки.

Оценивают противоизносные свойства на модельных установках: на лабораторном стенде с узлом трения на основе насоса-регулятора НР-21Ф-2 (для топлив всех марок), на приборах УПС-01 и ПСГ-2 и на стенде СИССТ-1 (только для гидрогенизационных топлив).

Противоизносные свойства реактивных топлив зависят от вязкости топлив, содержания в них меркаптанов и обусловливаются наличием поверхностно-активных веществ, способных адсорбироваться на поверхности пар трения, предотвращая их износ.

Вязкость реактивных топлив в пределах 1,26–1,98 мм²/с (при 20 °С) практически не влияет на их противоизносные свойства, при вязкости менее 1,26 мм²/с (при 20 °С) противоизносные свойства топлива заметно ухудшаются.

Хорошие противоизносные свойства реактивных топлив обусловливаются, прежде всего, наличием в них гетероатомных соединений, часть которых, особенно соединения кислотного характера, обладает поверхностно-активными свойствами. С этой точки зрения нежелательно удаление из топлива гетероатомных соединений. Однако последние при повышенных температурах (≥100 °С) легко окисляются с образованием осадков, т.е. являются основной причиной низкой термоокислительной стабильности реактивных топлив, получаемых прямой перегонкой нефти. Для ее улучшения, а часто и для обессеривания прямогонные топлива подвергают гидроочистке. В результате ухудшаются их противоизносные свойства и химическая стабильность (табл. 1.15).

1.15. Влияние гидроочистки топлив на их противоизносные свойства (по междуведомственному методу)

Номер образца топлива	Износ плунжера, мм	Вязкость, мм²/с	Объемная доля, %				
			углеводородов			меркаптанов	серы общей
			нафтеновых	парафиновых	ароматических		
Топливо ТС-1							
1	0,47	1,39	28,3	57,3	14,4	0,0010	0,080
2	0,43	1,34	40,8	43,3	15,9	0,0023	0,038
3	0,44	1,38	39,1	45,9	15,0	0,0030	0,060
4	0,43	1,34	46,9	41,6	11,5	0,0060	0,020
Топливо ТС-1 гидроочищенное							
1	0,76	1,27	21,7	56,3	16,0	0,0002	0,001
2	0,57	1,32	-	-	-	0,0002	0,001

Поэтому прямогонные топлива ТС-1 имеют лучшие противоизносные свойства, чем гидроочищенные (при гидроочистке не только удаляется значительная часть гетероатомных соединений, но изменяется их структура, в результате чего их поверхностно-активные свойства менее выражены). Топливо РТ содержит 0,003 % присадки «К», вводимой в гидрогенизационные топлива для улучшения их противоизносных свойств.

В трибохимических процессах участвует кислород, растворенный в топливе и содержащийся в гетероциклических соединениях. Увеличение содержания растворенного в топливе кислорода усиливает интенсивность окисления поверхностей трения, что приводит к увеличению их износа. Закономерное улучшение противоизносных свойств топлив при их деаэрации или азотировании подтверждается результатами испытаний топлив на насосах НР-21Ф2 по междуведомственному методу (табл. 1.16).

С увеличением высоты полета массовое содержание растворенного кислорода снижается, и противоизносные свойства топлив улучшаются.

1.16. Результаты испытаний топлив

Показатели	Т-7	Т-7 азотированное	
Содержание кислорода, % (об.)	4,4	1,0-1,4	0,4-0,6
Износ плунжера, мм	0,76	0,49	0,15
Износ наклонной шайбы, мм	0,17	0,17	0,025

Однако в мировой практике эффективное улучшение противоизносных свойств топлив достигается применением специальных присадок.

Электрические свойства топлива определяют пожаробезопасность процесса заправки им топливозаправщиков и летательных аппаратов и работу топливоизмерительной аппаратуры.

Случаи взрывов и пожаров, возникающих при эксплуатации авиационной техники из-за разрядов статического электричества, зарегистрированы как в России, так и за рубежом.

В связи с тем, что реактивные топлива состоят, в основном, из соединений, которые неполярны или слабополярны, топлива являются практически диэлектриками, т.е. плохо проводят электрический ток. Это качество топлива определяет способность к накоплению зарядов в его объеме при перекачке.

Заряды возникают при наличии в топливе незначительных количеств полярных соединений и воды. Осушенные и очищенные от полярных соединений углеводороды и топлива практически не электризуются. Однако топлива такой степени очистки на практике в обращение не поступают, и все товарные топлива представляют потенциальную опасность искрообразования от статического электричества.

Электрические свойства топлива в значительной степени определяются удельной электрической проводимостью, которая для товарных реактивных топлив выражается в единицах пикоСименс/метр (1пСм/м = 10^{-12} $Ом^{-1} \cdot м^{-1}$). Электропроводность реактивных топлив не является величиной постоянной, а зависит от температуры и увеличивается с ее ростом (рис. 1.2). Для товарных стандартных топлив она не превышает 10 пСм/м.

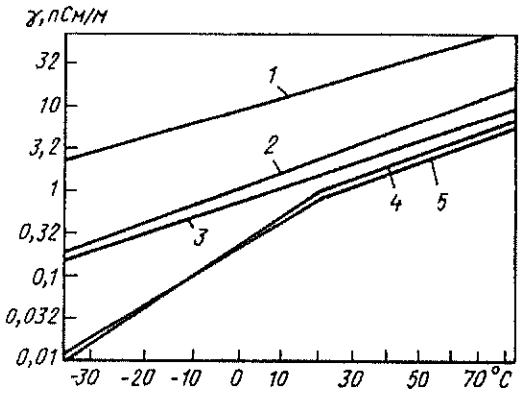

Рис. 1.2. Зависимость электропроводности γ реактивных топлив от температуры:
1 — Т-1; *2* — РТ; *3* — ТС-1; *4* — Нафтил; *5* — Т-6

Установлено, что наибольшую опасность от разрядов статического электричества представляют товарные топлива с электропроводностью 4—7 пСм/м.

Топлива с таким уровнем электропроводности не обеспечивают безопасность перекачки, заправки летательных аппаратов. При движении такого топлива по трубопроводам происходит его электризация, образование в нем электрического заряда, который в силу малой проводимости топлива не релаксируется, а переносится в топливный бак и приводит к накоплению в объеме перекаченного топлива опасного уровня статического электричества, в ряде случаев бывает достаточного, чтобы вызвать электрический разряд.

Основными критериями, характеризующими степень электризации, являются напряженность электрического поля поверхности топлива в баке и величина заряда, перенесенного в разряде (Q, мкКл), а также объемная плотность заряда ($\rho_т$, мкКл/м³). Чем больше электропроводность топлива, тем быстрее релаксируется заряд и его накопление не происходит:

Электропроводность, пСм/м	0,1	1,0	10	100	1000
Время релаксации, с	184,8	18,48	1,848	0,1848	0,0184

При прочих равных условиях электризация возрастает с повышением скорости перекачки и степени фильтрации.

На рис. 1.3 приведена характерная зависимость электризации топлива от скорости прокачки.

С целью обеспечения пожаробезопасности от статического электричества введены ограничения на скорости перекачки реактивных топлив.

По данным В.Н. Гореловой и В.В. Малышева максимально допустимая скорость заправки авиатехники топливом составляет: для топлива Т-2 — 500 л/мин, ТС-1 и РТ — 700 л/мин, Т-8 и Т-8В — 1100 л/мин, Т-6 — не ограничена.

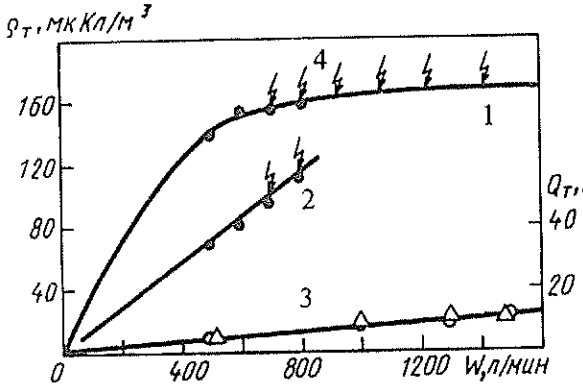

Рис. 1.3. Зависимость объемной плотности заряда $\rho_т$ и установившегося заряда $Q_т$ в баке от скорости прокачки топлива W:
1 — исходное топливо без присадки; *2* — установившийся заряд в баке при прокачке исходного топлива; *3* — топливо с присадкой Сигбол (0,0002%); 4 — зафиксированные электрические заряды

Основная электризация происходит на фильтрах, особенно на фильтрах тонкой очистки. Электризация топлива при фильтрации может возрастать в 200 раз. Поэтому с повышением требований к чистоте топлива, т.е. с увеличением тонкости фильтрации опасность воспламенения топливо-воздушных смесей от разрядов статического электричества значительно возрастает.

Существуют различные технические способы защиты от статического электричества: нейтрализаторы, азотирование воздушных подушек над топливом, антиэлектризующие фильтры. Однако они лишь локально решают проблему.

Единственным способом, *обеспечивающим* и *гарантирующим* безопасность прокачки топлив и заправки авиатехники и танкеров, является применение антистатических присадок.

Ассортимент, качество и состав реактивных топлив

Реактивные топлива вырабатывают для самолетов дозвуковой авиации по ГОСТ 10227–86 и для сверхзвуковой авиации по ГОСТ 12308–89. Согласно ГОСТ 10227–86 предусмотрено производство пяти марок топлива: ТС-1, Т-1, Т-1С, Т-2 и РТ (табл. 1.17). По ГОСТ 12308–89 производят две марки топлива: Т-6 и Т-8В.

Массовыми топливами в настоящее время практически являются топлива двух марок: ТС-1 (высшего и первого сортов), РТ (высшей категории качества).

Основное сырье для производства массовых реактивных топлив — среднедистиллятная фракция нефти, выкипающая в пределах температур 140–280 °С.

Топливо ТС-1. В зависимости от качества перерабатываемой нефти (содержания меркаптанов и общей серы в дистиллятах) топливо получают либо прямой перегонкой, либо в смеси с гидроочищенным или демеркаптанизированным компонентом (смесевое топливо). Содержание гидроочищенного компонента в смеси не должно быть более 70 % во избежание значительного снижения противоизносных свойств. Гидроочистку используют, когда в керосиновых дистиллятах нефти содержание общей и меркаптановой серы не соответствует требованиям стандарта, демеркаптанизацию — когда только содержание меркаптановой серы не соответствует требованиям стандарта. Из процессов демеркаптанизации практическое применение в нашей стране и за рубежом нашел процесс «Мерокс» и его модификации. В процессе

1.17. Характеристики реактивных топлив

Показатели	ТС-1*	Т-1	Т-1С	Т-2	РТ	Т-6	Т-8В
Плотность при 20 °С, кг/м³, не менее	780 (775)	800	810	755	775	840	800
Фракционный состав:							
температура начала перегонки , °С:							
не ниже	-	-	-	60	135	195	165
не выше	150	150	150	-	155	-	-
отгоняется при температуре, °С, не выше:							
10 %	165	175	175	145	175	220	185
50 %	195	225	225	195	225	255	Не нормируется
90 %	230	270	270	250	270	290	Не нормируется
98 %	250	280	280	280	280	315	280
Кинематическая вязкость, мм²/с, при температуре:							
20 °С, не менее	1,30 (1,25)	1,50	1,50	1,05	1,25	⩽4,5	⩾1,5
-40 °С, не более	8	16	16	6	16	60	16
Низшая теплота сгорания, кДж/кг, не менее	43120 (42900)	42900	42900	43100	43120	42900	42900
Высота некоптящего пламени, мм, не менее	25	20	20	25	25	20	20
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива	⩽0,7	⩽0,7	⩽0,7	⩽0,7	0,2-0,7	0,4-0,7	0,4-0,7
Йодное число, г I_2/100 г топлива, не более	2,5 (3,5)	2,0	2,0	3,5	0,5	0,8	0,9
Температура, °С:							
вспышки в закрытом тигле, не ниже	28	30	30	-	28	62	45
начала кристаллизации, не выше	-60	-60	-60	-60	-55	-60	-50
Термоокислительная стабильность в статических условиях при 150 °С, не более:							
содержание осадка, мг/100 см³ топлива	18	35	6	18	6	6	6
содержание растворимых смол, мг/ 100 см³ топлива	-	-	-	-	30	60	-
содержание нерастворимых смол, мг/100 см³ топлива	-	-	-	-	3	Отсутствие	-
содержание фактических смол, мг/100 см³, не более	3(5)	6	6	5	4	4	4

1.17. Характеристики реактивных топлив (продолжение)

Показатели	ТС-1*	Т-1	Т-1С	Т-2	РТ	Т-6	Т-8В
Массовая доля, %, не более:							
ароматических углеводородов	22	20	20	22	22	10	22
общей серы	0,20 (0,25)	0,10	0,10	0,25	0,10	0,05	0,10
меркаптановой серы	0,003 (0,005)	-	0,001	0,005	0,001	Отсутствует	0,001
нафталиновых углеводородов	-	-	-	-	1,5	0,5	2,0
Зольность, %, не более	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Люминометрическое число, не ниже	-	-	-	-	50	45	50
Термоокислительная стабильность динамическим методом при 150-180 °С:							
перепад давления на фильтре за 5 ч, кПа, не выше	-	-	-	-	10	10	10
отложения на подогревателе, баллы, не более	-	-	-	-	2	1	1
Взаимодействие с водой, баллы, не более:							
состояние поверхности раздела	1	-	-	-	1	1	1
состояние разделенных фаз	1	-	-	-	1	1	1
Удельная электрическая проводимость, пСм/м:							
при температуре заправки техники, не менее	50	-	-	50	50	-	50
при 20 °С, не более	600	-	-	600	600	-	600
Давление насыщенных паров, гПа, не более	-	-	-	133	-	-	-

* В скобках приведены значения показателей для ТС-1 первого сорта, отличные от значений для высшего сорта.

Примечания. 1. Для всех топлив: содержание сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, мыл нафтеновых кислот, механических примесей и воды — отсутствие; испытание на медной пластинке при 100 °С в течение 4 ч — выдерживает.

2. Удельная электрическая проводимость нормируется только для топлив, содержащих антистатическую присадку «Сигбол».

3. Топлива ТС-1 высшего и первого сорта, Т-2 и РТ, предназначенные для применения во всех климатических зонах, за исключением района I_1 (по ГОСТ 16350–80), допускается вырабатывать с температурой начала кристаллизации не выше -50 °С. Допускается применять в климатическом районе I_1 (ГОСТ 16350–80) топлива ТС-1 и РТ с температурой начала кристаллизации не выше -50 °С при температуре воздуха у земли не ниже -30 °С в течение 24 ч до вылета. Топливо для применения в климатическом районе I_1 с температурой начала кристаллизации не выше -55 °С (РТ) и -60 °С (ТС-1) вырабатывают по требованию потребителей.

4. Топливо Т-1С предназначено для специального потребления.

5. В топливе после длительного хранения (более 3 лет) допускается отклонение от норм, указанных в табл. 1.17: по кислотности — на 0,1 мг KOH/ 100 см³ топлива; по содержанию фактических смол — на 2 мг/100 см³ топлива; по количеству осадка при определении термоокислительной стабильности в статических условиях — на 2 мг/100 см³ топлива.

«Мерокс» общее количество серы не уменьшается, при этом содержащиеся в дистиллятах меркаптаны окисляются в дисульфиды кислородом воздуха в присутствии специального катализатора. Процесс идет в щелочной среде.

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

Наличие значительного количества гетероатомных соединений, в основном кислородсодержащих, обусловливает, с одной стороны, относительно хорошие противоизносные свойства и достаточно приемлемую химическую стабильность топлива, с другой — низкую термоокислительную стабильность.

Длительный опыт применения топлива Т-1 в авиации показал, что вследствие его низкой термоокислительной стабильности имеют место повышенные смолистые отложения в двигателе НК-8, установленном на основных типах самолетов гражданской авиации (ТУ-154, ИЛ-62, ИЛ-76), в результате чего резко (почти в 2 раза) сокращаются сроки службы двигателя. Производство топлива Т-1 очень ограничено, и его вырабатывают только по первой категории качества.

Топливо Т-2 (первой категории качества) — продукт прямой перегонки широкого фракционного состава, выкипающий при температуре от 60 до 280 °С; содержит до 40 % бензиновой фракции, что обусловливает высокое давление его насыщенных паров и низкие вязкость и плотность.

Повышенное давление насыщенных паров топлива Т-2 создает опасность образования паровых пробок в топливной системе самолета, что ограничивает высоту его полета.

Низкая вязкость обусловливает плохие противоизносные свойства топлива, что ограничивает срок службы топливных агрегатов, а низкая плотность ограничивает дальность полетов. Топливо Т-2 является резервным по отношению к топливам ТС-1 и РТ.

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

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

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

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

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

Характеристики реактивных топлив, предназначенных для сверхзвуковой авиации, — топлив Т-6 и Т-8В, вырабатываемых по ГОСТ 12308—80, приведены в табл. 1.17.

Топливо Т-6 получают, применяя процессы глубокого гидрирования.

Топливо Т-8В получают из дистиллятов прямой перегонки нефти с применением процесса гидроочистки. При переработке малосернистых нефтей топливо может быть получено прямой перегонкой нефти.

В топливо Т-6 и Т-8В для улучшения химической стабильности и повышения противоизносных свойств вводят присадки: антиокислительную Агидол-1 — 0,003—0,004 % (мас. доля) и противоизносную «К» — 0,002—0,004 % (мас. доля).

Отечественные марки топлив не уступают по качеству топливам других стран (табл. 1.18), а по некоторым показателям превосходят их.

Присадки к реактивным топливам

Для отечественных реактивных топлив допущено ограниченное число присадок: антиокислительная (Агидол-1), противоизносные

1.18. Основные показатели качества зарубежных топлив

Показатели	Джет А (А-1) ASTM D-1655	JP-5 Mil-T
Плотность при 20 °С, кг/м³, не менее	775-840 (15 °С)	775-840
Фракционный состав:		
10 % отгоняется при температуре, °С	204	205
98 % отгоняется при температуре, °С	300	300
Высота некоптящего пламени, мм, не менее	20-25	19
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-47	-46
Объемная доля ароматических углеводородов, %, не более	25	25
Массовая доля, %, не более:		
общей серы	0,3	0,4
меркаптановой серы	0,003	0,001

(ДНК — дистиллированные нефтяные кислоты и Хайтек-580 фирмы «Этил»), антистатическая (Сигбол), противоводокристаллизационные (ПВК) — жидкости И, ТГФ, ТГФ-М. Это объясняется высокими требованиями, предъявляемыми к присадкам, и чрезвычайно дорогостоящими и длительными испытаниями присадок для принятия решения о допуске.

Основные требования, предъявляемые к присадке для реактивных топлив: она должна быть высокоэффективной, т.е. вводиться в малых концентрациях и при этом не ухудшать качество топлива по остальным показателям, сохранять свою эффективность длительное время как в чистом виде, так и в растворе топлива.

Антистатические и противоводокристаллизационные присадки общего назначения допущены практически для всех топлив, антиокислительные и противоизносные — только для топлив РТ, Т-8В, Т-6, полученных гидрогенизационными процессами, для сохранения высокого уровня эксплуатационных свойств.

Противоводокристаллизационные присадки (табл. 1.19) вводятся в топливо для предотвращения образования кристаллов льда и растворения инея (до 0,3 % в зависимости от температуры топлива) непосредственно на местах при заправке самолета. В качестве таких присадок широко используют этилцеллозольв (жидкость «И») по ГОСТ 8313—88, тетрагидрофурфуриловый спирт (ТГФ) по ГОСТ 17477—86 и их 50 %-ные смеси с метанолом (присадки И-М и ТГФ-М). Их вводят преимущественно в зимнее время, а летом — в тех случаях, когда продолжительность полета самолета превышает 5 ч и топливо успевает охладиться до отрицательных температур.

1.19. Основные свойства противоводокристаллизационных присадок

Показатели	ТГФ	Жидкость «И»
Плотность при 20 °С, г/см³	1,0495-1,0640	0,930-0,935
Показатель преломления	1,450-1,454	1,407-1,409
Массовая доля, %:		
фурфурилового спирта	0,40	-
фурфурола	0,015	-
этилцеллозольва, не менее	-	95

Присадки такого типа широко применяют за рубежом.

Антиокислительные присадки (ингибиторы окисления) вводят только в гидроочищенные топлива, поскольку при гидрогенизационной обработке из топлив удаляются природные антиокислители — гетероатомные соединения. Для повышения химической стабильности гидрогенизационных топлив (РТ, Т-8В, Т-6) антиоксиданты вводят в топлива на местах производства. В России для этих целей применяют присадку Агидол-1 (2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол) по ТУ 38 5901237−90 в концентрации 0,003−0,004 % (мас. доля) (табл. 1.20). В таких концентрациях он полностью предотвращает окисление гидрогенизационных топлив, в том числе при повышенных температурах (до 150−160 °С).

Степень окисления гидроочищенного реактивного топлива при его хранении в течение 50 сут при 60 °С иллюстрируется данными, приведенными в табл. 1.21 (числитель — для топлива без присадки, знаменатель — для топлива с добавкой 0,003 % Агидола).

Антиокислительные присадки широко применяют за рубежом. В соответствии с сертификатом на топливо допущен к применению большой перечень антиоксидантов, в том числе аналог присадки Агидол-1 — присадка «ионол». По эффективности действия они равнозначны.

1.20. Основные характеристики присадки Агидол-1

Показатели	Высший сорт	Первый сорт
Внешний вид	Белый кристаллический однородный порошок без посторонних примесей	
Температура конца плавления, °С	69,8-70,0	69,5-69,7
Разность температур между началом и концом плавления, °С, не более	0,4	1,0

1.21. Степень окисления гидроочищенного реактивного топлива

Длительность хранения, сут	Содержание гидропероксидов, 10^4 моль/л	Кислотность, мг КОН/100 см³	Содержание адсорбционных смол, мг/100 см³
Исходное топливо	0,88	0,54	13
12	10,80/1,30	0,89/0,58	43/15
24,5	48,25/1,80	1,34/0,68	64/20
35,5	87,50/5,00	1,60/0,70	310/20
48,5	142,00/6,25	4,60/0,75	595/20

Противоизносные присадки предназначены для восстановления смазочных свойств топлив, подвергнутых гидрогенизационной обработке. Их вводят в топлива на НПЗ вместе с антиокислительной присадкой Агидол-1.

В качестве противоизносных рекомендованы присадки Сигбол (ТУ 38.101741-78) и композиция присадок Сигбол и ПМАМ-2 (полиметакрилатного типа, ТУ 601407−69).

Присадка Сигбол по эффективности значительно превосходит присадку ПМАМ-2. Противоизносные свойства присадки Сигбол заметно проявляются уже при ее содержании в топливе, равном 0,0005 % (мас. доля) (рис. 1.4; испытания проведены на полномасштабном стенде в течение 100 ч).

Однако повышенное содержание [св. 0,0005 % (мас. доля)] присадки Сигбол приводит к возрастанию электропроводности (>1000 пСм/м) и влияет на работу топливоизмерительной аппаратуры на борту самолета.

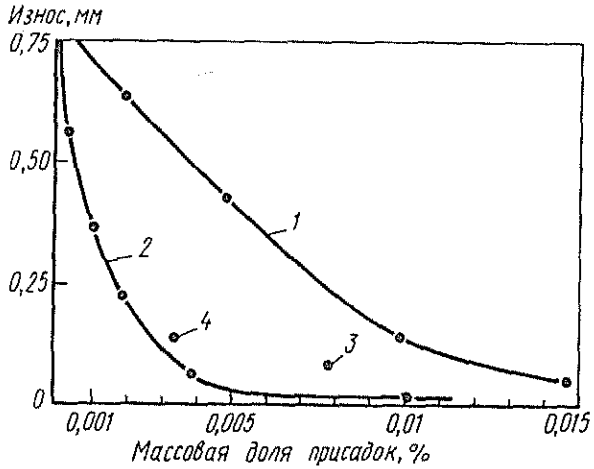

Рис. 1.4. Влияние содержания присадок на противоизносные свойства гидроочищенного реактивного топлива:
1 — присадка ПМАМ-2;
2 — присадка Сигбол;
3 — 0,008 % ПМАМ-2 и 0,0005 % Сигбол;
4 — 0,003 % «К» и 0,0005 % Сигбол

Композиция присадок: 0,008 % ПМАМ-2 и 0,0005 % Сигбол обеспечивает хорошие противоизносные ствойства гидроочищенных топлив при отсутсвии электризации, свойственной присадке ПМАМ-2. Реактивное топливо с такой композицией присадок было принято как резервное.

В качестве противоизносной применяется присадка «К» кислотного типа (ГОСТ 13302–77), которая по эффективности противоизносных свойств соответствует присадке Сигбол (см. рис. 1.4):

Внешний вид ..... Прозрачная однородная жидкость

Массовая доля, %:

нафтеновых кислот, не менее 95

неомыляемых веществ в пересчете на органическую часть, не более 3

Кислотное число, мг КОН/г нефтяных кислот 220-260

Присадка «К» допущена в реактивные топлива в содержании 0,001–0,004 % (мас. доля). При таком содержании кислотность топлив, полученных с использованием гидрогенизационных процессов, не превышает 0,7 мг КОН/100 см³, что не влияет отрицательно на другие эксплуатационные свойства топлив. Топливо РТ (ГОСТ 10227–86) с этой присадкой нашло широкое применение как в нашей стране, так и за рубежом.

В последние годы для улучшения противоизносных свойств топлив РТ, Т-6 и Т-8В ввиду временного дефицита противоизносной присадки «К» допущена в качестве альтернативной в содержании 0,003–0,0035 % (мас. доля) зарубежная присадка Хайтек-580 фирмы «Этил». Основные показатели качества присадки Хайтек-580:

Температура вспышки, °С, не ниже 66

Кинематическая вязкость, мм²/с, при 40 °С 110-136

Кислотное число, мг КОН/г 80-100

Зольность, % ..... Не нормируется

Наличие в топливе присадки «К» косвенно контролируется регламентированным в ГОСТах на топлива нижним пределом кислотности. Так, установленные в ГОСТ 10227–86 на топливо РТ нижние пределы кислотности 0,4 мг КОН/100 см³ и 0,2 мг КОН/100 см³ гарантируют обеспечение требуемых противоизносных свойств топлива в случае применения присадки «К» соответственно в содержании 0,004 и 0,001 % (мас. доля).

В отличие от присадки «К» присадка Хайтек-580 имеет меньшее кислотное число, вследствие чего значение кислотности топлива РТ

при ее введении находится в пределах точностных характеристик метода определения кислотности по ГОСТ 5985–79.

Как следует из табл. 1.22 и рис. 1.4 кислотность не всегда определяет противоизностные свойства топлив с введенными присадками.

Для отечественных топлив в случае применения в качестве противоизносной присадки Хайтек-580 нижний предел по кислотности является не браковочным, а противоизностные свойства гарантируются количеством введенной присадки (мас. доля 0,003–0,0035 %).

Антистатические присадки. Существование реальной опасности воспламенения в результате разрядов статического электричества при заправке товарных авиационных топлив, не защищенных специальными присадками, подтверждено отечественной и зарубежной практикой эксплуатации авиационной техники. Непредсказуемость процесса создает потенциальную возможность взрыва при перекачке в любой момент.

Антистатические присадки, повышая электропроводность топлива, не просто уменьшают опасность от возникновения зарядов, а всецело исключают ее.

Эти присадки уникальны тем, что обеспечивают и гарантируют эффект ничтожно малыми количествами — до 10^{-4} % (мас. доля).

Применение антистатических присадок позволяет снять ограничения по скорости налива. По зарубежным данным она может быть увеличена с 1000 до 9000 л/мин в один бак, что принципиально важно при обслуживании международных авиалиний (аэропортов) с большой пропускной способностью. Не менее важно это и при заправке танкеров реактивным топливом и другими светлыми нефтепродуктами.

Если присадка не добавлялась в топливо на заводах, то она добавляется непосредственно в порту при осуществлении погрузочно-разгрузочных операций в емкости танкера или берегового резервуара.

1.22. Влияние присадок на кислотность топлива

Присадка	Кислотность, мг КОН/100 см³, топлива* при концентрации, % (мас. доля)		
	0,001	0,002	0,003
«К»	0,25	0,35	0,50
Хайтек-580	0,10	0,13	0,20
Сигбол	0,05	0,05	0,05
ПМАМ-2	0,05	0,05	0,05

* Кислотность исходного топлива составляла 0,05 мг КОН/100 см³.

Присадку добавляют даже в печное топливо для ускорения грузовых операций.

Введение антистатических присадок в углеводородные жидкости повышает общий уровень пожаровзрывобезопасности при любых сливо-наливных работах с ними, поэтому антистатические присадки широко используют и при работе с легкими растворителями во многих отраслях промышленности.

В качестве антистатических присадок для авиационных топлив за рубежом нашли широкое применение присадки: ASA-3 (фирма «Шелл») и Стадис-450 (фирма «Дюпон»).

С 1983 г. зарубежными спецификациями предусмотрено обязательное введение антистатической присадки в топлива ДЖЕТ А-1 и ДЖЕТ-В.

В нашей стране разработана антистатическая присадка Сигбол (ТУ 38.101741—78). Это единственная присадка, допущенная к применению в отечественных реактивных топливах. Топливо с присадкой Сигбол прошло широкомасштабные испытания на авиационных двигателях. Многолетняя практика эксплуатации авиатехники при использовании топлива с присадкой Сигбол не выявила каких-либо особенностей в эксплуатации, либо неисправностей авиатехники, связанных с применением присадки. Присадка Сигбол допущена в качестве антистатической в концентрации не более 0,0005 % (мас. доля) практически во все топлива: РТ, ТС-1, Т-2 (ГОСТ 10227—86) и топливо Т-8В (ТУ 38 101741—78). Такая концентрация обеспечивает необходимый уровень электропроводности топлива.

Для топлив, содержащих присадку Сигбол, установлена норма по электропроводности: от 50 (при температуре заправки) до 600 пСм/м (при 20 °С). Для зарубежных топлив, содержащих антистатические присадки, этот диапазон составляет 50—300 пСм/м. Нижний предел гарантирует безопасность перекачки, верхний — нормальную работу топливоизмерительной аппаратуры.

Присадка Сигбол представляет комплексное соединение на основе соли органической кислоты и полимерного компонента в растворе толуола или ксилола. Основные характеристики присадки Сигбол:

Плотность при 20 °С, кг/м³, не менее	900
Кинематическая вязкость при 80 °С, мм²/с, не более	30
Массовая доля активного вещества в присадке, %	32-40
Содержание золы, %	2,0-3,5
Удельная объемная электропроводность 0,001 % присадки Сигбол в толуоле, пСм/м, не менее	2000

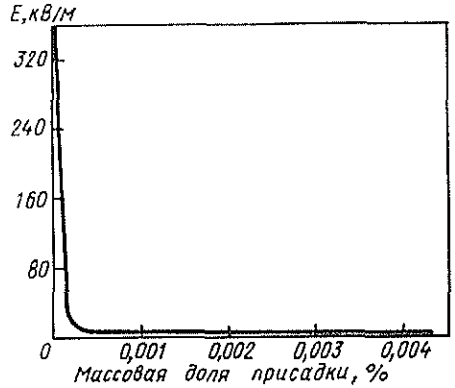

Рис. 1.5. Зависимость напряженности *E* электрического поля в баке от массовой доли присадки Сигбол в топливе Т-7 при скорости заправки 1800 л/мин

Антистатическая присадка Сигбол не оказывает отрицательного воздействия на какие-либо физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив в содержании до 0,01 % (мас. доля) и при этом помимо антистатических значительно улучшает противоизносные и коррозионные свойства.

Антистатическое действие присадки основано на повышении электропроводности топлива, что неизбежно приводит к снижению до нуля всех электрических параметров, характеризующих электризуемость топлива (величину заряда, перенесенного в разряде, электрический потенциал поверхности топлива и др.) (рис. 1.5, см. также рис. 1.3).

По эффективности антистатического действия присадка Сигбол (независимо от скорости перекачки) не уступает зарубежным (табл. 1.23).

Определение электропроводности осуществляется отечественным переносным индикаторным цифровым прибором ЭЛ-1В, сопоставимым по точности измерения с приборами аналогичного типа, широко используемыми за рубежом (табл. 1.24).

1.23. Электропроводность, пСм/м, гептана с антистатическими присадками

Присадка	Массовая доля присадки в гептане (на активное вещество), %						
	0,00005	0,0001	0,0003	0,0005	0,0007	0,001	0,003
Сигбол	721,6	1574,5	3430,0	4878,0	8247	11250	33960
Образец №1 (зарубежный)	567,8	1018,0	3038,0	4498,0	-	9362	22790
Образец №2 (зарубежный)	262,4	422,4	962,2	1574,5	2249	2887	7370

1.24. Сопоставление результатов измерения электропроводности топлив на отечественном приборе и приборе фирмы «Майгак»

Образцы	Температура топлива, °С	Электропроводность, пСм/м		Расхождение, %
		ЭЛ-1В	«Майгак»	
Образец №1 (топливо РТ исходное)	21	3,0	<5	-
		2,6	<5	-
		3,0	<5	-
Образец №2 (топливо РТ с присадкой Сигбол)	22	55	55	1,0
		54	55	1,0
Образец №3 (топливо РТ с присадкой Сигбол)	22	350	355	1,5
		346	355	1,5
		353	355	1,5
Образец №4 (топливо РТ с зарубежной присадкой)	22	640	680	6,3
		630	680	6,3
		640	680	6,3

Фундаментальные исследования, проведенные на полномасштабном стенде ОКБ им. Туполева, полностью имитирующем систему заправки топливом баков самолета, выполненные под руководством В.Н.Гореловой и В.В.Малышева, при участии ведущих фирм страны, позволили определить критерии оценки электризуемости топлива, влияние антистатической присадки на электрические параметры топлива, определить характер и эффективность присадок, установить предельные значения электропроводности.

Антистатическое действие присадки Сигбол начинает проявляться при внесении ее в топливо в количестве 10^{-7} % (мас. доля). При содержании 10^{-6} % (мас. доля) прекращаются не только электрические разряды, но отсутствуют и сами заряды, а потенциал поверхности топлива в баке снижается с 200 кВ (в исходном топливе) до 10 кВ. При содержании Сигбола порядка 10^{-5} % все показатели, характеризующие степень электризации топлива, имеют нулевое значение (табл. 1.25).

«Следы» (ничтожно малые количества) антистатических присадок не увеличивают опасность от разрядов статического электричества по сравнению с топливами, не содержащими эти присадки. Поэтому перекачка реактивных топлив со «следами» присадки Сигбол осуществляется потребителями топлив с такими же скоростями, как и стандартных топлив, не содержащих антистатических присадок.

Смеси топлив, содержащих и не содержащих присадку Сигбол, также применяются в любых соотношениях без каких-либо ограничений.

1.25. Влияние «следов» антистатических присадок на электризуемость топлив

Суммарная массовая доля присадки в топливе, %	Электропроводность топлива в расходном резервуаре, пСм/м	Максимальный ток, мкА	Максимальный заряд, перенесенный в разряде, мкКл	Максимальное значение электрического потенциала поверхности топлива, кВ
Образец №1 (зарубежный)				
Исходное топливо без присадки	2,7	-2,5	0,12	157
$2{,}5\cdot10^{-7}$	3,0	-2,0	0,05	118
$3{,}625\cdot10^{-6}$	10,5	+1,0	0	6
Сигбол				
Исходное топливо без присадки	4,8	-2,9	0,18	185
$7{,}5\cdot10^{-7}$	5,8	-2,8	0,06	127
$3{,}0\cdot10^{-6}$	10,0	-2,4	0	8,2
$13{,}5\cdot10^{-6}$	29,2	-0,06	0	0

Примечание. Результаты получены на полномасштабном стенде по схеме наземной заправки летательного аппарата с объемной скоростью 2000 л/мин.

Присадка Сигбол совместима со всеми присадками, допущенными к применению в топливах. Выбор концентрации присадки определяется рядом факторов.

При изменении температуры электропроводность топлива с присадкой Сигбол изменяется незначительно. Особенно заметно преимущество Сигбола при фильтрации топлива через фильтры тонкой очистки, топливо с присадкой Сигбол практически не меняет свою электропроводность. Присадка Сигбол и топливо с этой присадкой являются стабильными структурами и имеют гарантийный срок хранения в металлических емкостях (резервуарах) не менее 5 лет. Электропроводность топлива остается в пределах нормируемого значения, даже если ее начальное значение близко к нижнему допустимому пределу 80 пСм/м.

Топливо с присадкой Сигбол может транспортироваться в железнодорожных цистернах на большие (св. 1000 км) расстояния. При этом электропроводность хотя и претерпевает некоторые изменения, остается в пределах нормируемых значений.

При расчете количества присадки следует учитывать влияние вязкости топлива на электропроводность. При одном и том же коли-

честве присадки электропроводность будет тем выше, чем меньше вязкость. Поэтому восприимчивость топлив различных марок к присадке Сигбол различна.

Учитывая влияние на электропроводность условий транспортировки, температуры и прочих факторов, рекомендуется вырабатывать топливо с присадкой Сигбол на НПЗ с электропроводностью 150–250 пСм/м. Оптимальное содержание присадки составляет 0,0001–0,0003 % (мас. доля). Такой уровень электропроводности достаточен, чтобы гарантировать сохранение высоких антистатических свойств топлив при длительном транспортировании и хранении в районах с различными климатическими условиями.

Таким образом, применение топлив с антистатическими присадками является для потребителей самым дешевым способом обеспечения гарантированной безопасности от проявления статического электричества при всех заправочных и перекачивающих операциях.

Дизельные топлива

Дизельное топливо предназначено для быстроходных дизельных и газотурбинных двигателей наземной и судовой техники. Условия смесеобразования и воспламенения топлива в дизелях отличаются от таковых в карбюраторных двигателях. Преимуществом первых является возможность осуществления высокой степени сжатия (до 18 в быстроходных дизелях), вследствие чего удельный расход топлива в них на 25–30 % ниже, чем в карбюраторных двигателях. В то же время дизели отличаются большей сложностью в изготовлении, большими габаритами. По экономичности и надежности работы дизели успешно конкурируют с карбюраторными двигателями.

Основные эксплуатационные показатели дизельного топлива:

цетановое число, определяющее высокие мощностные и экономические показатели работы двигателя;

фракционный состав, определяющий полноту сгорания, дымность и токсичность отработавших газов двигателя;

вязкость и плотность, обеспечивающие нормальную подачу топлива, распыливание в камере сгорания и работоспособность системы фильтрования;

низкотемпературные свойства, определяющие функционирование системы питания при отрицательных температурах окружающей среды и условия хранения топлива;

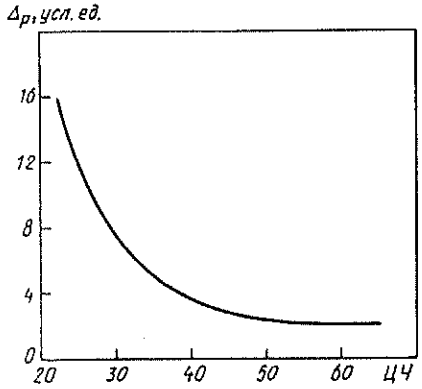

Рис. 1.6. Зависимость скорости нарастания давления Δp в цилиндре двигателя от цетанового числа ЦЧ дизельного топлива

степень чистоты, характеризующая надежность работы фильтров грубой и тонкой очистки и цилиндро-поршневой группы двигателя;

температура вспышки, определяющая условия безопасности применения топлива в дизелях;

наличие сернистых соединений, непредельных углеводородов и металлов, характеризующее нагарообразование, коррозию и износ.

Свойства

Цетановое число — основной показатель воспламеняемости дизельного топлива. Оно определяет запуск двигателя, жесткость рабочего процесса (скорость нарастания давления), расход топлива и дымность отработавших газов. Чем выше цетановое число топлива, тем ниже скорость нарастания давления (рис. 1.6) и тем менее жестко работает двигатель. Однако с повышением цетанового числа топлива сверх оптимального, обеспечивающего работу двигателя с допустимой жесткостью (менее 0,5 МПа/ °ПВК*) ухудшается его экономичность в среднем на 0,2–0,3 % и дымность отработавших газов на единицу цетанового числа повышается на 1–1,5 единицы Хартриджа.

Чем выше цетановое число топлива, тем быстрее произойдут процессы предварительного окисления его в камере сгорания, тем скорее воспламенится смесь и запустится двигатель. Ниже приведены данные по влиянию цетанового числа на время запуска двигателя:

Цетановое число	53	38
Время запуска, с	3	45-50

* МПа/°ПВК — скорость нарастания давления в цилиндре двигателя на 1° поворота коленчатого вала.

Цетановое число топлив зависит от их углеводородного состава. Наиболее высокими цетановыми числами обладают нормальные парафиновые углеводороды, причем с повышением их молекулярной массы оно повышается, а по мере разветвления — снижается. Самые низкие цетановые числа у ароматических углеводородов, не имеющих боковых цепей; ароматические углеводороды с боковыми цепями имеют более высокие цетановые числа и тем больше, чем длиннее боковая парафиновая цепь. Непредельные углеводороды характеризуются более низкими цетановыми числами, чем соответствующие им по строению парафиновые углеводороды. Нафтеновые углеводороды обладают невысокими цетановыми числами, но большими, чем ароматические углеводороды. Чем выше температура кипения топлива, тем выше цетановое число, и эта зависимость носит почти линейный характер; лишь для отдельных фракций цетановое число может снижаться, что объясняется их углеводородным составом.

Цетановые числа дизельных топлив различных марок, вырабатываемых отечественной промышленностью, характеризуются следующими значениями:

Марка дизельного топлива	Л	З (-35 °С)	З (-45 °С)	А
Цетановое число	47-51	45-49	40-42	38-40

Применение топлив с цетановым числом менее 40 приводит к жесткой работе двигателя, а более 50 — к увеличению удельного расхода топлива вследствие уменьшения полноты сгорания. Летом можно применять топлива с цетановым числом, равным 40, а зимой для обеспечения холодного пуска двигателя — с цетановым числом не менее 45. Цетановое число и низкотемпературные свойства топлива — это взаимосвязанные величины: чем лучше низкотемпературные свойства топлива, тем ниже его цетановое число. Так, топлива с температурой застывания ниже -45 °С характеризуются цетановым числом около 40.

Хорошие низкотемпературные свойства достигаются несколькими способами: существенным облегчением фракционного состава (температура конца кипения 300–320 °С вместо 360 °С), проведением депарафинизации топлива (извлечение н-парафиновых углеводородов), переработкой нафтено-ароматических нефтей с малым содержанием н-парафиновых углеводородов. При этом во всех случаях снижается цетановое число.

Известны присадки для повышения цетанового числа дизельных топлив — изопропил- или циклогексилнитраты. Они допущены к

применению, но их вводят в крайне ограниченных количествах для повышения цетанового числа с 38 до 40, так как при этом понижается температура вспышки и повышается коксуемость топлива.

Установление оптимальных цетановых чисел имеет большое практическое значение, поскольку с углублением переработки нефти в состав дизельного топлива будут вовлекаться легкие газойли каталитического крекинга, коксования и фракции, обладающие относительно низкими цетановыми числами. Бензиновые фракции также имеют низкие цетановые числа, и добавление их в дизельное топливо всегда заметно снижает цетановое число последнего. Европейским стандартом на дизельное топливо установлен нижний предел цетанового числа — 48 единиц.

Цетановое число определяют по ГОСТ 3122–67, сравнивая воспламеняемость испытуемого топлива с эталонным (смеси цетана с α-метил-нафталином в разных соотношениях). Имеется множество расчетных формул для определения цетанового числа (ЦЧ) топлив, например по их плотности d_4^{20} и кинематической вязкости ν_{20}:

$$ЦЧ = (\nu_{20} + 17{,}8)\ 1{,}5879/d_4^{20},$$

или, исходя из углеводородного состава,

$$ЦЧ = 0{,}85П + 0{,}1Н - 0{,}2А,$$

где $П$, $Н$, $А$ — содержание соответственно парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов.

По этим формулам можно лишь приблизительно рассчитать цетановое число. Они не применимы для топлив с присадками, которые повышают цетановое число, а также для топлив, в состав которых входят бензиновые фракции. Наиболее точным является расчетный метод определения цетанового числа (цетанового индекса) по ГОСТ 27768–88, исходя из плотности и 50 %-ной точки перегонки:

$$ЦИ = 454{,}74 - 1641{,}41d + 774{,}74d^2 - 0{,}554t + 97{,}803(\lg t)^2,$$

где d — плотность при 15 °С, определенная по ГОСТ 3900–85, г/см³; t — температура кипения 50 %-ной (по объему) фракции с учетом поправки на нормальное барометрическое давление 101,3 кПа, определяемая по ГОСТ 2177–82, °С, lg — десятичный логарифм.

Использовать эту формулу можно только для продуктов прямой переработки нефти. Определение цетанового индекса дизельных топлив

по ГОСТ 27768–88 внесено в ряд нормативных документов на дизельные топлива.

Цетановый индекс дистиллятных дизельных топлив может быть определен по номограмме (рис. 1.7).

За рубежом для характеристики воспламеняемости топлива наряду с цетановым числом используют дизельный индекс. Этот показатель

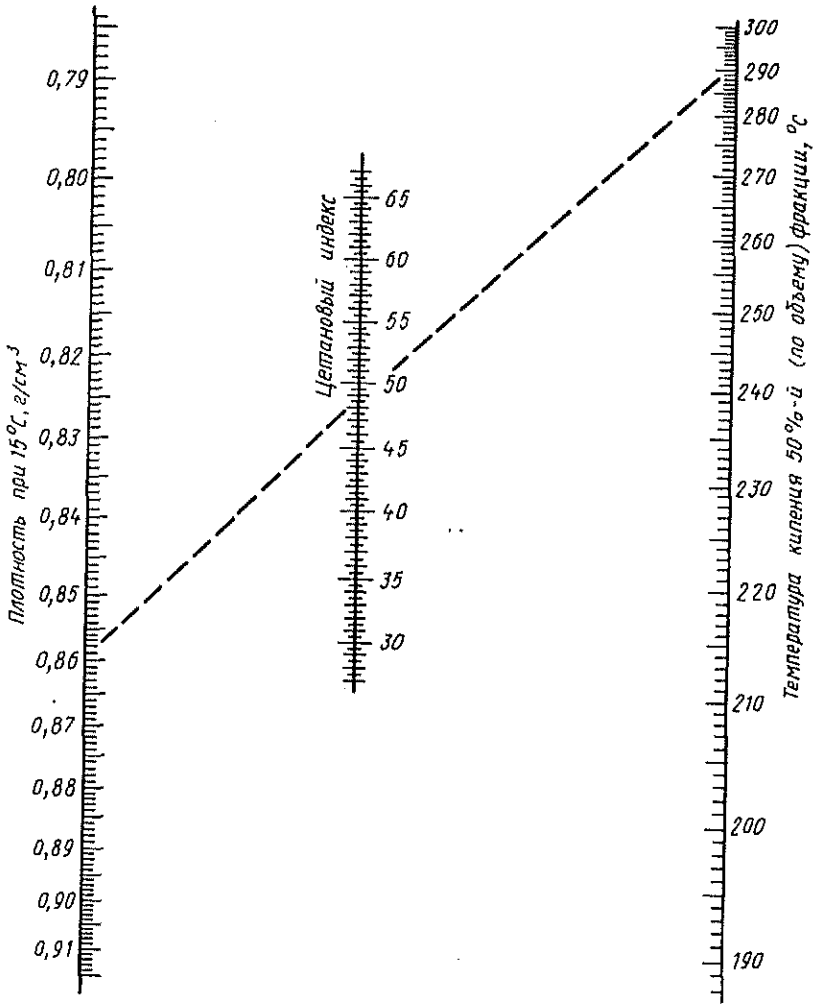

Рис. 1.7. Номограмма для определения цетанового индекса

нормируется и в отечественной технической документации на дизельное топливо, поставляемое на экспорт, — ТУ 38.401-58-110–94. Дизельный индекс (ДИ) вычисляют по формуле

$$ДИ = t_{ан}d/100,$$

где $t_{ан}$ — анилиновая точка (определяют в °С и пересчитывают в °F: 1 °F = 9,5 °С + 32); d — плотность, градусы АПИ.

Между дизельным индексом и цетановым числом топлива существует такая зависимость:

Дизельный индекс	20	30	40	50	62	70	80
Цетановое число	30	35	40	45	55	60	80

Фракционный состав. Характер процесса горения топлива в двигателе определяется двумя основными показателями — фракционным составом и цетановым числом. На сгорание топлива более легкого фракционного состава расходуется меньше воздуха, при этом благодаря уменьшению времени, необходимого для образования топливовоздушной смеси, процессы смесеобразования протекают более полно.

Облегчение фракционного состава топлива, например при добавке к нему бензиновой фракции, может привести к жесткой работе двигателя, определяемой скоростью нарастания давления на 1° поворота коленчатого вала. Это объясняется тем, что к моменту самовоспламенения рабочей смеси в цилиндре двигателя накапливается большое количество паров топлива, и горение сопровождается чрезмерным повышением давления и стуками в двигателе.

Влияние фракционного состава топлива для двигателей различных типов неодинаково. Двигатели с предкамерным и вихрекамерным смесеобразованием вследствие наличия разогретых до высокой температуры стенок предкамеры и более благоприятных условий сгорания менее чувствительны к фракционному составу топлива, чем двигатели с непосредственным впрыском. Наддув двигателя, создающий повышенный термический режим камеры сгорания, обеспечивает возможность нормальной работы на топливах утяжеленного фракционного состава.

Время прокручивания двигателя при запуске его на топливе со средней температурой кипения 200–225 °С в 9 раз меньше, чем на топливе со средней температурой кипения, равной 285 °С (рис. 1.8).

При испытаниях дизельного топлива утяжеленного фракционного состава с температурой конца кипения на 30 °С выше, чем у стандартного

6 — 2538

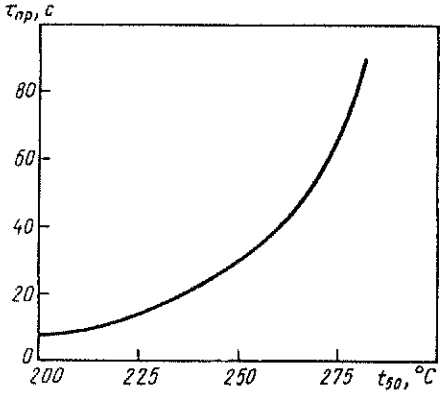

Рис. 1.8. Зависимость времени прокручивания двигателя при пуске $\tau_{пр}$ от температуры t_{50} выкипания 50% (об.) топлива

летнего топлива, отмечен повышенный расход топлива в среднем на 3 % и увеличение дымности отработавших газов в среднем на 10 %. Одной из основных причин повышения расхода топлива является более высокая вязкость топлива утяжеленного фракционного состава.

Расход топлива зависит не только от температуры конца его кипения, но и от 50 %-ной точки перегонки (рис. 1.9).

Для летних дизельных топлив, полученных перегонкой нефти, 50 %-ная точка выкипания находится в пределах 260–280 °С (наиболее типичные значения 270–280 °С), для зимних марок дизельных топлив она составляет 240–260 °С.

Вязкость и плотность определяют процессы испарения и смесеобразования в дизеле, так как от них зависит форма и строение топливного факела, размеры образующихся капель, дальность

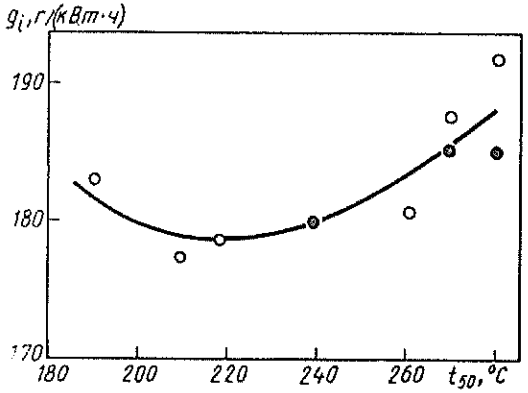

Рис. 1.9. Зависимость удельного расхода топлива g_i от средней температуры разгонки (дизель 1ч11/11,5; n = 1750 мин$^{-1}$; p_i = 0,85 МПа)

проникновения капель топлива в камеру сгорания. Более низкая плотность и вязкость обеспечивают лучшее распыливание топлива; с повышением указанных показателей качества увеличивается диаметр капель (рис. 1.10) и уменьшается полное их сгорание, в результате увеличивается удельный расход топлива, растет дымность отработавших газов. Вязкость топлива влияет на наполнение насоса и на утечку топлива через зазоры плунжерных пар. С увеличением вязкости топлива возрастает сопротивление топливной системы, уменьшается наполнение насоса, что может привести к перебоям в его работе. Ниже приведена зависимость подачи топлива насосом от температуры топлива:

Температура топлива, °С	+10	-30	-40	-50
Подача насоса, кг/ч	850	830	810	300

При уменьшении вязкости количество дизельного топлива, просачивающегося между плунжером и втулкой, возрастает, в результате снижается подача насоса. Перевод двигателя на топливо с меньшей плотностью и вязкостью может привести к прогару головок поршня, в связи с чем требуется регулировка топливной аппаратуры. При работе топливной аппаратуры на газоконденсатном дизельном топливе без регулировки топливной аппаратуры происходит уменьшение цикловой подачи топлива до 1 % и снижение максимального давления топлива в трубопроводе высокого давления на 10–15 %. Период задержки впрыска увеличивается на 2–4° поворота коленчатого вала.

Понижение цикловой подачи связано с уменьшением подачи топливного насоса высокого давления вследствие уменьшения плотности и увеличения утечки менее вязкого газоконденсатного топлива.

Увеличение задержки впрыска топлива вызвано его большой сжимаемостью; чтобы получить цикловую подачу газоконденсатного

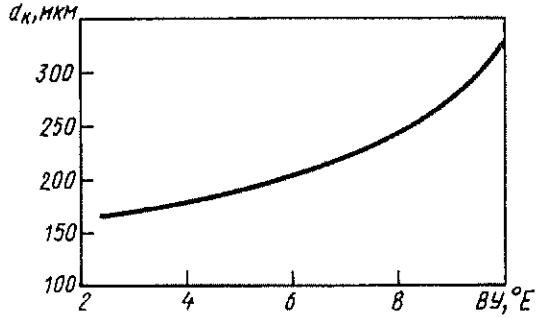

Рис. 1.10. Зависимость тонкости распыливания топлива (среднего диаметра капель $d_к$) от его условной вязкости ВУ

6*

топлива, достаточно увеличить ход рейки топливного насоса высокого давления.

От вязкости зависит износ плунжерных пар. Нижний предел вязкости топлива, при котором обеспечивается его высокая смазывающая способность, зависит от конструктивных особенностей топливной аппаратуры и условий ее эксплуатации. Вязкость топлива в пределах 1,8–7,0 мм²/с практически не влияет на износ плунжеров топливной аппаратуры современных быстроходных дизелей.

Вязкость топлива зависит от его углеводородного состава. Летнее дизельное топливо, получаемое из западносибирской нефти, в котором преобладают парафино-нафтеновые углеводороды, имеет вязкость при 20 °С 3,5–4,0 мм²/с; такое же по фракционному составу топливо из сахалинских нефтей, в котором преобладают нафтено-ароматические углеводороды, — 5,5–6,0 мм²/с. Стандартом на дизельное топливо вязкость нормируется в достаточно широких пределах, что обусловлено различием углеводородного состава перерабатываемых нефтей. Попытки ограничить вязкость топлива в узких пределах приведут к сокращению ресурсов его производства, так как потребуется снизить температуру конца кипения топлива. В зарубежных стандартах кинематическая вязкость нормируется обычно при 40 °С, в то время как отечественные ГОСТ и ТУ регламентируют вязкость при 20 °С.

Ниже приведена кинематическая вязкость ν, мм²/с, среднедистиллятных топлив при 20 и 40 °С:

При 20 °С	При 40 °С	При 20 °С	При 40 °С
2,8	2,0	9,2	5,5
3,7	2,5	10,5	6,0
4,6	3,0	11,6	6,5
5,5	3,5	12,4	7,0
6,4	4,0	13,4	7,5
7,3	4,5	14,4	8,0
8,2	5,0		

Из всех классов углеводородов наименьшая вязкость у алифатических. Эти же углеводороды в меньшей степени изменяют свою вязкость при охлаждении, т.е. имеют наиболее пологую вязкостно-температурную кривую. Алифатические углеводороды разветвленного строения, имеющие в боковых цепях два-три атома углерода, обладают более высокой вязкостью и при охлаждении она изменяется более резко, чем у углеводородов нормального строения. Присутствие двойной

связи снижает вязкость алифатического углеводорода. Ароматические и нафтеновые кольца в молекуле углеводорода повышают вязкость и ухудшают вязкостно-температурную зависимость. Бициклические углеводороды при одинаковой молекулярной массе с моноциклическими имеют не только более высокую вязкость, но и более крутую кривую зависимости вязкости от температуры.

Хотя вязкость дизельных топлив при понижении температуры и повышается (табл. 1.26), поведение топлива, как правило, продолжает подчиняться закону Ньютона (вязкость не зависит от градиента сдвига) вплоть до выпадения кристаллов твердых углеводородов.

На процессы испарения и смесеобразования оказывают влияние также **поверхностное натяжение и давление насыщенных паров,** которые зависят от углеводородного и фракционного состава топлива. С утяжелением фракционного состава поверхностное натяжение увеличивается. Межфазное поверхностное натяжение наиболее массового летнего дизельного топлива, определенное с помощью тензометра ВН 5504 (погрешность измерения ±0,5 мН/м) при температуре 20 °С, составляет: образец 1 — 40,3 мН/м; образец 2 — 3,3 мН/м.

При других температурах поверхностное натяжение может быть рассчитано по формуле:

$$Q_t = Q_0 - K(t - t_0),$$

где Q_t и Q_0 — поверхностное натяжение, соответственно рассчитанное и найденное экспериментально; t и t_0 — температуры, при которых поверхностное натяжение рассчитывается и определяется экспериментально; K — постоянная, равная 0,10.

Давление насыщенных паров дизельных топлив невелико и составляет для стандартного летнего дизельного топлива примерно 25 кПа при 40 °С или 55 кПа при 60 °С.

Цвет является показателем, позволяющим достаточно быстро определить наличие в топливе более тяжелых фракций или присутствие

1.26. Влияние температуры на вязкость летнего дизельного топлива

Дизельное топливо	Кинематическая вязкость, мм²/с, при температуре					
	20 °С	0 °С	-5 °С	-10 °С	-15 °С	-20 °С
Образец 1	2,30	3,63	4,17	4,82	-	7,26
Образец 2	4,04	7,05	8,40	14,30	24,50	28,90
Образец 3	5,13	9,51	11,56	15,52	26,40	30,60

негидроочищенных дистиллятных фракций вторичных процессов, которые оказывают отрицательное влияние на стабильность нефтепродуктов. Цвет дизельного топлива определяют по ГОСТ 20284–74, ASTM D 1500, ISO 2049, DIN 51411. Существуют номограммы перевода цвета единиц ЦНТ в NPA.

Плотность относят к числу наиболее распространенных показателей, которые применяют для характеристики нефтепродуктов, она является исходной величиной для выполнения большинства инженерных расчетов. В отечественных стандартах плотность нормируется при 20 °С: для летнего дизельного топлива — не более 860 кг/м³, зимнего — не более 840 кг/м³, арктического — не более 830 кг/м³.

В зарубежных стандартах пределы плотности устанавливают в основном при 15 °С. Так, европейский стандарт EN-590 предусматривает следующие плотности: для летних топлив 820–860, для зимних топлив 800–840 (845) кг/м³.

Пересчет плотности d_4^{20} в d_{15}^{15} и наоборот можно провести по формуле

$$d_4^{20} = d_{15}^{15} - 5\alpha - \beta.$$

Значения поправок α и β приведены в табл. 1.27.

Из различных групп углеводородов наибольшей плотностью обладают ароматические, наименьшей — парафиновые. Нафтеновые

1.27. Значения поправок α и β для пересчета плотности

Плотность	α	β	Плотность	α	β
0,6900-0,6999	0,000910	0,0009	0,8500-0,8599	0,000699	0,0013
0,7000-0,7099	0,000897	0,0009	0,8600-0,8699	0,000686	0,0014
0,7100-0,7199	0,000884	0,0009	0,8700-0,8799	0,000673	0,0014
0,7200-0,7299	0,000810	0,0010	0,8800-0,8899	0,000660	0,0014
0,7300-0,7399	0,000857	0,0010	0,8900-0,8999	0,000647	0,0015
0,7400-0,7499	0,000844	0,0010	0,9000-0,9099	0,000633	0,0015
0,7500-0,7599	0,000831	0,0010	0,9100-0,9199	0,000620	0,0015
0,7600-0,7699	0,000818	0,0011	0,9200-0,9299	0,000607	0,0015
0,7700-0,7799	0,000805	0,0011	0,9300-0,9399	0,000594	0,0016
0,7800-0,7899	0,000792	0,0011	0,9400-0,9499	0,000581	0,0016
0,7900-0,7999	0,000778	0,0012	0,9500-0,9599	0,000567	0,0016
0,8000-0,8099	0,000765	0,0012	0,9600-0,9699	0,000554	0,0017
0,8100-0,8199	0,000752	0,0012	0,9700-0,9799	0,000541	0,0017
0,8200-0,8299	0,000738	0,0013	0,9800-0,9899	0,000528	0,0017
0,8300-0,8399	0,000725	0,0013	0,9900-1,0000	0,000515	0,0018
0,8400-0,8499	0,000712	0,0013			

углеводороды занимают промежуточное положение. Поэтому фракции с одинаковыми температурами начала и конца кипения, полученные из парафинистых нефтей, имеют меньшую плотность по сравнению с аналогичными фракциями из нефтей нафтенового основания или из нефтей, содержащих значительную часть ароматических углеводородов.

Плотность отечественных дизельных топлив находится в довольно широких пределах, так как зависит не только от качества перерабатываемой нефти, но и от технологии получения топлива (табл. 1.28).

Низкотемпературные свойства характеризуются такими показателями, как температура помутнения $t_п$, предельная температура фильтруемости $t_{пр.ф}$ и температура застывания $t_{заст}$, последняя определяет условия складского хранения топлива, $t_п$ и $t_{пр.ф}$ — условия применения топлива, хотя в практике известны случаи использования топлив при температурах, приближающихся к $t_{заст}$. Для большинства дизельных топлив разница между $t_п$ и $t_{заст}$ составляет 5–7 °С. В том случае, если дизельное топливо не содержит депрессорных присадок, $t_{пр.ф}$ равна или на 1–2 °С ниже $t_п$. Для топлив, содержащих депрессорные присадки, $t_{пр.ф}$ на 10 °С и более ниже $t_п$.

В дизельных топливах содержится довольно много углеводородов с высокой температурой плавления. Для всех классов углеводородов справедлива закономерность: с ростом молекулярной массы, а следовательно, и температуры кипения повышается температура плавления углеводородов. Однако весьма сильное влияние на температуру плавления оказывает строение углеводорода. Углеводороды одинаковой молекулярной массы, но различного строения могут иметь значения температур плавления в широких пределах.

Наиболее высокие температуры плавления имеют парафиновые углеводороды с длинной неразветвленной цепью углеводородных атомов. Ароматические и нафтеновые углеводороды плавятся при низких температурах (кроме бензола, п-ксилола), однако эти углеводороды, но с длинной неразветвленной боковой цепью, плавятся при более высоких температурах. По мере разветвления цепи парафинового

1.28. Плотность отечественных дизельных топлив

Плотность при 20 °С, кг/м³	Марка топлива		
	летнее	зимнее	арктическое
Фактические значения	802-875	792-847	790-830
Наиболее типичные значения	830-850	800-830	800-820

углеводорода или боковой парафиновой цепи, присоединенной к ароматическим или нафтеновым кольцам, температура плавления углеводородов снижается.

Исследования показали, что при охлаждении дизельных топлив в первую очередь выпадают парафиновые углеводороды нормального строения. При этом температура помутнения топлива не зависит от суммарного содержания в нем н-парафиновых углеводородов. Так, при практически одинаковом содержании н-парафиновых углеводородов температуры помутнения различных фракций заметно различаются:

Суммарное содержание н-парафиновых углеводородов, %	27,4	27,5	27,1
Фракция, °С	210-220	250-260	260-270
Температура помутнения, °С	-51	-30	-23

На температуру помутнения влияет состав н-парафиновых углеводородов. Добавка даже небольшого количества высокоплавких н-парафиновых углеводородов приводит к резкому ее повышению:

Парафиновые углеводороды C_{20}-C_{25}, % (мас. доля)	0	5	10
Температура помутнения, °С	-35	-20	-15

В состав н-парафиновых углеводородов дизельных топлив входят парафины с длиной цепи C_6-C_{27} (для летнего топлива) и парафины с длиной цепи C_6-C_{19} (для зимнего топлива) (табл. 1.28).

Для обеспечения требуемых температур помутнения и застывания зимние топлива получают облегчением фракционного состава. Так, для получения дизельного топлива с $t_{заст}$ = -35 °С и $t_п$ = -25 °С требуется понизить температуру конца кипения топлива с 360 до 320 °С, а для топлива с $t_{заст}$ = -45 °С и $t_п$ = -35 °С — до 280 °С, что приводит к снижению отбора дизельного топлива от нефти с 42 до 30,5 и 22,4 % соответственно (табл. 1.29).

Сократить потери при производстве зимнего дизельного топлива можно введением в топливо депрессорных присадок (в сотых долях процента). Добавка депрессорных присадок позволяет снизить предельную температуру фильтруемости на 10–15 °С и температуру застывания на 15–20 °С. Введение присадок не влияет на $t_п$ топлива. Это связано с

1.28. Состав н-парафиновых углеводородов, %

Дизельное топливо по ГОСТ 305-82	C_6-C_{14}	C_{15}-C_{19}	C_{20}-C_{24}	Выше C_{25}	Всего
Летнее	19,3	53,2	26,2	1,3	100
Зимнее	95,9	4,1	-	-	100

1.29. Характеристики дизельных топлив с различными низкотемпературными свойствами*

Показатели	Фракции, °С						
	160-280	160-320	160-350	160-370	160-390	180-350	180-370
Выход на нефть, % (мас. доля)	22,4	30,5	35,9	39,2	42,0	32,2	35,5
Фракционный состав:							
начало кипения, °С	188	190	192	194	197	210	211
перегоняется при температуре, °С:							
10 % (об. доля)	198	201	203	205	211	228	227
50 % (об. доля)	226	245	258	265	274	272	275
90 % (об. доля)	260	295	320	336	354	327	340
96 % (об. доля)	267	305	330	346	358	337	345
98 % (об. доля)	273	306	332	347	362	338	347
Плотность при 20 °С, кг/м³	823	832	837	841	844	842	846
Кинематическая вязкость, при 20 °С, мм²/с	2,47	3,02	3,77	4,31	4,73	4,35	5,06
Температура, °С:							
застывания	-47	-35	-30	-19	-13	-22	-14
помутнения	-38	-28	-17	-11	-6	-13	-50
Топливо	З (-45 °С)	З (-35 °С)	Л	Л	Л	Л	Л

* Данные получены при разгонке на приборе АРН нефти трубопровода «Дружба».

механизмом действия депрессорных присадок, заключающемся в модификации структуры кристаллизующихся парафинов, уменьшении их размеров. При этом общее количество н-парафиновых углеводородов не снижается. Последнего можно достичь лишь в результате депарафинизации (цеолитной, карбамидной, каталитической) топлива.

Низкотемпературные свойства дизельных топлив с депрессорными присадками спецификациями всех стран оцениваются двумя показателями — $t_п$ и $t_{пр.ф}$. По ГОСТ 305–82 для топлива без депрессора низкотемпературные свойства регламентируют по $t_{заст}$ и $t_п$. Разность между $t_п$ и $t_{пр.ф}$ не должна превышать 10 °С. При снижении температуры топлива ниже температуры его предельной фильтруемости или в случае, когда $t_{пр.ф}$ — $t_п$ составляет более 10 °С, в топливе накапливается такое количество кристаллов парафинов, что они не могут находиться длительное время во взвешенном состоянии. Значительная часть их оседает на дно емкости, что затрудняет использование топлива.

Нередки случаи, когда для снижения температуры застывания на местах применения используют смеси летних сортов дизельных топлив

с реактивным топливом или бензином. При разбавлении дизельных топлив более низкокипящими компонентами приходится использовать значительное (до 80 %) количество разбавителя (табл. 1.30), что, в свою очередь, отражается на повышении износа двигателей и снижении цетанового числа.

Степень чистоты дизельных топлив. Этот показатель определяет эффективность и надежность работы двигателя, особенно топливной аппаратуры. Для плунжеров и гильз топливных насосов зазоры составляют 1,5–4,0 мкм. Частицы загрязнений, размер которых более 4,0 мкм, вызывают повышенный износ деталей топливной аппаратуры, что предопределяет и соответствующие требования к очистке топлива.

Чистоту топлива оценивают коэффициентом фильтруемости по ГОСТ 19006–73, который представляет собой отношение времени фильтрования через фильтр из бумаги БФДТ при атмосферном давлении десятой порции фильтруемого топлива к первой. На фильтруемость топлива влияет наличие воды, механических примесей, смолистых веществ, мыл нафтеновых кислот. В товарных дизельных топливах содержится, в основном, растворенная вода от 0,002 до 0,008 % (гидридкальциевый метод определения), которая не влияет на коэффициент фильтруемости. Нерастворенная в топливе вода — 0,01 % и более — приводит к повышению коэффициента фильтруемости. Однако влияние этого фактора неоднозначно. Присутствие в топливе поверхностно-активных веществ мыл нафтеновых кислот, смолистых соединений усугубляет отрицательное влияние эмульсионной воды на фильтруемость топлив. Достаточно $(15–20)\cdot10^{-4}$ % мыл нафтеновых кислот, образующихся при защелачивании топлив, чтобы коэффициент фильтруемости повысился с 2 до 5.

Содержание механических примесей в товарных дизельных топливах, выпускаемых нефтеперерабатывающими предприятиями,

1.30. Влияние керосина и бензина на низкотемпературные свойства летнего дизельного топлива

Температура, °С	Летнее дизельное топливо	Топливо ТС-1, %				Бензин А-76, %			
		10	20	30	80	10	20	30	80
Застывания	-12	-15	-20	-20	-44	-15	-19	-22	-49
Помутнения	-5	-5	-7	-10	-21	-6	-7	-9	-25
Предельной фильтруемости	-6	-6	-7	-9	-25	-6	-10	-13	-26

составляет 0,002–0,004 % (отсутствие по ГОСТ 6370–83). Это количество не отражается на коэффициенте фильтруемости при исключении других отрицательных факторов. Коэффициент фильтруемости дизельных топлив, отправляемых с предприятий, находится в пределах 1,5–2,5.

Температура вспышки определяет пожароопасность топлива. Согласно ГОСТ 305–82 предусматривается выпуск топлива с температурой вспышки не ниже 40 °С — для дизелей общего назначения и не ниже 62 °С — для тепловозных и судовых дизелей. Температура вспышки является функцией содержащихся в топливе низкокипящих фракций (рис. 1.11). Повысить температуру вспышки дизельного топлива можно, повысив температуру начала кипения, а следовательно, снизив отбор топлива от нефти.

Коррозионная агрессивность. Стандартами на дизельные топлива регламентируются следующие показатели качества, характеризующие их коррозионную агрессивность: содержание общей серы, содержание меркаптановой серы и сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, испытание на медной пластинке.

Современная технология получения дизельных топлив практически исключает возможность присутствия в них элементной серы и сероводорода в количествах, вызывающих коррозионное воздействие на металлы. Отсутствие элементной серы и сероводорода надежно контролируется испытанием на медной пластинке. Топливо выдерживает эти испытания, если содержание свободной серы не выше 0,0015 %, сероводорода не более 0,0003 %.

Общее содержание серы мало характеризует коррозионную агрессивность топлива по отношению к металлам. При увеличении содержания

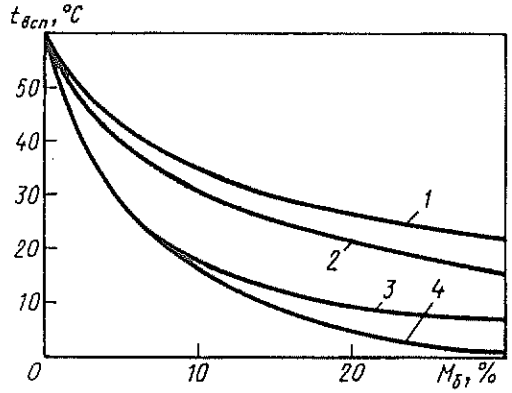

Рис. 1.11. Зависимость температуры вспышки дизельного топлива $t_{всп}$ от массовой доли бензиновых фракций $M_б$:
1 — фракция 105-180 °С;
2 — 80-120 °С; *3* — 62-180 °С;
4 — 62-105 °С

серы с 0,18 до 1,0 %, но незначительном повышении содержания меркаптановой серы с 0,005 до 0,009 %, коррозионная агрессивность топлива почти не изменяется.

Большое влияние на коррозионную агрессивность дизельных топлив оказывает глубина их гидроочистки, так как при этом вместе с сернистыми и ароматическими соединениями удаляются поверхностно-активные вещества, в результате чего ухудшаются защитные свойства топлив. Удаление поверхностно-активных веществ приводит к снижению способности топлива вытеснять влагу с поверхности металлов и образовывать защитную пленку.

Коррозионная агрессивность дизельных топлив, в основном, зависит от содержания меркаптановой серы. Так, повышение содержания меркаптановой серы с 0,01 % (норма ГОСТ) до 0,06 % увеличивает коррозию более чем в 2 раза.

Коррозионная активность меркаптановой серы в дизельном топливе существенно зависит от присутствия в нем свободной воды и растворенного кислорода, которые ускоряют процесс образования меркаптидов.

Прямогонные дизельные топлива обладают более высокими защитными свойствами по сравнению с гидроочищенными. Сравнительно низкими защитными свойствами обладает газойль каталитического крекинга.

Защитные свойства мало зависят от фракционного состава. Зимнее и летнее топлива, полученные по одинаковой технологии, обладают примерно одинаковыми защитными свойствами.

Причиной повышенной коррозии и износа является присутствие в топливе металлов. В табл. 1.31 приведены данные о содержании металлов в товарных дизельных топливах. Считают, что при содержании $V > 5 \cdot 10^{-4}$ % и $Na > 20 \cdot 10^{-4}$ % срок службы лопаток газовых турбин снижается в 2—3 раза.

Противоизносные свойства. Топлива являются смазочным материалом для движущихся деталей топливной аппаратуры быстроходных дизелей, пар трения плунжерных топливных насосов, запорных игл, штифтов и других деталей.

Смазывающие свойства топлив значительно хуже, чем у масел, так как и вязкость, и содержание поверхностно-активных веществ (ПАВ) в топливах меньше, чем их содержание в маслах. Противоизносные свойства топлив улучшаются с увеличением содержания ПАВ, вязкости и температуры выкипания.

1.31. Содержание металлов в дизельных топливах ($\times 10^{-4}$ %), полученных на различных предприятиях

Номер образца	V	Ni	Fe	Cu	Pb	Ca	Al	Na	Mo
1	<0,5	<0,3	0,35	<0,07	<0,3	0,15	<0,7	0,08	<0,3
2	<0,5	<0,3	0,35	<0,07	0,2	0,1	<0,7	0,02	<0,3
3	<0,5	<0,3	0,55	0,07	0,2	0,17	<0,7	0,18	0,3
4	<0,5	<0,3	0,35	0,07	0,2	0,3	<0,7	0,15	<0,3
5	<0,5	<0,3	0,35	<0,07	0,3	0,3	<0,7	0,12	<0,3
6	<0,5	<0,3	0,4	<0,07	0,3	<0,15	<0,7	<0,07	<0,3
7	<0,5	<0,3	0,4	0,06	0,2	0,12	<0,7	<0,07	<0,3
8	0,3	1,3	0,45	<0,07	0,3	0,1	<0,7	<0,07	<0,3
9	<0,5	<0,1	0,3	0,06	0,35	<0,15	<0,7	<0,07	<0,3
10	<0,5	<0,1	0,3	0,06	1,0	0,07	<0,7	0,2	<0,3
11	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	0,6	<0,1	-	0,05	<0,3

В связи с ужесточением требований к качеству дизельных топлив по содержанию серы и переходом на выработку экологически чистых топлив, гидроочистку их проводят в жестких условиях. При этом из дизельных топлив удаляются соединения, содержащие серу, кислород и азот, что негативно влияет на их смазывающую способность. Наиболее реальным способом улучшения смазывающих свойств дизельного топлива является применение противоизносных присадок.

Химическая стабильность. Химическая стабильность дизельного топлива — способность противостоять окислительным процессам, протекающим при хранении. Эта проблема возникла с углублением переработки нефти и вовлечением в состав товарного дизельного топлива среднедистиллятных фракций вторичной переработки нефти, таких, как легкого газойля каталитического крекинга, висбрекинга, коксования. Последние обогащены ненасыщенными углеводородами, включая диолефины и дициклоолефины, а также содержат значительное количество сернистых, азотистых и смолистых соединений. Наличие гетероатомных соединений, особенно в сочетании с ненасыщенными углеводородами, способствует их окислительной полимеризации и поликонденсации, тем самым влияя на образование смол и осадков. Самыми сильными промоторами смоло- и осадкообразования являются азотистые и сернистые соединения.

Химическая стабильность оценивается по количеству образовавшегося в топливе осадка (мг/100 мл) по ASTM D 2274. Легкий газойль каталитического крекинга (ЛГКК) по химической стабильности сущест-

венно уступает прямогонным или гидроочищенным дистиллятным фракциям:

Содержание ЛГКК 43/107 в топливе, % ...	0	10	20	30	40	100	Норма
Осадок, мг/100 мл	1,2	5,5	7,2	8,9	10,3	21,5	<2,0

Ассортимент, качество и состав дизельных топлив

Нефтеперерабатывающей промышленностью вырабатывается дизельное топливо по ГОСТ 305–82 трех марок (табл. 1.32): Л — летнее, применяемое при температурах окружающего воздуха 0 °С и выше; З — зимнее, применяемое при температурах до -20 °С (в этом случае зимнее дизельное топливо должно иметь $t_{заст}$ < -35 °С и $t_{п}$ < -25 °С), или зимнее, применяемое при температурах до -30 °С, тогда топливо должно иметь $t_{заст}$ < -45 °С и $t_{п}$ <-35 °С), марки А — арктическое, температура применения которого до -50 °С. Содержание серы в дизельном топливе марок Л и З не превышает 0,2 % — для I вида топлива и 0,5 — для II вида топлива, а марки А — 0,4 %. Для удовлетворения потребности в дизельном топливе разрешаются по согласованию с потребителем выработка и применение топлива с температурой застывания 0 °С без нормирования температуры помутнения.

В соответствии с ГОСТ 305–82 принято следующее условное обозначение дизельного топлива: летнее топливо заказывают с учетом содержания серы и температуры вспышки (Л-0,2-40), зимнее — с учетом содержания серы и температуры застывания (З-0,2-минус 35). В условное обозначение на арктическое дизельное топливо входит только содержание серы: А-0,2.

Дизельное топливо (ГОСТ 305–82) получают компаундированием прямогонных и гидроочищенных фракций в соотношениях, обеспечивающих требования стандарта по содержанию серы. В качестве сырья для гидроочистки нередко используют смесь среднедистиллятных фракций прямой перегонки и вторичных процессов, чаще прямогонного дизельного топлива и легкого газойля каталитического крекинга. Содержание серы в прямогонных фракциях в зависимости от перерабатываемой нефти колеблется в пределах 0,8–1,0 % (для сернистых нефтей), а содержание серы в гидроочищенном компоненте — от 0,08 до 0,1 %.

Дизельное экспортное топливо (ТУ 38.401-58-110–94) — вырабатывают для поставок на экспорт, содержание серы 0,2 % (табл. 1.33). Исходя из требований к содержанию серы, дизельное экспортное топливо получают гидроочисткой прямогонных дизельных фракций. Для оценки его качества по требованию заказчиков определяют

1.32. Характеристики дизельного топлива (ГОСТ 305–82)

Показатели	Норма для марок		
	Л	З	А
Цетановое число, не менее	45	45	45
Фракционный состав:			
50 % перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	255
90 % перегоняется при температуре (конец перегонки), °С, не выше	360	340	330
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм²/с	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5-4,0
Температура застывания, °С, не выше, для климатической зоны:			
умеренной	-10	-35	-
холодной	-	-45	-55
Температура помутнения, °С, не выше, для климатической зоны:			
умеренной	-5	-25	-
холодной	-	-35	-
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже:			
для тепловозных и судовых дизелей и газовых турбин	62	40	35
для дизелей общего назначения	40	35	30
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:			
вида I	0,20	0,20	0,20
вида II	0,50	0,50	0,40
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Содержание фактических смол, мг/100 см³ топлива, не более	40	30	30
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5	5	5
Йодное число, г I_2/100 г топлива, не более	6	6	6
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,20	0,30	0,30
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	860	840	830

Примечание. Для топлив марок Л, З, А: содержание сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды — отсутствие, испытание на медной пластинке — выдерживают.

дизельный индекс (а не цетановое число, как принято ГОСТ 305–82). Кроме того, вместо определения содержания воды и коэффициента фильтруемости экспресс-методом устанавливают прозрачность топлива при температуре 10 °С.

1.33. Характеристики дизельного экспортного топлива (ТУ 38.401-58-110–94)

Показатели	Норма для марок	
	ДЛЭ	ДЗЭ
Дизельный индекс, не менее	53	53
Фракционный состав: перегоняется при температуре, °С, не выше:		
50 %	280	280
90 %	340	330
96 %	360	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм²/с	3,0-6,0	2,7-6,0
Температура, °С:		
застывания, не выше	-10	-35
предельной фильтруемости, не выше	-5	-25
вспышки в закрытом тигле, не ниже	65	60
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:		
вида I	0,2	0,2
вида II	0,3	-
Испытание на медной пластинке	Выдерживает	
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	3,0	3,0
Зольность, %, не более	0,01	0,01
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,2	0,2
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0
Содержание механических примесей	Отсутствие	
Прозрачность при температуре 10 °С	Прозрачно	
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	860	845

Зимние дизельные топлива с депрессорными присадками. С 1981 г. вырабатывают зимнее дизельное топливо марки ДЗп по ТУ 38.101889–81 (табл. 1.34). Получают его на базе летнего дизельного топлива с $t_п$ = = -5 °С. Добавка сотых долей присадки обеспечивает снижение предельной температуры фильтруемости до -15 °С, температуры застывания до -30 °С и позволяет использовать летнее дизельное топливо в зимний период времени при температуре до -15 °С.

Для применения в районах с холодным климатом при температурах -25 и -45 °С вырабатывают топлива по ТУ 38.401-58-36–92. Согласно техническим условиям получают две марки топлива: ДЗп-15/-25 (базовое дизельное топливо с температурой помутнения -15 °С, товарное — с предельной температурой фильтруемости -25 °С) и арктическое дизельное топливо ДАп-35/-45 (базовое топливо с температурой помутнения -35 °С, товарное — с предельной температурой фильтруемости -45 °С).

1.34. Характеристики зимних дизельных топлив с депрессорными присадками

Показатели	Нормы для марок		
	ДЗп	ДЗп-15/-25	ДАп-35/-45
	ТУ 38.101889 –81	ТУ 38.401-58-36-92	
Цетановое число, не менее	45	45	40
Фракционный состав:			
перегоняется при температуре, °С, не выше:			
50 %	280	280	280
90 % (конец перегонки)	360	360	340
Кинематическая вязкость для дизелей общего назначения при 20 °С, мм²/с	3,0-6,0	1,8-6,0	1,5-5,0
Температура, °С, не выше:			
застывания	-30	-35	-55
помутнения	-5	-15	-35
предельной фильтруемости	-15	-25	-45
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже:			
для дизелей общего назначения	40	40	35
для тепловозных и судовых дизелей	62	35	30
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:			
вида I	0,2	0,2	0,2
вида II	0,5	0,5	0,4
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Концентрация фактических смол, мг/100 см³ базового топлива, не более	40	-	-
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5	5	5
Йодное число, г I_2/100 г топлива, не более	6	5	5
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,3	0,2	0,2
Коэффициент фильтруемости, не более:			
для базового топлива	2,0	-	-
для топлива с присадкой	3,0	3,0	3,0
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	860	860	840
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0	2,0

Примечание. Для топлив всех марок: содержание сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды — отсутствие; испытание на медной пластинке — выдерживают.

7 — 2538

Экологически чистое дизельное топливо выпускают по ТУ 38.1011348–89. Технические условия предусматривают выпуск двух марок летнего (ДЛЭЧ-В и ДЛЭЧ) и одной марки зимнего (ДЗЭЧ) дизельного топлива с содержанием серы до 0,05 % (вид I) и до 0,1 % (вид II).

С учетом ужесточающихся требований по содержанию ароматических углеводородов введена норма по этому показателю: для топлива марки ДЛЭЧ-В — не более 20 %, для топлива марки ДЗЭЧ — не более 10 % (табл. 1.35). Экологически чистые топлива вырабатывают гидроочисткой дизельного топлива, допускается использование в сырье гидроочистки дистиллятных фракций вторичных процессов.

Городское дизельное топливо (ТУ 38.401-58-170–96) предназначено для использования в г. Москве (табл. 1.36). Основное отличие город-

1.35. Характеристики экологически чистого дизельного топлива (ТУ 38.1011348–90)

Показатели	Нормы для марок		
	ДЛЭЧ-В	ДЛЭЧ	ДЗЭЧ
Цетановое число, не менее	45	45	45
Фракционный состав:			
перегоняется при температуре, °С, не выше:			
50 %	280	280	280
96 % (конец перегонки)	360	360	340
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм²/с	3,0-6,0	3,0-6,0	1,8-5,0
Температура, °С, не выше:			
застывания	-10	-10	-35
предельной фильтруемости	-5	-5	-25
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже:			
для тепловозных и судовых дизелей и газовых турбин	40	40	35
для дизелей общего назначения	62	62	40
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:			
вида I	0,05	0,05	0,05
вида II	0,1	0,1	0,1
Испытание на медной пластинке		Выдерживает	
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5,0	5,0	5,0
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксуемость 10%-ного остатка, %, не более	0,2	0,2	0,2
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0	2,0
Содержание механических примесей и воды		Отсутствие	
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	860	860	840
Содержание ароматических углеводородов, %, не более	20	-	10

1.36. Характеристики дизельного топлива с улучшенными экологическими свойствами (городского) по ТУ 38.401-58-170-96

Показатели	Нормы для марок				
	ДЭК-Л	ДЭК-З	ДЭКп-Л	ДЭКп-З, минус 15°С	ДЭКп-З, минус 20°С
Цетановое число, не менее	49	45	49	45	45
Фракционный состав: перегоняется при температуре, °С, не выше:					
50%	280	280	280	280	280
96% (конец перегонки)	360	340	360	360	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм²/с	3,0-6,0	1,8-5,0	3,0-6,0	1,8-6,0	1,8-6,0
Температура, °С, не выше:					
застывания	-10	-35	-10	-25	-35
предельной фильтруемости	-5	-25	-5	-15	-25
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже:					
для тепловозных и судовых дизелей и газовых турбин	62	40	62	40	40
для дизелей общего назначения	40	35	40	35	35
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:					
вида I	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
вида II	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Йодное число, г I_2/100 г топлива	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Коэффициент фильтруемости (до введения присадки в топливо), не более	2	2	2	2	2
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	860	860	860	860	860

Примечание. Для дизельных топлив всех марок: содержание сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды — отсутствие; испытание на медной пластинке — выдерживают.

ского дизельного топлива от экологически чистого — улучшенное качество благодаря использованию присадок (летом — антидымной, зимой — антидымной и депрессорной). Добавка присадок в городское дизельное топливо снижает дымность и токсичность отработавших газов дизелей на 30-50 %. В качестве антидымной присадки могут быть использованы отечественная ЭФАП-Б и зарубежная Любризол 8288, допущенные к применению. Активным веществом этих продуктов является барий.

Депрессорные присадки, улучшающие низкотемпературные свойства топлива представляют собой, в основном, сополимеры этилена с винилацетатом зарубежного производства.

Европейский стандарт EN 590 действует в странах Европейского экономического сообщества с 1996 г. Стандарт предусматривает выпуск дизельных топлив для различных климатических регионов. Общими для дизельных топлив являются требования по температуре вспышки — не ниже 55 °С, косуемости 10 %-ного остатка — не более 0,30 %, зольности — не более 0,01 %, содержанию воды — не более 200 ppm, механических примесей — не более 24 ppm, коррозии медной пластинки — класс 1, устойчивости к окислению — не более 25 г осадка/м³.

Для районов с умеренным климатом изготовляют 6 марок дизельного топлива: A, B, C, D, E и F с предельной температурой фильтруемости +5, 0, -5, -10, -15 и -20 °С соответственно.

Для районов с холодным климатом предусмотрен выпуск пяти классов дизельного топлива со следующими низкотемпературными свойствами:

Класс	0	1	2	3	4
Температура помутнения, °С, не выше	-10	-16	-22	-28	-34
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	-20	-26	-32	-38	-44

В 1996 г. в Европе введены ограничения на содержание серы в дизельных топливах — не более 0,05 %. Таким требованиям отвечают отечественные ТУ 38. 1011348—89.

Котельные, тяжелые моторные, газотурбинные, судовые и печное топлива

Котельные топлива применяют в стационарных паровых котлах, в промышленных печах. Тяжелые моторные и судовые топлива используют в судовых энергетических установках. К котельным топливам относят топочные мазуты марок 40 и 100, вырабатываемые по ГОСТ 10585—75, к тяжелым моторным топливам — флотские мазуты Ф-5 и Ф-12 по

ГОСТ 10585—75, моторные топлива ДТ и ДМ — по ГОСТ 1667—68. К судовым топливам относят дистиллятное топливо ТМС по ТУ 38.101567—87 и остаточные топлива СВТ, СВЛ, СВС по ТУ 38.1011314—90.

В общем балансе перечисленных топлив основное место занимают мазуты нефтяного происхождения. Жидкие котельные топлива из сланцев, получаемые на установках полукоксования горючих сланцев и угля, — продукты коксохимической промышленности — составляют лишь небольшую долю общего объема производства топлив.

Нефтяное топливо для газотурбинных установок предназначено для применения в стационарных паротурбинных и парогазовых энергетических установках, а также в газотурбинных установках водного транспорта. Газовые турбины являются относительно новым видом теплового двигателя. Благодаря своим специфическим свойствам, таким как сравнительно малая масса на единицу мощности, способность к быстрому запуску и работе без охлаждающей жидкости, возможность полной автоматизации и дистанционного управления, газовые турбины получили широкое применение в авиации, а затем в различных отраслях промышленности и транспорта. Их используют также для покрытия пиков нагрузки на электрических станциях. Общей тенденцией газотурбостроения является увеличение КПД и мощности установок путем повышения температуры газов перед турбиной. Это определяет требования к качеству топлива.

Печное бытовое топливо предназначено для сжигания в отопительных установках небольшой мощности, расположенных непосредственно в жилых помещениях, а также в теплогенераторах средней мощности, используемых в сельском хозяйстве для приготовления кормов, сушки зерна, фруктов, консервирования и других целей.

Котельные, тяжелые моторные и судовые топлива

Требования, предъявляемые к качеству котельных, тяжелых моторных и судовых топлив, устанавливающие условия их применения, определяются такими показателями качества, как вязкость, содержание серы, теплота сгорания, температуры застывания и вспышки, содержание воды, механических примесей и зольность.

Свойства

Вязкость. Эта техническая характеристика является важнейшей для котельных и тяжелых моторных топлив. Она определяет методы и продолжительность сливно-наливных операций, условия перевозки и

перекачки, гидравлические сопротивления при транспортировании топлива по трубопроводам, эффективность работы форсунок. От вязкости в значительной мере зависят скорость осаждения механических примесей при хранении, а также способность топлива отстаиваться от воды.

При положительных температурах (50 и 80 °С) условную вязкость топлив определяют по ГОСТ 6258–85 с помощью вискозиметра ВУМ. В США для определения вязкости используют вискозиметр Сейболта универсальный (для маловязких мазутов) и Сейболта Фурола (для высоковязких мазутов), в Англии — вискозиметр Редвуда. Между определенными в различных единицах вязкостями существует зависимость, представленная в табл. 1.37. В ряде спецификаций указывают вязкость, найденную экспериментально и пересчитанную в кинематическую (мм²/с).

На практике часто используют вязкостно-температурные кривые (рис. 1.12 и 1.13). С повышением температуры различие в вязкости топлив существенно уменьшается.

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

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

где ν — кинематическая вязкость, мм²/с: A и B — коэффициенты, T — абсолютная температура, К.

Вязкость не является аддитивным свойством топлива. При смешении различных котельных топлив вязкость смеси следует определять экспериментально. Ориентировочно вязкость таких смесей можно определять по номограмме (рис. 1.14).

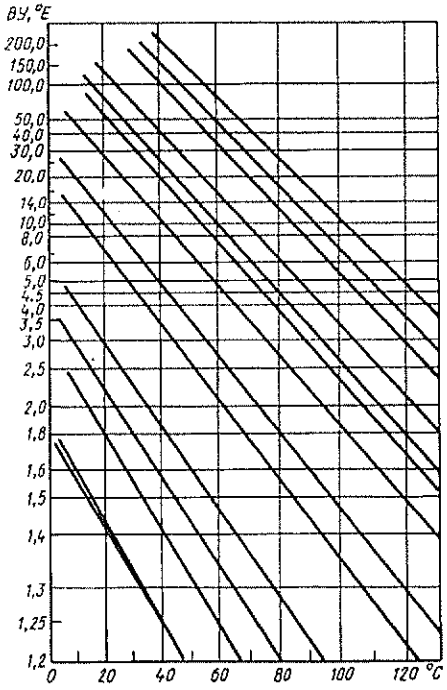

Рис. 1.12. Зависимость условной вязкости ВУ мазута от температуры

1.37. Таблица перевода вязкости в различных единицах

Кинематическая, мм²/с	Условная, °ВУ	по Сейболту, с (130 °F)	по Редвуду (R), с (140 °F)	Кинематическая, мм²/с	Условная, °ВУ	по Сейболту, с (130 °F)	по Редвуду (R), с (140 °F)
2	1,119	32,66	30,95	95	12,51	439,7	387,8
4	1,307	39,17	35,95	100	13,17	462,9	408,2
6	1,479	45,59	41,05	105	13,83	486,1	428,6
8	1,651	52,10	46,35	110	14,48	509,2	449,0
10	1,831	58,91	52,00	115	15,14	532,3	469,4
11	1,924	62,42	55,00	120	15,80	555,4	489,8
12	2,020	66,03	58,10	125	16,45	578,7	510,3
13	2,118	69,73	61,30	130	17,11	601,8	530,7
14	2,218	73,54	64,55	135	17,77	624,8	551,1
15	2,32	77,35	67,95	140	18,43	648,1	571,5
16	2,43	81,25	71,40	145	19,08	671,2	591,9
17	2,53	85,26	74,85	150	19,74	694,4	612,3
18	2,64	89,37	78,45	155	20,40	717,5	632,7
19	2,75	93,48	82,10	160	21,06	740,6	653,2
20	2,87	97,69	85,75	165	21,71	763,8	673,6
22	3,10	106,2	93,25	170	22,37	786,9	693,9
24	3,34	114,8	100,9	175	23,03	810,2	714,4
26	3,58	123,5	108,6	180	23,69	833,3	734,8
28	3,82	132,4	116,5	185	24,35	856,4	755,2
30	4,07	141,2	124,4	190	25,00	879,5	775,6
32	4,32	150,0	132,3	200	26,3	925,8	816,4
34	4,57	159,0	140,2	210	27,6	972,0	857,2
36	4,82	168,0	148,2	220	28,9	1018,4	898,0
38	5,08	177,0	156,2	230	30,3	1064,7	938,9
40	5,33	186,0	164,3	240	31,6	1111,0	979,7
42,5	5,66	197,4	174,4	250	32,9	1157,3	1020,5
45	5,98	208,8	184,5	260	34,2	1203,5	1061,4
47,5	6,30	220,3	194,6	270	35,5	1249,8	1102,2
50	6,62	231,8	204,7	280	36,8	1296,1	1143,0
52,5	6,95	243,4	214,8	290	38,2	1342,4	1183,8
55	7,28	254,9	225,0	300	39,4	1388,7	1224,6
57,5	7,60	266,4	235,2	320	42,1	1481,3	1306,2
60	7,93	277,9	245,3	340	44,7	1573,8	1387,9
65	8,58	301,0	265,7	360	47,4	1666,4	1469,6
70	9,23	324,0	286,0	380	50,0	1759,0	1551,2
75	9,89	347,1	306,1	400	52,6	1852	1633
80	10,54	370,3	326,6	450	59,2	2083	1837
85	11,20	393,4	347,0	500	65,8	2315	2041
90	11,86	416,6	367,4	1000	131,6	4629	4082

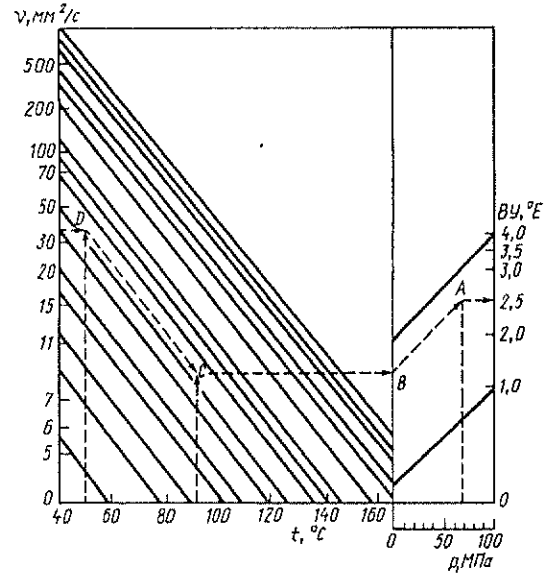

Рис. 1.13. Зависимость кинематической ν и условной ВУ вязкости топлива от температуры *t* и давления *p*

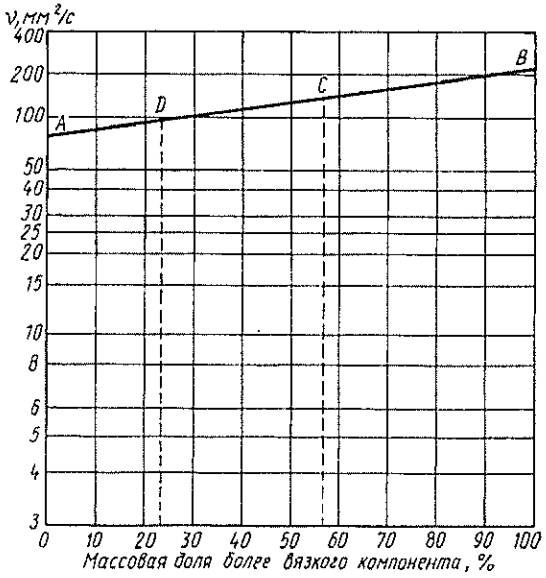

Рис. 1.14. Номограмма для определения кинематической вязкости ν топливных смесей

Достаточно хорошие результаты дает расчет по формуле:

$$\lg\lg(\nu_{см} + 0{,}8) = x\lg\lg(\nu_1 + 0{,}8) + (1 - x)\cdot\lg\lg(\nu_2 + 0{,}8),$$

где ν_1, ν_2, $\nu_{см}$ — кинематическая вязкость компонентов 1, 2 и смеси, мм²/с; x — содержание одного из компонентов, %.

Котельные и тяжелые моторные топлива являются структурированными системами. Для их характеристики, особенно при выполнении сливно-наливных операций, помимо ньютоновской вязкости необходимо учитывать реологические свойства топлив. Вязкость при низких температурах определяют по ГОСТ 1929–87 с помощью ротационного вискозиметра «Реотест».

Принцип действия прибора «Реотест» основан на измерении сопротивления, которое оказывает испытуемый продукт вращающемуся внутреннему цилиндру. Это сопротивление зависит только от внутреннего трения жидкости и прямо пропорционально абсолютной вязкости. По мере того как скорость сдвига увеличивается, вязкость уменьшается. Когда вся структура полностью разрушена, вязкость становится постоянной. Ее называют динамической. Методика позволяет определять как вязкость полностью разрушенной структуры мазута η, так и начальное напряжение τ_0, являющееся мерой прочности структуры мазута, значение которого необходимо знать при расчете трубопроводов. На рис. 1.15 представлена типичная зависимость динамической вязкости мазута η и напряжения сдвига τ от скорости сдвига *r*. Продолжение прямолинейного участка реологической кривой до пересечения с осью позволяет получить начальное усилие сдвига τ_0 Пользуясь такими вискозиметрами, можно рассчитать перепад давлений и объемную скорость потока для ламинарного и турбулентного режимов.

Для всех остаточных топлив характерна аномалия вязкости: после термической обработки или соответствующего механического воздействия повторно определяемая вязкость при той же температуре оказывается ниже начальной. Объясняется это присутствием в котельных топливах высокомолекулярных парафиновых углеводородов и асфальто-смолистых веществ: чем их больше в топливе, тем выше вязкость и начальное напряжение сдвига

$$\lg\eta_{20} = 0{,}0227\ \Pi\cdot A_c.$$

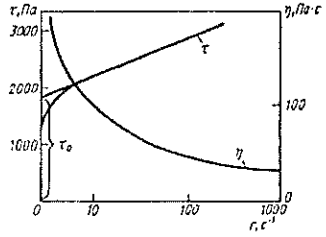

Рис. 1.15. Зависимость динамической вязкости η и напряжения сдвига τ от скорости сдвига *r*

где $П$ — содержание парафиновых углеводородов; $А_с$ — содержание асфальто-смолистых веществ.

Содержание серы. В остаточных топливах содержание серы зависит от типа перерабатываемой нефти (сернистой или высокосернистой) и технологии получения топлива. Сера в остаточных топливах находится в связанном состоянии (меркаптановая сера, сероводород). Наиболее коррозионно-агрессивных соединений — меркаптановой серы — в остаточных топливах меньше, чем в среднедистиллятных фракциях. Поэтому коррозионная агрессивность сернистых мазутов ниже, чем сернистых светлых нефтепродуктов.

При сжигании сернистых топлив сера превращается в оксиды — SO_2 и SO_3. Наличие в дымовых газах SO_3 повышает температуру начала конденсации влаги — точку росы. В связи с тем, что температура хвостовых поверхностей котлов (воздухоподогревателей, экономайзеров) близка к точке росы дымовых газов, на этих поверхностях конденсируется серная кислота, которая и вызывает усиленную коррозию металла. На рис. 1.16 показана зависимость точки росы от содержания серы.

Содержание серы в мазутах оказывает значительное влияние на экологическое состояние воздушного бассейна. В ряде ведущих капиталистических стран в последние годы приняты ограничения по содержанию серы в мазутах до уровня 0,5–1,0 %.

Теплота сгорания. Это одна из важнейших характеристик топлива, от которой зависит его расход, особенно для топлив, применяемых в судовых энергетических установках, так как при заправке топливом с более высокой теплотой сгорания увеличивается дальность плавания. Теплота сгорания зависит от отношения Н/С, а также элементного состава топлива и его зольности. Различают высшую и низшую теплоту сгорания. При определении высшей теплоты сгорания учитывают, что часть тепла, выделяющегося при сгорании топлива, расходуется на конденсацию паров воды, образовавшейся при сгорании водорода в топливе. При определении низшей теплоты сгорания тепло, затрачиваемое на образование воды, не учитывается. Стандарты на котельные топлива регламентируют низшую теплоту сгорания. Для котельных

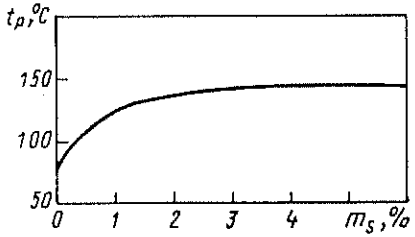

Рис. 1.16. Зависимость точки росы $t_р$ от массовой доли серы m_s

топлив она находится в пределах 39900–41454 кДж/кг при плотности 940–970 кг/м³ в то время, как для дизельных топлив плотностью 835–855 кг/м³ теплота сгорания составляет примерно 42000 Дж/кг. Теплота сгорания высокосернистых топлив всегда ниже, чем сернистых или малосернистых. Зная соотношение углерода и водорода и плотность топлива, по номограмме (рис. 1.17) можно найти низшую теплоту сгорания.

Температура застывания. Как и вязкость, температура застывания характеризует условия слива и перекачки топлива. Она зависит от двух основных факторов: качества перерабатываемой нефти и способа получения топлива. Для топочных мазутов марок 40 и 100 $t_{заст}$ находится в пределах 22–25 °С и практически постоянна при хранении топлив. Тяжелые моторные топлива, получаемые смешением остаточных и дистиллятных фракций, довольно не стабильны, их $t_{заст}$ при хранении может повышаться на 4–15 °С. Явление это присуще только топливам, содержащим остаточные компоненты— такие как флотский мазут Ф-5, моторное топливо ДТ и ДМ и экспортный мазут (табл. 1.38). Полагают, что повышение $t_{заст}$ при хранении (регрессия) обусловлено взаимодействием парафиновых углеводородов и асфальтено-смолистых веществ с образованием более жесткой кристаллической структуры. Это свойство топлив очень затрудняет их применение и не позволяет гарантировать соответствующее качество после хранения и транспортирования.

Большое влияние на $t_{заст}$ оказывают температура нагрева, скорость охлаж-

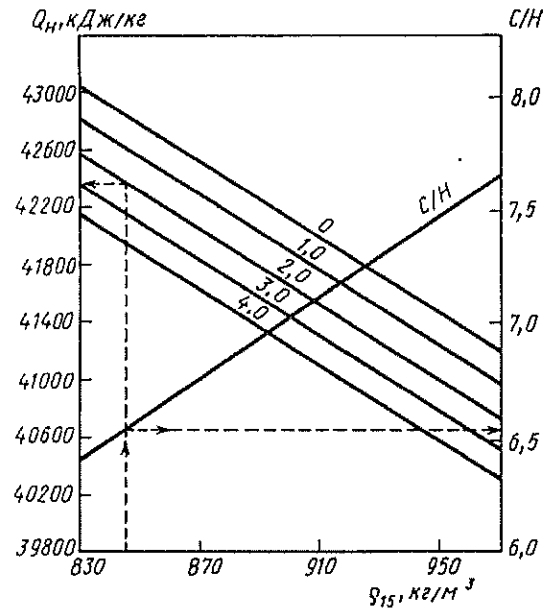

Рис. 1.17. Номограмма для определения низшей теплоты сгорания топлив $Q_н$ в зависимости от плотности ρ_{15} и соотношения С/Н (цифра у линии — массовая доля серы, %)

1.38. Изменение температуры застывания, °С, моторных и котельных топлив при хранении

После термообработки (95-100 °С)	После хранения в течение					
	1 сут.	2 нед.	1 мес.	3 мес.	6 мес.	12 мес.
Флотский мазут Ф-5						
-5	1	5	7	7	9	11
-6	-4	2	2	2	6	6
-9	-1	-1	-1	-1	2	2
-6	0	6	6	6	16	16
-11	-7	-5	-5	-5	-5	-5
-16	-15	-13	-13	-13	-13	-13
-15	-11	-7	-5	-5	-5	-5
-13	-10	-4	-2	-2	-2	-2
-12	-9	-1	-1	7	9	9
-11	-10	-8	-6	-6	-5	-5
Экспортный мазут						
-2	2	8	10	10	10	10
-2	6	10	10	12	12	12
1	5	7	7	10	10	12
-8	-3	1	2	2	4	4
-10	-7	-5	-5	-3	-3	-3
0	6	6	6	6	7	7
Моторное топливо ДТ						
-6	-4	-2	-2	-2	-2	-2
-8	-8	-8	-8	-6	-2	-2
-11	-9	-5	-5	-5	-5	-5
Мазут марки 40						
14	16	16	18	18	18	18
8	8	12	12	15	15	15
20	22	22	22	22	22	22
16	18	18	18	18	-	18
22	22	22	22	24	24	24
Мазут марки 100						
34	34	36	36	36	36	36
22	22	22	22	22	22	22
23	25	25	25	25	25	25
24	26	26	26	26	26	26

дения, наличие или отсутствие перемешивания и даже диаметр сосуда, в котором она определяется. Для котельных топлив $t_{заст}$ изменяется в зависимости от условий термической обработки (рис. 1.18). С повышением температуры термообработки до 40–70 °С $t_{заст}$ топлива возрастает. Дальнейшее повышение температуры термообработки до 100 °С приводит к резкому ее снижению, что связано с изменением структуры топлива, а именно, с повышением температуры в структуре мазута, представляющего собой сплошную сетку, составленную из мелких игл с вкраплением в нее крупных кристаллических конгломератов парафинов, последние постепенно исчезают, и структура становится однородно сетчатой. Не менее важна и скорость охлаждения топлив. С увеличением скорости охлаждения $t_{заст}$, как правило, повышается вследствие возникновения большого числа центров кристаллизации, равномерно распределенных по всему объему и способствующих созданию прочной структурной решетки парафина.

Рассчитать $t_{заст}$ или установить ее значение во времени не представляется возможным, так как не удается учесть все факторы, влияющие на эту температуру, — продолжительность хранения, термические изменения, происходящие в процессе хранения.

Учитывая нестабильность $t_{заст}$, стандарты на флотский мазут, моторное топливо предусматривают гарантии изготовителя: по истечении 3 мес. хранения температура застывания не должна превышать установленного стандартом значения минус 5 °С — для флотского мазута и моторного топлива. Срок гарантии установлен, исходя из экспериментальных данных. Как правило, изменение $t_{заст}$ после 3 мес. хранения крайне редко.

Регрессия $t_{заст}$ обусловливает необходимость выработки

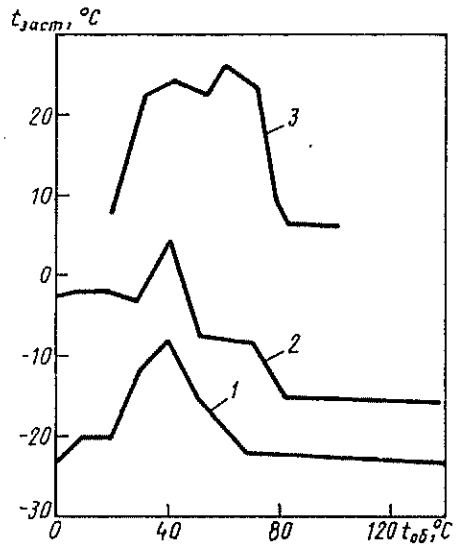

Рис. 1.18. Зависимость температуры застывания мазута $t_{заст}$ от температуры термической обработки $t_{об}$:
1 — вязкость 5,8 °ВУ при 50°С, $t_{заст}$ = -16°С; *2* — 9 °ВУ, $t_{заст}$ = -5 °С; *3* — 86 °ВУ, $t_{заст}$ = 22 °С

топлива с запасом качества по этому показателю, что приводит к вовлечению в состав таких продуктов неоправданно большого количества дизельного топлива. Так, для получения флотского мазута Ф-5 на нефтеперерабатывающем предприятии вовлекают в мазут 50–60 % дизельного топлива, а для получения топлива, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 10585–75 по всем показателям качества, кроме $t_{заст}$, достаточно 12,5–40 % дизельного топлива (табл. 1.39).

На снижение $t_{заст}$ котельных топлив влияет температура застывания дистиллятной фракции. Нередко полагают, что чем она ниже, тем меньше дистиллятной фракции требуется для получения товарного мазута. Это справедливо до определенного содержания дистиллятного компонента в товарном мазуте (рис. 1.19). Практика показала, что для снижения $t_{заст}$ мазута (когда используют 10–50 % дизельных фракций)

1.39. Характеристики флотского мазута без присадки и с депрессорной присадкой

Показатели	Образец № 1		Образец № 2	
	без присадки	0,01 % присадки	без присадки	0,05 % присадки
Состав, %:				
мазут прямогонный	40-50	87	45-50	70
дизельная фракция	60-50	13	55-60	30
Условная вязкость при 50 °С, °ВУ	1,2-2,0	3,63	1,6-3,1	5,0
Зольность, %	0,001-0,03	0,024	0,008-0,017	0,012
Массовая доля серы, %	0,7-1,2	1,34	1,1-1,5	1,44
Температура застывания после 3 мес. хранения, °С	-7...-11	-11	-7...-9	-16
Коксуемость, %	1,3-3,9	3,05	3,6 – 4.0	4,1

Показатели	Образец № 3		Образец № 4	
	без присадки	0,03 % присадки	без присадки	0,05 % присадки
Состав, %:				
мазут прямогонный	30-40	75	45-55	60
дизельная фракция	70-60	25	55-45	40
Условная вязкость при 50 °С, °ВУ	1,7-2,5	4,36	1,8-4,3	3,53
Зольность, %	0,018-0,023	0,040	0,014-0,018	0,038
Массовая доля серы, %	1,2-1,3	1,94	1,3-1,6	1,6
Температура застывания после 3 мес. хранения, °С	-7...-9	-8	-7...-11	-15
Коксуемость, %	2,1 -3,0	5,2	3,0-5,6	4,2

необходимо, чтобы $t_{заст}$ дистиллятного компонента была не выше -10...-12 °С, в противном случае его содержание в смеси заметно возрастает. Например, для получения остаточного топлива с температурой застывания 10 °С потребуется 25 % дизельного топлива с $t_{заст}$ = -2 °С или 18 % дизельного топлива с $t_{заст}$ = -12 °С.

Для снижения температуры застывания применяют депрессорные присадки, синтезированные на основе сополимера этилена с винилацетатом. Механизм их действия заключается в модификации структуры кристаллизующегося парафина, препятствующей образованию прочной кристаллической решетки.

С углублением переработки нефти содержание асфальто-смолистых веществ в топливах будет увеличиваться, поэтому все более острой становится проблема производства стабильных котельных топлив. Асфальтены в мазутах находятся в коллоидном состоянии. Устойчивость асфальтено-содержащих дисперсных систем зависит от природы циклического углеводорода и его концентрации в дисперсной среде. Наличие ароматических и нафтеновых углеводородов повышает седиментационную устойчивость дисперсной системы, причем для ароматических углеводородов этот эффект значительно больше, чем для нафтеновых: ароматические углеводороды более склонны к взаимодействию с молекулами асфальтенов, растворимость последних тем больше, чем выше концентрация ароматического компонента. В такой среде асфальтены диспергируются с образованием тонкодисперсных коллоидных и молекулярно-дисперсных частиц. В среде парафиновых углеводородов образуется преимущественно грубодисперсная система. Так как нафтеновые углеводороды по строению являются промежуточными между парафиновыми и ароматическими, то и кинетическая и агрегативная устойчивость асфальтенов в них меньше, чем в ароматических, и больше, чем в парафиновых.

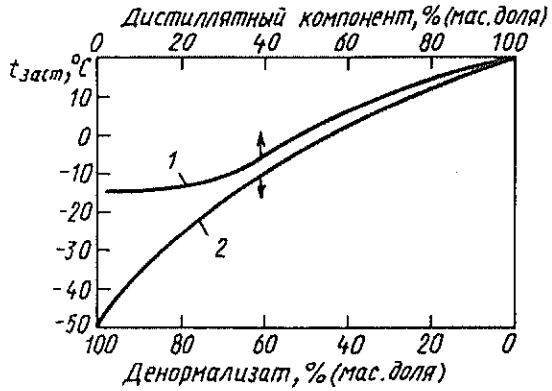

Рис. 1.19. Зависимость температуры застывания $t_{заст}$ прямогонного мазута от температуры застывания дистиллятного компонента:
1 — дистиллятный компонент, $t_{заст}$ = -15 °С;
2 — денормализат процесса «Парекс», $t_{заст}$ = -48 °С

Температура вспышки определяет требования к пожарной безопасности остаточных топлив. Для топлив, используемых в судовых энергетических установках, нормируется температура вспышки в закрытом тигле (>75–80 °С), для котельных топлив — в открытом тигле (90–100 °С); эти нормы обеспечивают безопасную работу судовых энергетических и котельных установок. Разница между температурами вспышки в открытом и закрытом тиглях составляет примерно 30 °С:

Температура вспышки, °С:	Мазут марки 40	Мазут марки 100
в открытом тигле	92	120
в закрытом тигле	61	93

Содержание воды, механических примесей и зольность. Эти компоненты являются нежелательными составляющими котельных топлив, так как присутствие их ухудшает экономические показатели работы котельного агрегата, увеличивает коррозию хвостовых поверхностей его нагрева. При использовании обводненного котельного топлива в судовых энергетических установках в результате попадания глобул воды на поверхности трения деталей, прецизионных пар и нарушение таким образом условий смазывающей способности топлива возможно зависание плунжеров или форсуночных игл. Как правило, вода образует с котельным топливом очень стойкие эмульсии. Большая стойкость эмульсий обусловлена высокой вязкостью мазута и наличием в нем поверхностно-активных асфальтено-смолистых стабилизаторов. С повышением температуры эмульсии разрушаются вследствие уменьшения поверхностного натяжения и вязкости.

В то же время наличие воды, равномерно распределенной по всему объему, оказывает положительное влияние на эксплуатационные свойства топлив. Испарение мелкодисперсных частиц воды происходит мгновенно в виде «микровзрыва», процесс сгорания протекает плавно и с достаточной полнотой, что приводит к снижению удельного расхода топлива и дымности отработавших газов. Равномерное распределение и образование воды в виде мелкодисперсных частиц обеспечивается с помощью специальных устройств: кавитаторов, смесителей.

Механические примеси засоряют фильтры и форсунки, нарушая процесс распыливания топлива. Установлены требования к содержанию механических примесей: для мазута марки 40 — не более 0,5 %, марки 100 — не более 1,0 %. Фактически топочные мазуты вырабатывают с более низким содержанием механических примесей — до 0,2 % и лишь на отдельных нефтеперерабатывающих предприятиях эти значения приближаются к установленным по ГОСТ 10585–75.

1.40. Состав золы остаточных топлив

Топливо	Содержание в топливе, %			Содержание в золе, %						
	S	V	золы	Na	Ca	Fe	Ni	Mg	Al	Si
Мазут марки 40	2,72	0,008	0,096	14	3,5	3,8	8,5	1,0	1,2	3,0
Мазут марки 100	2,80	0,012	0,14	15	6,2	1,4	1,3	1,3	0,45	0,63
Мазут марки Ф-5	2,0	0,0073	0,05	16	2,5	10	5	0,7	1,8	1,0
Топливо ДТ	1,5	0,0002	0,03	16	6,8	1,9	1,5	1,8	1,5	4,3

Зола, определяемая показателем зольность, характеризует наличие в топливе солей металлов. Она отлагается при сжигании топлив на поверхностях нагрева котлов и проточной части газовых турбин. Это ухудшает теплоотдачу, повышает температуру отходящих газов, снижает КПД котлов и газовых турбин. Состав золы котельных топлив приведен в табл. 1.40.

Зольность топлив зависит, прежде всего, от содержания солей в нефти. Улучшение обессоливания нефтей на нефтеперерабатывающих предприятиях в последние годы позволило получить обессоленные нефти с содержанием солей не более 3–5 мг/л и вырабатывать котельные топлива с лучшими показателями зольности.

С углублением переработки нефти изменяется компонентный состав мазута вследствие более полного отбора из него дизельных фракций на установках вторичной переработки нефти. В результате, в топочном мазуте увеличивается содержание асфальто-смолистых веществ. Это приводит к снижению эффективности горения и ухудшению стабильности при хранении, образованию осадков и увеличению выбросов сажи в окружающую среду. Для таких топлив целесообразно использование полифункциональной присадки, например, ВНИИНП-200. Механизм ее действия основан на разрушении структуры асфальто-смолистых веществ мазута, благодаря чему улучшается его гомогенность и физическая стабильность, улучшается качество распыливания.

Ассортимент, качество и состав

Стандарт на **котельное топливо** — ГОСТ 10585–75 (табл. 1.41) предусматривает выпуск четырех его марок: флотских мазутов Ф-5 и Ф-12, которые по вязкости классифицируются как легкие топлива, топочных мазутов марки 40 — как среднее и марки 100 — тяжелое топливо. Цифры указывают ориентировочную вязкость соответствующих марок мазутов при 50 °С. В зависимости от содержания серы топочные мазуты подразделяют на низкосернистые — до 0,5 %, малосернистые — от 0,5 % до 1,0 %, сернистые — от 1,0 до 2,0 % и высоко-сернистые — от 2,0 до 3,5 %.

Топочные мазуты марок 40 и 100 изготовляют из остатков переработки нефти. В мазут марки 40 для снижения температуры застывания до 10 °С добавляют 8–15 % среднедистиллятных фракций, в мазут марки 100 дизельные фракции не добавляют.

1.41. Характеристики мазута (ГОСТ 10585–75)

Показатели	Марка топлива			
	Ф-5	Ф-12	40	100
Вязкость при 50 °С, не более:				
условная, °ВУ	5,0	12,0	-	-
соответствующая ей кинематическая, мм²/с	36,2	89,0	-	-
Вязкость при 80 °С, не более:				
условная, °ВУ	-	-	8,0	16,0
соответствующая ей кинематическая, мм²/с	-	-	59,0	118,0
Динамическая вязкость при 0 °С, Па·с, не более	2,7	-	-	-
Зольность, %, не более, для мазута:				
малозольного	-	-	0,04	0,05
зольного	0,05	0,10	0,12	0,14
Массовая доля, %, не более:				
механических примесей	0,10	0,12	0,5	1,0
воды	0,3	0,3	1,0	1,0
Массовая доля серы, %, не более, для мазута:				
низкосернистого	-	-	0,5	0,5
малосернистого	-	0,6	1,0	1,0
сернистого	2,0	-	2,0	2,0
высокосернистого	-	-	3,5	3,5
Коксуемость, %, не более	6,0	-	-	-
Температура вспышки, °С, не ниже:				
в закрытом тигле	80	90	-	-
в открытом тигле	-	-	90	110
Температура застывания, °С, не выше	-5	-8	10; 25*	25; 42*
Теплота сгорания (низшая) в пересчете на сухое топливо (не браковочная), кДж/кг, не менее, для мазута:				
низкосернистого, малосернистого и сернистого	41454	41454	40740	40530
высокосернистого	-	-	39900	39000
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	955	960	-	-

* Для мазута из высокопарафинистых нефтей

Примечание. Для всех марок топлива сожержание водорастворимых кислот и щелочей, сероводорода — отсутствие.

Флотские мазуты марок Ф-5 и Ф-12 предназначены для сжигания в судовых энергетических установках. По сравнению с топочными мазутами марок 40 и 100 они обладают лучшими характеристиками: меньшими вязкостью, содержанием механических примесей и воды, зольностью и более низкой температурой застывания. Флотский мазут марки Ф-5 получают смешением продуктов прямой перегонки нефти: в большинстве случаев 60–70 % мазута прямогонного и 30–40 % дизельного топлива с добавлением депрессорной присадки. Допускается использовать в его составе до 22 % керосино-газойлевых фракций вторичных процессов, в том числе легкого газойля каталитического и термического крекинга. Флотский мазут марки Ф-12 вырабатывают в небольших количествах на установках прямой перегонки нефти. Основными отличиями мазута Ф-12 от Ф-5 являются более жесткие требования по содержанию серы (<0,8 % против <2,0 %) и менее жесткие требования по вязкости при 50 °С (<12 °ВУ против <5 °ВУ).

Кроме флотских и топочных мазутов промышленность выпускает **технологическое экспортное топливо** по ТУ 38. 001361–87 (табл.1.42). Это топливо изготовляют только из продуктов прямой перегонки нефти

1.42. Характеристики технологического экспортного топлива

Показатели	Марка топлива			
	Э-2	Э-3	Э-4	Э-5
Плотность при 20 °С, кг/м³, не более	920	930	965	965
Вязкость:				
условная при 80 °С, °ВУ, не более	2,0	3,0	4,0	5,0
соответствующая ей кинематическая, мм²/с, при 50 °С, не более	30	70	-	-
Зольность, %, не более	0,02	0,05	0,1	0,1
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:				
I вида	0,5	0,5	-	-
II вида	1,0	1,0	-	-
III вида	-	-	2,0	2,0
IV вида	-	-	2,5	2,5
Массовая доля, %, не более:				
механических примесей	0,05	0,05	0,2	0,2
воды			0,5	
ванадия	0,001	0,002	0,012	0,020
Температура, °С:				
застывания, не выше	15	15	15	15
вспышки в закрытом тигле, не ниже	65	65	75	75
Теплота сгорания низшая, кДж/кг, не менее	40402	40402	40402	40402

и поставляют на экспорт. Для оценки прямогонности топлива введен показатель, определяемый по ГОСТ Р 50837.1–95 — Р 50837.8–95. Конкретно метод определения прямогонности топлива устанавливается контрактом на его поставку.

Для судовых энергетических установок вырабатывают несколько видов топлив, в том числе моторное топливо по ГОСТ 1667–68, судовое маловязкое топливо по ТУ 38. 101567–87 и судовое высоковязкое топливо по ТУ 38.1011314–90.

Моторное топливо ДТ по ГОСТ 1667–68 (табл. 1.43) по вязкости приближается к флотскому мазуту Ф-5, но в его состав могут входить все компоненты, обеспечивающие качество топлива.

Судовое маловязкое топливо по ТУ 38.101567–87 (табл. 1.44) — это среднедистиллятное топливо, в отличие от моторного ДТ и судового высоковязкого топлива, получаемых смешением остаточных и среднедистиллятных фракций. Предназначено для применения в судовых энергетических установках вместо дизельного топлива. Компонентами

1.43. Характеристики моторного топлива для среднеоборотных и малооборотных дизелей (ГОСТ 1667–68)

Показатели	Марка топлива	
	ДТ	ДМ
Плотность при 20 °С, г/см³, не более	0,930	0,970
Фракционный состав:		
до 250 °С перегоняется, %, не более	15	15
Вязкость при 50 °С:		
кинематическая, мм²/с, не более	36	130
соответствующая ей условная, °ВУ, не более	2,95	17,4
Коксуемость, %, не более	3,0	9,0
Зольность, % не более	0,04	0,06
Массовая доля серы, %, не более:		
в малосернистом топливе	0,5	2,0
в сернистом топливе	1,5	2,0
Массовая доля, %, не более:		
механических примесей	0,05	0,1
воды	0,5	0,5
ванадия	0,015	0,01
Температура, °С:		
вспышки в закрытом тигле, не ниже	65	85
застывания, не выше	-5	10

Примечание. Для марок ДТ и ДМ содержание сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей — отсутствие.

1.44. Характеристики маловязкого судового топлива (ТУ 38.101567–87)

Показатели	Значение
Вязкость:	
условная при 20 °С, °ВУ, не более	2,0
соответствующая ей кинематическая, мм²/с, не более	11,4
Цетановое число, не менее	40
Температура, °С:	
вспышки в закрытом тигле °С, не ниже	62
застывания, не выше	-10
Массовая доля, %, не более:	
серы	1,5
меркаптановой серы	0,025
воды	Следы
механических примесей	0,02
Коксуемость, %, не более	0,2
Зольность, %, не более	0,01
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие
Плотность при 20 °С, г/м³, не более	890
Йодное число, г йода на 100 г топлива, не более	20

маловязкого судового топлива являются негидроочищенные прямогонные атмосферные и вакуумные дистилляты, продукты вторичного происхождения — легкие и тяжелые газойли каталитического и термического крекинга, коксования.

Судовое высоковязкое топливо (ТУ 38.101 1314–90) (табл. 1.45), предназначено для применения в судовых энергетических установках иностранного производства, эксплуатация которых предусмотрена на топливах, соответствующих международному стандарту на судовые топлива MS ISO/DIS-F-8217. Получают его компаундированием остатков прямой перегонки и деструктивных процессов с добавлением среднедистиллятных фракций. С учетом специфики применения судового высоковязкого топлива в нем ограничено содержание ванадия:

Марка топлива	СЛ	СВЛ	СВТ	СВС
Содержание ванадия, %	0,001	0,01	0,02	0,04

Газотурбинное топливо

Согласно ГОСТ 10433–75 нефтяное топливо для газотурбинных установок получают из дистиллятов вторичных процессов и прямой

1.45. Характеристики судового высоковязкого топлива (ТУ 38.1011314–90)

Показатели	Марка топлива			
	СЛ	СВЛ	СВТ	СВС
Условная вязкость, °ВУ, не более, при температуре:				
50 °С	4,0	5,0	-	-
80 °С	-	-	8,0	16,0
100 °С	-	-	-	Не нормируется. Определение обязательно.
Зольность, %, не более:				
I тип	0,02	0,04	0,04	0,15
II тип	-	0,05	0,12	-
Массовая доля, %, не более:				
механических примесей	0,05	0,10	0,30	0,60
воды	0,2	0,5	1,0	1,0
ванадия	0,001	0,01	0,02	0,04
Массовая доля серы, %, не более:				
I вид	0,5	1,0	2,0	5,0
II вид	1,0	2,0	3,5	-
III вид	-	2,5	1,0	-
IV вид	-	0,5	-	-
Коксуемость, %, не более	4,0	7,0	15,0	22,0
Температура вспышки, °С, не ниже:				
в закрытом тигле	65	65	-	-
в открытом тигле	-	-	90	100
Температура застывания, °С, не выше	15	5	15	25
Плотность при 20 °С, (не браковочная), кг/м³, не выше	930	965	995	1015

перегонки нефти. В табл. 1.46 приведены требования к качеству газотурбинного топлива. Оно характеризуется низкой зольностью — 0,01 %, (т.е. на уровне дизельного топлива), так как при повышенной зольности в проточной части турбины образуются отложения. В топливе строго ограничивается содержание ванадия и серы. Наличие ванадия приводит к высокотемпературной ванадиевой коррозии лопаток газовой турбины, при этом коррозионно-активной является пятиокись ванадия V_2O_5. Последняя при температуре > 650 °С, будучи в полужидком состоянии, катализирует процесс окисления металла кислородом и одновременно

1.46. Характеристики топлива для газотурбинных установок (ГОСТ 10433–75)

Показатели	Марка топлива	
	А	Б
Условная вязкость при 50 °С, °ВУ, не более	1,6	3,0
Теплота сгорания низшая, кДж/кг, не менее	39800	39800
Зольность, %, не более	0,01	0,01
Массовая доля, %, не более:		
ванадия	0,00005	0,0004
суммы натрия и калия	0,0002	-
кальция	0,0004	-
серы	1,8	2,5
механических примесей	0,02	0,03
воды	0,1	0,5
Коксуемость, %, не более	0,2	0,5
Температура, °С:		
вспышки в закрытом тигле, не ниже	65	62
застывания, не выше	5	5
Йодное число, г I_2/100 г топлива, не более	-	45
Плотность при 20 °С, кг/м³, не выше	-	935
Массовая доля свинца	Отсутствие или <0,0001%	-

Примечание. Для топлив марок А и Б содержание сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей — отсутствие.

растворяет продукты окисления, способствуя взаимодействию кислорода с металлом. С повышением содержания ванадия в топливе скорость коррозии возрастает, и чем выше температура, тем при более низком его содержании наблюдается характерный перелом, свидетельствующий о начале катастрофического коррозионного процесса. Сера усиливает ванадиевую коррозию железных сплавов.

Ванадий в нефти распределяется неравномерно. Основная часть его концентрируется в остатках переработки нефти (табл. 1.47). Немного ванадия содержится и в дистиллятных фракциях, причем во фракциях, получаемых прямой перегонкой, в несколько большем количестве, чем в дистиллятных фракциях вторичных процессов (легких газойлях коксования, каталитического и термического крекинга), так как ванадий остается на катализаторе, либо концентрируется в остатках, образую-

щихся при проведении термических процессов. Содержание ванадия во фракциях, %:

Прямогонное дизельное топливо	$0{,}5 \cdot 10^{-4}$
Легкий газойль каталитического крекинга	$<0{,}1 \cdot 10^{-4}$
Легкий газойль коксования	$<0{,}1 \cdot 10^{-4}$

Определяют содержание ванадия по ГОСТ 10364–90. Этот метод позволяет достоверно определить содержание ванадия в пределах 0,003...0,02 %. При меньшем содержании ванадия его определяют атомно-адсорбционным методом.

Даже при малом содержании ванадия возможна коррозия, вызываемая присутствием натрия и калия (натрий попадает в топливо с водой, особенно при транспортировании его водным транспортом). Сульфат натрия Na_2SO_4, попадая в камере сгорания в зоны высоких температур, диссоциирует, и сульфат-ион, в свою очередь, также диссоциирует, при этом выделяется триоксид серы и ион кислорода. Последний взаимодействует с оксидной пленкой, и сульфат-ион, в случае нарушения защитной пленки, непосредственно взаимодействует с металлом лопатки, при этом образуются сульфид и оксид металла, а также ион кислорода. Обычно содержание натрия и калия в газотурбинных топливах не превышает 0,0004 %.

1.47. Распределение металлов во фракциях нефтей

Пределы выкипания фракций, °С	Массовая доля серы, %	Содержание металлов, г/т					
		V	Ni	Ca	Fe	Mg	Na
Арланская нефть							
Исходная нефть	2,92	150	50	2,0	32	0,6	3,0
200-250	0,98	0,006	Следы	0,5	0,4	0,16	0,3
250-300	2,40	0,01	Следы	0,6	0,3	0,15	0,4
300-350	2,85	0,02	Следы	0,3	0,6	0,30	0,4
350-400	3,50	0,12	0,06	0,5	1,8	0,30	0,4
>400	4,30	300	100	4	65	1,4	6,0
Смесь западносибирских нефтей							
Исходная нефть	1,34	45	7,0	6	40	1,0	-
400-450	1,76	0,03	0,1	4	0,4	0,20	-
>350		90	20	10	30	1,0	-
>450	2,79	150	30	20	60	3,0	-
Масла > 450	2,01	70	10	8	20	1,0	-
Смолы	3,59	130	14	10	30	4,0	-
Асфальтены	4,03	830	180	150	50	15	-

По ГОСТ 10433–75 вырабатывают две марки топлива: топливо марки А предназначено для пиковых энергетических установок, марки Б — для судовых и других газотурбинных установок. С учетом условий работы пиковых энергетических установок к топливу марки А предъявляют более жесткие требования по сравнению с топливом марки Б по содержанию ванадия: до 0,5 ppm и 4 ppm соответственно. В топливе марки А ограничивается содержание свинца — до 1 ppm. Газотурбинные топлива получают компаундированием легких газойлей коксования, каталитического крекинга и прямогонных фракций дизельного топлива, выкипающих в пределах 180–420 °С. В некоторых случаях газотурбинное топливо получают только на основе продуктов прямой перегонки, тогда возникают трудности с обеспечением требуемой температуры застывания (5 °С). Последняя является важным показателем при использовании топлива на газотурбинных установках водного транспорта, не оборудованных системами подогрева. Снизить $t_{заст}$ можно введением депрессорных присадок:

Концентрация присадки, %	0	0,0125	0,025	0,05	0,10
Температура застывания, °С	15	7	1	-13	-25

Концентрация в топливе присадки зависит от типа перерабатываемой нефти, состава и технологии получения топлива.

Печное топливо

Печное бытовое топливо вырабатывается из дизельных фракций прямой перегонки и вторичного происхождения — дистиллятов термического, каталитического крекинга и коксования. Характеристика топлива в соответствии с ТУ 38. 101656–87 приведена в табл. 1.48, а основные физико-химические показатели промышленных образцов печного топлива — в табл. 1.49. По фракционному составу печное бытовое топливо может быть несколько тяжелее дизельного топлива по ГОСТ 305–82 (до 360 °С перегоняется до 90 % вместо 96 %, вязкость печного топлива до 8,0 мм²/с при 20 °С против 3,0-6,0 мм²/с дизельного). В нем не нормируются цетановое и йодное числа, температура помутнения. При переработке сернистых нефтей массовая доля серы в топливе — до 1,1 %. В период с 1 апреля по 1 сентября допускается производство топлива с температурой застывания не выше — 5 °С.

В северных районах страны при работе на топливе в зимний период наблюдается потеря текучести на линии подачи топлива в отопительные установки, а также забивка парафинами фильтров грубой очистки. Перед

1.48. Характеристики печного бытового топлива (ТУ 38.101656–87)

Показатели	Значения
Фракционный состав:	
10 % перегоняется при температуре, °С, не ниже	160
90 % перегоняется при температуре, °С, не выше	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм²/с, не более	8,0
Температура застывания, °С, не выше	
в период с 1 сентября по 1 апреля	-15
в период с 1 апреля по 1 сентября	-5
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	45
Массовая доля серы, %, не более:	
в малосернистом топливе	0,5
в сернистом топливе	1,1
Испытание на медной пластинке	Выдерживает
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5,0
Зольность, %, не более	0,02
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,35
Содержание воды	Следы
Цвет	От светло-коричневого до черного
Плотность при 20 °С, кг/м³	Не нормируется, определение обязательно

Примечание. Содержание сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей — отсутствие.

форсунками теплогенераторов расположены фильтры с ячейками размером 0,5 мм. При работе бытовых отопительных установок с небольшим расходом топлива (0,5–3 кг/ч) последнее подогревается внутри помещения, и фильтр, устанавливаемый вблизи горелки, не забивается. В этом случае достаточно обеспечить соответствующую текучесть топлива при его транспортировании и перекачке.

При эксплуатации теплогенераторов или котлов средней производительности, например 28–70 кг/ч, используемых на животноводческих фермах, возможна забивка парафинами фильтров, расположенных на линиях под открытым небом. В этом случае необходимо улучшить не только текучесть топлива при низких температурах, но и прокачиваемость его через фильтры.

1.49. Физико-химические свойства образцов печного бытового топлива

Показатели	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
	На основе дистиллятов термического крекинга			С вовлечением газойля каталитического крекинга		
Фракционный состав, °С:						
10 % перегоняется при температуре	205	186	200	200	200	196
90 % перегоняется при температуре	352	318	330	350	360	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, м²/с	3,60	3,32	3,80	3,42	3,92	4,52
Температура, °С:						
застывания	-15	-19	-19	-16	-12	-13
вспышки в закрытом тигле	59	56	59	55	62	58
предельной фильтруемости	-6		-7	-9	-7	-10
Массовая доля серы, %	0,83	0,50	0,52	0,50	0,85	0,80
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива	1,4	1,2	0,9	0,9	0,9	1,1
Коксуемость 10 %-ного остатка, %	0,12	0,11	0,12	0,14	0,13	0,15
Плотность при 20 °С, кг/м³	825	822	834	830	882	836

Показатели	Номер образца			
	7	8	9	10
	На основе прямогонных дизельных фракций			
Фракционный состав, °С:				
10 % перегоняется при температуре	187	225	189	212
90 % перегоняется при температуре	300	300	320	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, м²/с	2,95	4,12	3,86	3,94
Температура, °С:				
застывания	-22	-16	-18	-6
вспышки в закрытом тигле	52	76	54	79
предельной фильтруемости	-11	-10	-7	-8
Массовая доля серы, %	0,42	0,32	0,40	0,20
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива	0,8	0,7	0,7	0,23
Коксуемость 10 %-ного остатка, %	0,03	0,09	0,09	0,08
Плотность при 20 °С, кг/м³	834	832	830	828

Для улучшения низкотемпературных свойств печного топлива в промышленности применяют депрессорные присадки, синтезированные на основе сополимера этилена с винилацетатом.