

№ 2724

В.А. Малахов  
В.П. Дьяченко

# **Эксплуатационные материалы для транспортных машин горных предприятий**

Учебное пособие

**№ 2724**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра горной механики и транспорта

В.А. Малахов

В.П. Дьяченко

# **Эксплуатационные материалы для транспортных машин горных предприятий**

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки (специальностям) «Горное дело» (специализация «Транспортные системы горного производства») и «Наземные транспортно-технологические средства»



Москва 2015

УДК 656:622  
М18

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. каф. «Эксплуатация, электрификация и автоматизация технических средств и систем природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях» Московского государственного университета природообустройства *К.О. Соколов*;

д-р техн. наук, проф., Генеральный директор  
НП «Горнопромышленники России» *А.П. Вержанский*

**Малахов В.А.**

М18 Эксплуатационные материалы для транспортных машин горных предприятий : учеб. пособие / В.А. Малахов, В.П. Дьяченко. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2015. – 187 с.  
ISBN 978-5-87623-913-6

Рассмотрены область применения, эксплуатационные характеристики, ГОСТы, маркировка, ассортимент и показатели оценки качества: бензинов; дизельных и газообразных топлив; моторных, трансмиссионных, промышленных, компрессорных и электроизоляционных масел, пластичных смазок, лакокрасочных и защитных материалов, необходимых для эксплуатации транспортных средств и промышленного оборудования.

Приведены краткие теоретические сведения об изучаемых процессах, описания и схемы лабораторных установок, порядок проведения измерений и расчетные формулы для вычисления определяемых в работах величин.

Предназначено в качестве учебного пособия по дисциплине «Топливо и смазочные материалы» для студентов, обучающихся по направлению подготовки и по специальности 130400 – «Горное дело», специализация – «Транспортные системы горного производства», и по дисциплине «Эксплуатационные материалы» для студентов, обучающихся по направлению подготовки и по специальности 190109 – «Наземные транспортно-технологические средства», специализация – «Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях».

УДК 656:622

ISBN 978-5-87623-913-6

© В.А. Малахов,  
В.П. Дьяченко, 2015

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕФТИ И ТЕХНОЛОГИИ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ .....	6
1.1. НЕФТЬ И ЕЕ СОСТАВ.....	6
1.2. ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	8
1.3. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА .....	15
ГЛАВА 2. АВТОМОБИЛЬНЫЕ БЕНЗИНЫ.....	19
2.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	19
2.2. ИСПАРЯЕМОСТЬ И ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ.....	22
2.3. ДЕТОНАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ. ОКТАНОВОЕ ЧИСЛО. КАЛИЛЬНОЕ ЗАЖИГАНИЕ .....	32
2.4. ХИМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ, СКЛОННОСТЬ К ОБРАЗОВАНИЮ ОТЛОЖЕНИЙ И НАГАРООБРАЗОВАНИЮ.....	40
2.5. КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕНЗИНОВ. ВОДА И МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ .....	46
2.6. АССОРТИМЕНТ БЕНЗИНОВ .....	48
ГЛАВА 3. ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА .....	56
3.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	56
3.2. СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ .....	57
3.3. САМОВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ И ЦЕТАНОВОЕ ЧИСЛО. ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ.....	58
3.4. ИСПАРЯЕМОСТЬ. СКЛОННОСТЬ К НАГАРООБРАЗОВАНИЮ.....	62
3.5. КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА .....	65
3.6. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВОЙСТВА.....	66
3.7. ВОДА И МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ.....	69
3.8. АССОРТИМЕНТ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ.....	71
3.9. ТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	76
ГЛАВА 4. ГАЗООБРАЗНЫЕ ТОПЛИВА.....	79
4.1. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ.....	79
4.2. СЖИЖЕННЫЕ ГАЗЫ .....	79
4.3. АВТОМОБИЛИ, РАБОТАЮЩИЕ НА СНГ .....	82
4.4. СЖАТЫЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ.....	84
4.5. АВТОМОБИЛИ, РАБОТАЮЩИЕ НА СЖАТОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ .....	86
ГЛАВА 5. ТОПЛИВА НЕ НЕФТЯНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ.....	89
5.1. СИНТЕТИЧЕСКИЕ СПИРТЫ.....	89
5.2. МЕТИЛТРЕТИЧНОБУТИЛОВЫЙ ЭФИР .....	90
5.3. ГАЗОВЫЕ КОНДЕНСАТЫ .....	91
5.4. ВОДОРОД.....	92
ГЛАВА 6. МОТОРНЫЕ МАСЛА.....	95
6.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА .....	95
6.2. ПРИСАДКИ К МАСЛАМ .....	104
6.3. КЛАССИФИКАЦИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ.....	111
6.4. АССОРТИМЕНТ МОТОРНЫХ МАСЕЛ .....	114
6.5. СИНТЕТИЧЕСКИЕ МАСЛА.....	116
6.6. ЗАРУБЕЖНЫЕ КЛАССИФИКАЦИИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ .....	117
6.7. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МОТОРНЫЕ МАСЛА .....	126
6.8. ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ .....	128
ГЛАВА 7. ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА .....	133
7.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	133
7.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ .....	133

7.3. АССОРТИМЕНТ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ.....	138
ГЛАВА 8. ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ, КОМПРЕССОРНЫЕ И ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАСЛА.....	143
8.1. ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ МАСЛА.....	143
8.2. КОМПРЕССОРНЫЕ МАСЛА.....	144
8.3. ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАСЛА.....	148
ГЛАВА 9. ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ.....	150
9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	150
9.2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА.....	151
9.3. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СМАЗОК.....	159
9.4. АССОРТИМЕНТ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК.....	161
ГЛАВА 10. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ.....	167
10.1. ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ.....	167
10.2. ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	172
10.3. ТОРМОЗНЫЕ ЖИДКОСТИ.....	172
10.4. АМОРТИЗАТОРНЫЕ ЖИДКОСТИ.....	174
10.6. ПУСКОВЫЕ ЖИДКОСТИ.....	175
ГЛАВА 11. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ И ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	176
11.1. РЕМОНТНОЕ ОКРАШИВАНИЕ.....	176
11.2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ И ИХ МАРКИРОВКА.....	178
11.3. ФОСФАТИРОВАНИЕ.....	179
11.4. ГРУНТОВАНИЕ.....	179
11.5. ШПАТЛЕВАНИЕ.....	181
11.6. НАНЕСЕНИЕ И СУШКА ЭМАЛЕЙ.....	182
11.7. ШЛИФОВАНИЕ И ПОЛИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ.....	183
11.8. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ДВИГАТЕЛЯ И СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ГАЗОВ.....	183
11.9. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ДНИЩА, ШАССИ И СКРЫТЫХ ПОЛОСТЕЙ АВТОМОБИЛЯ.....	184
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	186

## ВВЕДЕНИЕ

В курсе «Эксплуатационные материалы» предусмотрено изучение свойств материалов, используемых при эксплуатации автотранспортных средств. 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 специалистам, эксплуатирующим автотранспортные средства. В процессе хранения, перевозки к месту потребления свойства материалов могут изменяться и их показатели качества могут выходить за пределы, определяющие пригодность применению. Поэтому специалисты, применяющие материалы, должны знать характер изменения свойств и уметь определять эти свойства в лабораторных условиях, делать правильные выводы о возможности их применения при эксплуатации транспортных средств.

Наука об автомобильных эксплуатационных материалах, их свойствах, показателях качества и применении при эксплуатации автотранспортных средств развивалась параллельно с развитием двигателестроения и автомобилестроения, как в России, так и за рубежом.

Значительный вклад в развитие этой науки внесли коллективы ВНИИ-ИНП – Всесоюзный научно-исследовательский институт нефтяной промышленности, Институт нефти и газа имени Губкина, НИИ топлив и масел – 25, НАМИ, НИИАТ, МАДИ, НАТИ и др. Из отечественных ученых в этой области успешно работали: А. А. Летний, В. Г. Шухов, В. А. Рогозин, Ю. А. Пинкевич, В. В. Лосиков, А. А. Гуреев, Е. Г. Семенидо, К. К. Панок, К. В. Рыбаков и другие.

# ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕФТИ И ТЕХНОЛОГИИ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

## 1.1. НЕФТЬ И ЕЕ СОСТАВ

**Общие сведения.** По определению Д. И. Менделеева, *топливо* — это «горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты». По агрегатному состоянию топливо делят на твердое, жидкое и газообразное. Топливо может быть органическим и ядерным, а по происхождению — природным и искусственным.

В таблице 1.1 приведена классификация топлива по его происхождению и агрегатному состоянию.

**Таблица 1.1**

**Общая классификация топлива**

Агрегатное состояние	Происхождение	
	природное	искусственное
Газообразное	Природный и попутный газы	Газы генераторный, доменный, светильный, коксовый, биогаз и др.
Жидкое	Нефть	Топочные мазуты, топливо печное бытовое. Дизельное топливо, бензины, керосины и др.
Твердое	Антрацит, каменный уголь, горючие сланцы, торф, дрова, отходы сельскохозяйственного производства	Кокс, полукокс, торфяные и каменноугольные брикеты, древесный уголь

Основным источником для производства автотракторных топлив и смазочных материалов является нефть. От метода переработки и состава нефти зависят эксплуатационные свойства производимых нефтепродуктов. Нефть представляет собой маслянистую жидкость с характерным запахом коричневого, темно-коричневого, реже красного или желтого цвета.

Плотность нефти колеблется от 730 до 1000 кг/м<sup>3</sup>. Температура застывания нефти зависит от содержания в ней твердых углеводородов и смолистых веществ и находится в пределах от +20 до -80 °С. Вязкость зависит от свойств углеводородов и количества смолистых веществ, входящих в состав нефти. Нефть может быть легкоподвижной или очень вязкой жидко-

стью либо полутвердым веществом. Теплота сгорания составляет 43,2...45,7 МДж/кг, теплоемкость — 1,66...2,09 кДж/кг · К.

Элементный химический состав нефти различных месторождений неодинаковый. Основные элементы нефти: углерод (85...87%) и водород (12...14%). Кроме того, в нефти содержатся кислород (0,1...0,3%), сера (от 0,01% в малосернистых сортах нефти до 5...7% - в высокосернистых), азот (0,02...1,7%), а также незначительное количество других элементов.

На мировом рынке продают нефть двух сортов — Brent и Urals. Нефть первого сорта добывают в странах Аравийского полуострова, в Венесуэле и Мексике, второго сорта — в России и странах Северной Европы. Brent дороже Urals, так как содержит меньшее количество серы, что облегчает его переработку и имеет более высокую теплоту сгорания.

Впервые в 1763 г. М. В. Ломоносов высказал гипотезу о происхождении нефти из растительных остатков, подвергшихся обугливанию и давлению в глубине земных недр. В. И. Вернадский доказал исключительную способность живых организмов концентрировать в недрах Земли запасы углерода и большое значение последнего в геологических процессах. Н. Д. Зелинский установил, что некоторые соединения углерода, входящие в состав растений и животных, при определенных условиях могут образовывать продукты, сходные с нефтью по физико-химическим свойствам. И. М. Губкин пришел к выводу, что процесс образования нефти непрерывен и неотделим от процессов формирования в недрах Земли. Наиболее благоприятные зоны Земли для образования нефти — участки земной коры на границах областей опускания и поднятия.

По химическому составу нефть представляет собой смесь различных углеводородов, сернистых, кислородных и азотистых соединений. В состав нефти входят углеводороды трех классов: парафиновые, нафтеновые и ароматические. В нефтепродуктах могут содержаться, иногда в значительных количествах, непредельные углеводороды, образующиеся в процессе переработки нефти и нефтепродуктов.

**Парафиновые углеводороды** являются гомологами простейшего углеводорода метана ( $\text{CH}_4$ ). При последовательном замещении атомов водорода метана на радикал ( $\text{CH}_3$ ), называемый метильной группой, получается гомологический ряд парафиновых углеводородов. Общая формула парафиновых углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ . Начиная с метана ( $\text{CH}_4$ ) эти углеводороды газообразные, начиная с пентана ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) — жидкие, а с гексадекана ( $\text{C}_{16}\text{P}_{34}$ ) — твердые.

Твердые и газообразные углеводороды растворены в жидких. При повышении температуры испаряются газообразные углеводороды, а при понижении температуры выпадают твердые парафины.

**Нафтеновые углеводороды** имеют циклическое строение. Общая эмпирическая формула их  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . В молекулы нафтеновых углеводородов входят замкнутые кольца атомов углерода. Циклическое строение этих углеводородов обуславливает их высокую химическую прочность.



**Ароматические углеводороды** имеют общую формулу  $C_nH_{2n-6}$ . Наиболее важным ароматическим углеводородом является бензол ( $C_6H_6$ ). Ароматические углеводороды легко вступают в реакции замещения, образуя фенол, нитробензол и др.

**Непредельные углеводороды** образуются в результате переработки нефти. Между атомами углерода существуют двойные или тройные непрочные связи, легко разрушаемые под действием температуры. В связи с малой стабильностью непредельных углеводородов из них образуются оксиды, кислоты, смолисто-асфальтовые вещества.

Кислородные соединения в нефти, как правило, состоят из органических кислот и смолисто-асфальтовых веществ. Органические кислоты чаще всего представлены нафтеновыми кислотами, которые хорошо растворяются в нефти и сильно корродируют цветные металлы (например, свинец, цинк).

*Смолисто-асфальтовые вещества* обычно делят на нейтральные смолы, асфальтены, карбены, карбоиды и асфальтогеновые кислоты. Нейтральные смолы представляют собой высокомолекулярные компоненты нефти с нейтральными свойствами. В различных нефтях может содержаться от 1,5 до 40% смол.

*Асфальтены* — это твердые хрупкие вещества обычно черного цвета, не плавящиеся при нагревании и не растворимые в бензине.

*Карбены* представляют собой продукты уплотнения асфальтенов. Это твердые вещества с плотностью больше единицы. Они не растворимы в бензоле.

*Карбоиды* образуются в результате уплотнения и полимеризации углеводородов при термическом разложении нефти. Они состоят в основном из углерода и небольшого количества водорода, практически нерастворимы в органических и минеральных растворителях.

*Асфальтогеновые (полинафтеновые) кислоты* — это полутвердые или твердые вещества, мало растворимые в бензине.

## 1.2. ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

**Классификация и способы получения нефтяных топлив.** В таблице 1.2 представлена классификация нефтяных топлив класса F по ГОСТ 28577.0—90 (ИСО 8216-0—86). В зависимости от типа топлива в класс включены нефтепродукты пяти групп. Продукты обозначены символом, состоящим из групп букв, например ИСО-F-DST 2. В обозначение входят: аббревиатура ИСО (Международная ассоциация по стандартизации); буква, обозначающая класс (F — для топлив), которую отделяют дефисом от аббревиатуры и последующих букв; буквы (от одной до четырех), обозначающие категорию топлива; цифра, указывающая на особое свойство топлива. Обозначение записывают полностью — ИСО-F-DST 2 или сокращенно — F-DST 2.

Более 90% нефти используют для получения автотракторных эксплуатационных материалов (топлив и смазочных материалов). При этом применяют физические и химические способы переработки, зависящие от вида сырья и получаемых продуктов. Физические способы переработки заключаются в разделении сырья на составные части по температурам кипения без изменения первоначального химического состава. К ним относится прямая (атмосферная и вакуумная) перегонка нефти. Химические способы основаны на изменении первоначального химического состава перерабатываемого сырья, в результате чего образуются продукты с заранее заданными свойствами. На нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах все способы переработки сырья взаимосвязаны. При этом комплексно используются электроэнергия, теплота, вода.

**Таблица 1.2**

**Классификация нефтяных топлив (класс F)**

Группа топлива	Характеристика
G	Газообразные топлива. Газообразные топлива нефтяного происхождения, состоящие в основном из метана и (или) этана
L	Сжиженные газообразные топлива. Газообразные топлива нефтяного происхождения, состоящие в основном из пропана и пропена и (или) бутана и бутена
D	Дистиллятные топлива. Топлива нефтяного происхождения (бензины, керосины, газойли и дизельные топлива), за исключением сжиженных нефтяных газов и топлив. Тяжелые дистилляты, которые могут содержать небольшое количество остатков
R	Остаточные топлива. Нефтяные топлива, содержащие остаточные фракции процесса перегонки
C	Нефтяные коксы. Твердые топлива нефтяного происхождения, состоящие в основном из углерода и полученные в процессе крекинга

**Методы переработки нефти.** Добытую из недр Земли нефть обезвоживают и обессоливают, а также стабилизируют, т. е. удаляют из нее растворенные газы.

Основным способом переработки нефти является ее прямая перегонка.

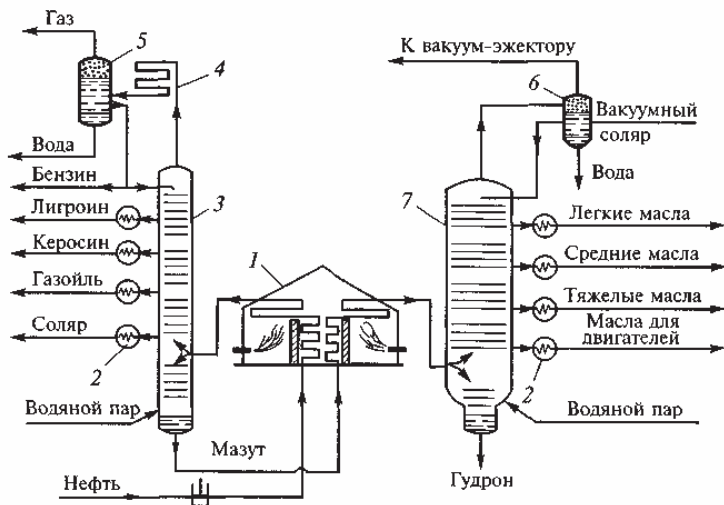
*Перегонка — дистилляция (отекание каплями) — разделение нефти на отличающиеся по составу фракции, основанное на различии в температурах кипения ее компонентов.*

*Фракция — химическая составная часть нефти с одинаковыми химическими или физическими свойствами (температурой кипения, плотностью, размерами), выделяемая при перегонке.*

Прямая перегонка — это физический способ переработки нефти с помощью атмосферно-вакуумной установки (рис. 1.1), принцип работы которой заключается в следующем.

В результате нагрева нефти в специальной трубчатой печи 1 до 330...350 °С образуется смесь паров нефти и неиспарившегося жидкого остатка, поступающая в ректификационную колонну 3 с теплообменниками 2.

В ректификационной колонне (рис. 1.2) происходит разделение нефтяных паров на фракции, составляющие различные нефтепродукты. При этом температура кипения смежных групп получаемых фракций может отличаться всего лишь на 5...8 °С.



**Рис. 1.1. Принципиальная схема атмосферно-вакуумной установки для прямой перегонки нефти:**

1 - трубчатая печь; 2 - теплообменники; 3 - ректификационная колонна; 4 - конденсатор; 5 - сепаратор; 6 - сборник соляра; 7 - вакуумная колонна.

Тяжелые фракции нефти, поступаая в колонну в жидкой фазе, уже в нижней ее части отделяются от паров и отводятся из нее в виде мазута.

В зависимости от химического состава нефти используют две схемы получения топлива (рис. 1.3). В первом случае в интервале температур кипения от 40 до 150 °С отбирают авиационные бензины и в интервале от 150 до 300 °С — керосин, из которого изготавливают реактивные топлива. Во втором случае в интервале температур кипения от 40 до 200 °С отбирают автомобильные бензины и в интервале от 200 до 350 °С — дизельные топлива.

Мазут, остающийся после отгона топливных фракций (60...80 % от исходной массы нефти), используют для получения масел и крекинг-бензинов.

Углеводороды с температурой кипения ниже 40 °С (попутные газы) используют в качестве добавок к некоторым бензинам и в качестве сырья для получения ряда синтетических продуктов, а также как топливо для газобаллонных автомобилей.

Продуктами прямой перегонки нефти (см. рис. 1.1) являются следующие дистилляты: бензин (40...200 °С); лигроин (110...230°С); керосин (140...300 °С); газойль (230...330 °С) и соляр (280...350 °С).

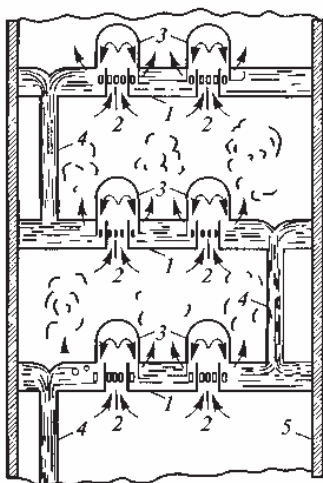


Рис. 1.2. Схема колпачковой ректификационной колонны:  
1 - металлические тарелки; 2 - отверстия для прохождения паров; 3 - колпачки; 4 - сливные трубки; 5 - цилиндрический корпус

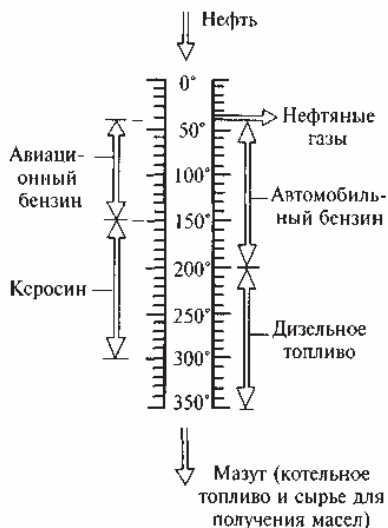


Рис. 1.3. Принципиальные схемы получения важнейших видов топлива для двигателей при перегонке нефти.

Средний выход бензиновых фракций, зависящий от свойств добываемой нефти, колеблется от 15 до 25 %. На долю остальных топлив приходится 20... 30 %.

Лигроин, имеющий несколько большую плотность, чем бензин (тяжелый бензин), используется как дизельное топливо и в качестве сырья для получения высокооктановых бензинов.

Газойль, являющийся промежуточным продуктом между керосином и смазочными маслами, используется как топливо для дизелей, а также является сырьем для каталитического крекинга.

Продукты, получаемые способом прямой перегонки, обладают высокой химической стабильностью, так как в них отсутствуют непредельные углеводороды.

Использование для переработки нефти крекинг-процессов позволяет увеличить выход бензиновых фракций.

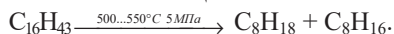
*Крекинг — процесс переработки нефти и ее фракций, основанный на разложении (расщеплении) молекул сложных углеводородов в условиях высоких температур и давлений.*

Впервые крекинг был предложен русским ученым А. А. Летним в 1875 г., а разработан — В.Г. Шуховым в 1891 г., но первая промышленная установка была построена в США.

Существуют следующие виды крекинга: термический, каталитический, а также гидрокрекинг и каталитический риформинг.

*Термический крекинг* используют для получения бензина из мазута, керосина и дизельного топлива.

Например, при нагревании до 500...550 °С под давлением 5 МПа углеводород цетан, входящий в состав керосина и дизельного топлива, разлагается соответственно на нормальный октан и нормальный октен, которые являются составляющими бензина:



Бензин, получаемый посредством термического крекинга, имеет недостаточно высокое октановое число (66...74) и большое содержание непредельных углеводородов (30...40 %), то есть он обладает плохой химической стабильностью и его используют в основном только в качестве компонента при получении товарных бензинов.

Новые установки для термического крекинга в настоящее время уже не строят, так как получаемые с их помощью бензины при хранении окисляются с образованием смол и в них необходимо вводить специальные присадки (ингибиторы), резко снижающие темп осмоления.

*Каталитический крекинг* — это процесс получения бензина, основанный на расщеплении углеводородов и изменении их структуры под действием высокой температуры и катализатора.

Каталитический крекинг на заводской установке был впервые осуществлен в России в 1919 г. Н.Д. Зелинским.

В качестве сырья при каталитическом крекинге (рис. 1.4) используют газойлевую и соляровую фракции, получаемые при прямой перегонке нефти, которые нагревают до температуры 450...525°С под давлением 0,15 МПа в присутствии алюмосиликатного катализатора, который ускоряет процесс расщепления молекул сырья и изомеризует продукты распада, превращая их в изопарафиновые и ароматические углеводороды. При этом

количество олефинов снижается до 9... 10%, а октановые числа получаемых бензинов, измеренные по моторному методу, равны 78...85.

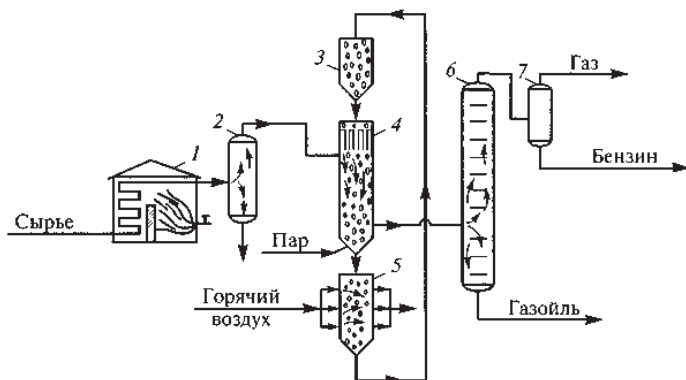
Продукты каталитического крекинга являются обязательными компонентами при производстве бензинов марок А-72 и А-76.

*Гидрокрекинг* — процесс переработки нефтепродуктов, сочетающий в себе крекирование и гидрирование сырья (газойлей, нефтяных остатков и др.). Такой процесс проводится под давлением водорода 15...20 МПа при температуре 370...450 °С в присутствии алюмокобальтмолибденового или алюмоникельмолибденового катализаторов.

Октановые числа бензиновых фракций, получаемых в результате гидрокрекинга, — 85...88 (по исследовательскому методу измерения). Гидрокрекинг повышает также выход светлых нефтепродуктов — бензина, дизельного и реактивного топлива.

В качестве сырья для *каталитического риформинга* обычно используют бензиновые фракции первичной перегонки нефти, выкипающие уже при 85...180 °С.

Риформинг проводят в среде водородосодержащего газа (70...90 % водорода) при температуре 480...540 °С и давлении 2...4 МПа в присутствии молибденового или платинового катализатора.



**Рис. 1.4.** Принципиальная схема каталитического крекинга:  
1 - печь для нагрева сырья; 2 - испаритель; 3 - бункер с катализатором;  
4 - реактор; 5 - регенератор; 6 - ректификационная колонна;  
7 - газосепаратор.

Риформинг при использовании молибденового катализатора называется *гидроформинг*, а при использовании платинового катализатора — *платформинг*. Последний, являющийся более простым и безопасным процессом, в настоящее время применяется значительно чаще.

Каталитический риформинг используют для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов (85 по моторному методу измерения и 95 — по исследовательскому).

**Получение смазочных масел.** Под влиянием идей Д. И. Менделеева нефтепромышленник В.И. Рогозин в 1876 г. построил около Нижнего Новгорода первый в мире завод по производству масел из мазута.

По способу производства различают дистиллятные и остаточные масла.

При получении *дистиллятных масел* мазут нагревают до 420...430 °С (см. рис. 1.1), создавая в вакуумной колонне разрежение в 50 мм рт. ст. Выход дистиллятных масел из мазута составляет около 50 %, остальное — гудрон.

*Остаточные масла* — это очищенные гудроны. Для их получения мазут, или полугудрон, смешивают с сжиженным пропаном (6...8 частей пропана на одну часть мазута) при температуре 40...60°С. Таким образом получают авиационные масла МК-22, МС-20 и трансмиссионное масло МТ-16. МК-22 рекомендовано и для смазки агрегатов некоторых автомобилей, например грузовых автомобилей Минского автозавода.

В смазочных маслах, получаемых из мазута, кроме углеводов обязательно содержатся нафтеновые кислоты, сернистые соединения и смолисто-асфальтовые вещества, поэтому их, как и топлива, необходимо очищать.

### **Очистка топлив и масел**

#### *Методы очистки топлив*

1. Для снижения концентрации кислых продуктов (органических кислот, сероводорода) дистиллят обрабатывают раствором щелочи, а затем промывают чистой водой.

2. Для удаления смол дистиллят очищают серной кислотой, а затем последовательно промывают щелочными растворами и чистой водой.

3. Дистиллят с большим содержанием сернистых соединений подвергают гидрогенизации в присутствии катализатора (гидроочистке), в результате чего содержание серы в топливе снижается в 10...20 раз.

4. При изготовлении зимних сортов дизельных топлив из них удаляют парафиновые углеводороды, имеющие высокие температуры плавления. Процесс депарафинизации заключается в смешивании топлива с карбамидом, образующим кристаллические комплексы с парафинами нормального строения, и последующей его фильтрации. Очищенное таким образом топливо сохраняет текучесть до — 60 °С.

#### *Методы очистки масел*

1. С 70-х годов XIX века для очистки масел применяют концентрированную серную кислоту, которая растворяет смолы и некоторые сернистые соединения, и щелочь.

2. Очень широко для очистки масел используют отбеливающие глины, на поверхности которых адсорбируются смолы, серная и органические ки-

слоты и другие вещества. Зачастую контактная очистка с помощью глины заменяет обработку кислого масла щелочью.

3. Селективным методом очистки с помощью фенола и фурфурола получают масло с высокой химической стабильностью, т.е. масло-рафинат, и экстракт-смолку, которую используют как присадку к трансмиссионным маслам.

### 1.3. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

В состав топлива входит горючая и негорючая часть.

**Горючая часть** представляет собой различные углеводороды и другие соединения, в которые входят углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N), сера (S).

**Негорючая часть** (балласт) в жидком топливе — это *влага* и *зола*. Зола представляет собой негорючий остаток, образующийся после сгорания топлива. В основном золу составляют минеральные механические примеси, попадающие в топливо извне — частицы пыли, песка и т. п.

Топливо, которое подается в двигатель внутреннего сгорания в естественном состоянии и содержит горючую часть (С, Н, О, N, S), влагу W, золу А, называется **рабочим топливом**. Элементный состав рабочего топлива определяется уравнением

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\%. \quad (1.1)$$

Теплоту сгорания топлива иногда пересчитывают по горючей массе, которая не содержит влаги и золы. Горючая масса топлива выражается уравнением

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r = 100\%. \quad (1.2)$$

Тепловая ценность топлива характеризуется его удельной теплотой сгорания.

**Удельная теплота сгорания** Q (кДж/кг, или кДж/м<sup>3</sup>) — это количество теплоты, выделяемой при полном сгорании 1 кг жидкого или твердого топлива или 1 м<sup>3</sup> газообразного. Этот показатель можно определить двумя методами: расчетным и опытным.

При *расчетном методе* важно знать элементный состав топлива. Согласно закону Г. И. Гесса, теплота сгорания топлива зависит только от начальных и конечных продуктов сгорания и не зависит от характера промежуточных реакций. Поэтому **теплота сгорания топлива равна суммарной теплоте сгорания составляющих его элементов**.

В связи с тем что топливо представляет собой не механическую смесь различных элементов, а сложное химическое соединение, при его сгорании выделяется несколько меньше теплоты. Часть ее идет на разрушение свя-



зей между молекулами. Вода, образующаяся от сгорания водорода топлива, превращается в пар, и на этот процесс также затрачивается определенное количество теплоты. При сгорании 1 кг водорода топлива образуется 9 кг воды. Поэтому различают высшую  $Q_B$  и низшую  $Q_H$  удельную теплоту сгорания.

**Высшая удельная теплота сгорания** топлива выделяется при полном сгорании 1 кг жидкого или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива, если образующиеся водяные пары конденсируются.

**Низшая удельная теплота сгорания** топлива представляет собой теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива, за вычетом теплоты, которая затрачена на испарение влаги, образующейся при сгорании водорода, и влаги, содержащейся в топливе.

Таким образом, если в продуктах сгорания топлива влага находится в виде жидкости, то выделяется высшая теплота сгорания, если в виде пара — низшая.

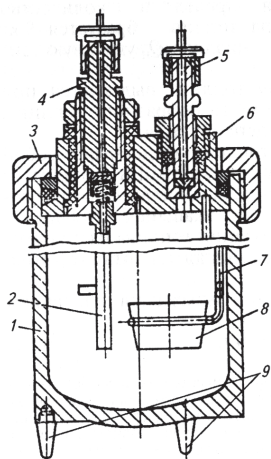


Рис. 1.5. Калориметрическая бомба:

- 1 - цилиндрический корпус; 2 - труба для заполнения бомбы кислородом, служащая одновременно электродом; 3 - накидная гайка; 4 - штуцер; 5 - колпачок; 6 - крышка; 7 - токоведущий стержень (электрод) с кольцом; 8 - чашечка; 9 - ножки

Связь между низшей и высшей теплотой выражается уравнением

$$Q_H = Q_B - 25(9H+W), \quad (1.3)$$

где  $25(9H+W)$  — количество теплоты, которое затрачивается на парообразование влаги, содержащейся в топливе, и удаляется с продуктами сгорания в атмосферу; 25 — коэффициент, указывающий на потерю теплоты в количестве 2512 кДж при выносе в атмосферу 1 кг пара, если влага находится в парообразном состоянии при охлаждении выпускных газов до 20 °С. Количество теплоты 2512 разделено на 100, так как значения величин H и W указаны в процентах; 9H — масса влаги, образующаяся при сгорании единицы массы водорода; H и W — содержание в топливе водорода и воды, %.

При определении удельной теплоты сгорания по элементному составу используют формулы, предложенные Д. И. Менделеевым. Эти формулы показывают, что теплота сгорания топлива равна суммарной теплоте, выделяемой при сгорании его отдельных элементов. Высшая удельная теплота сгорания жидкого или твердого топлива

$$Q_B = 339C + 1256H - 109(O - S) \quad (1.4)$$

Низшая удельная теплота сгорания жидкого или твердого топлива

$$Q_H = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25W \quad (1.5)$$

В формулах (1.4), (1.5) содержание различных элементов и влаги в топливе указывают в процентах, а числа рядом с буквенными обозначениями элементов выражают теплоту сгорания этих элементов, деленную на 100.

Для определения теплоты сгорания топлива опытным методом используют калориметрическую установку, основными элементами которой являются бомба (рис. 1.5) и калориметр.

Сущность метода заключается в сжигании навески испытуемого жидкого топлива в калориметрической бомбе (при постоянном объеме) в среде сжатого кислорода и определении количества теплоты, выделившейся при сгорании.

Калориметрическая бомба, изготовленная из нержавеющей стали, представляет собой толстостенный цилиндрический сосуд, закрытый крышкой 6 (см: рис. 1.5), которую крепят к корпусу накидной гайкой 3. В каналы, выполненные в крышке для впуска и выпуска газов, ввернуты штуцера 4 с колпачками 5. Трубка 2 предназначена для заполнения бомбы кислородом. Одновременно она служит электродом. Выпускной штуцер снабжен игольчатым вентилем. В крышку 6 ввернут токоведущий стержень (электрод) с кольцом для удержания чашки 8. Бомба самоуплотняется под давлением наполняющего ее газа.

Калориметр состоит из калориметрического сосуда и термостатической оболочки. Калориметрический сосуд цилиндрической формы выполнен из тонкого тщательно отполированного листа из нержавеющей стали. Оболочка представляет собой двустенный металлический кожух, защищающий калориметрический сосуд от воздушных потоков и колебаний температуры окружающей среды.

В чашечку 8 наливают 0,5...0,6 г испытуемого нефтепродукта. Между электродами 2 прикрепляют запальную проволоку (железную, никелиновую, константановую или медную) диаметром 0,1...0,2 мм. Ее изгибают в виде петли, в которую укрепляют полоску запальной пленки.

Бомбу устанавливают на дно калориметрического сосуда, в который наливают дистиллированную воду до полного погружения бомбы. Температуру воды в калориметре измеряют специальным термометром. Затем замыкают цепь электрического тока, подсоединенную к клеммам бомбы. Происходит запал топлива, вместе с ним сгорают запальная проволока и полоска запальной пленки.

Удельную теплоту сгорания ( $кДж/кг$ ) испытуемого нефтепродукта в бомбе вычисляют по формуле

$$Q_o = \frac{C(t_2 - t_1 + \Delta t) - (qm_1 + Q_{ns}m_2)}{m} \quad (1.6)$$