МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Кафедра эксплуатации и технического сервиса
наземных транспортно-технологических средств

А.Н. Каплунов, Л.Ю. Шевырев, А.М. Аванесян

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Практикум

Зерноград – 2025

УДК 621.892–73

Печатается по решению методического совета
инженерно-технологического факультета
Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО
«Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

Рецензенты:
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса»
Азово-Черноморского инженерного института ***Несмиян А.Ю.,***

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Техническая механика
и физика» Азово-Черноморского инженерного института ***Снежко А.В.***

Каплунов А.Н. Эксплуатационные материалы: практикум / А.Н. Каплунов, Л.Ю. Шевырев, А.М. Аванесян. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025. – 120 с.

Практикум направлен на закрепление и практическое применение теоретических знаний. Описан порядок проведения лабораторных и практических занятий, приведены необходимые справочные данные, раскрываются методики определения основных показателей качества дизельного топлива, бензина, масел, пластичных смазок и охлаждающих жидкостей. Полученные в ходе выполнения лабораторных работ знания и навыки позволят принимать более эффективные решения при управлении технической и производственной эксплуатацией автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин.

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения направлений подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, 35.03.06 Агроинженерия, 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей при изучении дисциплин «Эксплуатационные материалы», «Топливо и смазочные материалы», «Автомобильные эксплуатационные материалы».

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры
«Эксплуатация и технический сервис
наземных транспортно-технологических средств».
Протокол № 7 от 17.03.2025 г.

© Каплунов А.Н., Шевырев Л.Ю.,
Аванесян А.М., 2025
© Азово-Черноморский инженерный
институт ФГБОУ ВО ДГАУ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение …….. 5
Раздел 1. Краткие сведения об эксплуатационных материалах…... 6
1.1 Виды эксплуатационных материалов и их назначение……..... 6
1.2 Требования, предъявляемые к эксплуатационным материалам..... 6
1.3 Основные свойства эксплуатационных материалов…….. 9

Раздел 2. Техника безопасности и противопожарные мероприятия при выполнении лабораторных работ……..... 16

Раздел 3. Лабораторный анализ эксплуатационных материалов… 18
Лабораторная работа № 1. Отбор проб. Определение плотности нефтепродуктов……..... 18
Лабораторная работа № 2. Определение кинематической вязкости нефтепродуктов…… 26
Лабораторная работа № 3. Определение условной вязкости нефтепродуктов…..…… 33
Лабораторная работа № 4. Определение количественного содержания воды в маслах……..…… 36
Лабораторная работа № 5. Определение фракционного состава бензинов..…… 39
Лабораторная работа № 6. Испытание топлива на медной пластинке... 44
Лабораторная работа № 7. Определение содержания фактических смол в бензине (экспресс-метод)……..…… 47
Лабораторная работа № 8. Определение температуры вспышки дизельного топлива и моторного масла….. 49
Лабораторная работа № 9. Определение наличия водорастворимых кислот и щелочей в дизельном топливе….. 54
Лабораторная работа № 10. Определение температуры каплепадения пластичных смазок……... 56
Лабораторная работа № 11. Оценка растворимости пластичной смазки в воде и бензине…..... 58
Лабораторная работа № 12. Определение качества низкозамерзающих охлаждающих жидкостей...…… 60

Раздел 4. Практический анализ эксплуатационных материалов..... 68
Практическое занятие № 1. Вода..... 68
Практическое занятие № 2. Топливо..... 74
Практическое занятие № 3. Бензин..... 82

Практическое занятие № 4. Дизельное топливо..... 84
Практическое занятие № 5. Газ..... 86
Практическое занятие № 6. Твердое топливо..... 89
Практическое занятие № 7. Масла для двигателей и трансмиссий..... 95
Практическое занятие № 8. Материалы для обеспечения технологического процесса. Увязочные материалы……... 97
Заключение ……..... 103
Литература …….……..... 104
Приложения ……..…….…..... 105

ВВЕДЕНИЕ

Практикум предназначен для студентов направлений подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, 35.03.06 Агроинженерия, 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей при изучении дисциплин «Эксплуатационные материалы», «Топливо и смазочные материалы», «Автомобильные эксплуатационные материалы».

Цель изучения дисциплины состоит в том, чтобы получить технические знания об ассортименте и свойствах применяемых эксплуатационных материалов, нормах расхода и возможностях экономии при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте.

Задачи дисциплины состоят в способности эффективно использовать эксплуатационные материалы, умении применять эксплуатационные материалы в зависимости от технических характеристик транспортных средств и условий эксплуатации, организовать и осуществлять контроль качества эксплуатационных материалов, обеспечить безопасную эксплуатацию, хранение и транспортировку материалов, умении работать с нормативно-технической документацией и справочными материалами.

В настоящем практикуме изложены методические указания по определению эксплуатационных свойств топлив, смазочных материалов и технических жидкостей с целью установления марки продукта, определения его качества и пригодности к применению в тех или иных условиях эксплуатации техники.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся будет уметь: получать вязкостно-температурные характеристики нефтепродуктов; строить кривые фракционной разгонки топлив на основе экспериментальных данных; определять температуры вспышки и воспламенения дизельных топлив и моторных масел; оценивать влияние дизельных топлив, бензинов, масел, пластичных смазок и технических жидкостей на долговечность автомобилей и их экологическую безопасность по маркировке и данным лабораторного анализа.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся будет знать: влияние температуры на вязкость нефтепродуктов; влияние температуры на плотность нефтепродуктов; требования к маслам в зависимости от климатических условий; формулы расчета теплоты сгорания топливно-воздушной смеси; методы повышения топливной экономичности автомобилей; перспективные пути развития автомобильной техники с целью повышения топливной экономичности и экологической безопасности.

Учебное пособие способствует закреплению теоретических знаний, полученных при изучении данной дисциплины и необходимых для организации технически грамотной эксплуатации машин.

Раздел 1. Краткие сведения об эксплуатационных материалах

1.1 Виды эксплуатационных материалов и их назначение

Эксплуатационные материалы, применяемые при эксплуатации и техническом обслуживании автомобилей и машинно-энергетических агрегатов, можно разделить на топлива, смазочные материалы и специальные жидкости.

К топливам относятся:

1) автомобильные и авиационные бензины;
2) дизельные топлива;
3) газообразные углеводородные топлива;
4) спирты.

К смазочным материалам относятся:

1) моторные масла;
2) трансмиссионные масла;
3) масла для гидромеханических передач;
4) масла для гидравлических систем;
5) масла технологического назначения (индустриальные, компрессорные, вакуумные, турбинные, трансформаторные, цилиндровые, холодильные);
6) пластичные смазки.

К специальным жидкостям относятся:

1) охлаждающие жидкости;
2) тормозные жидкости;
3) амортизаторные жидкости;
4) пусковые жидкости.

Также к эксплуатационным материалам можно отнести конструктивно-ремонтные материалы, применяемые при ремонте и поддержании внешнего вида машин: лакокрасочные материалы, пластические материалы, клеящие материалы, резины, обивочные материалы, уплотнительные материалы, изоляционные материалы и др.

Главным источником для производства топлив, смазочных материалов, тормозных и амортизационных жидкостей является нефть. Кроме того, из нефти получают обивочные материалы, пластические массы, резиновые изделия и так далее, то есть почти все неметаллические материалы, применяемые в автомобиле.

1.2 Требования, предъявляемые к эксплуатационным материалам

Мощность бензинового двигателя, его экономичность, надежность работы, расход топлива и масла, токсичность отработавших газов во многом зависят от качества применяемого топлива.

Товарный бензин состоит из смеси бензиновых фракций, полученных различными методами переработки (прямой перегонкой, крекингами, рифор-

мингом и др.). В бензины, предназначенные для двигателей с высокой степенью сжатия, добавляют различные высокооктановые компоненты. Чтобы улучшить пусковые свойства двигателя, к бензинам добавляют газовые бензины. С целью улучшения антидетонационных свойств в бензины добавляют антидетонационные присадки – антидетонаторы. В состав бензинов входят и другие присадки, например, ингибиторы окисления, моющие.

Автомобильные бензины должны удовлетворять следующим требованиям:

1) хорошо испаряться и образовывать горючую смесь, однородную по составу во всех цилиндрах;

2) обеспечивать легкий пуск и устойчивую работу двигателя на различных режимах, а также высокую экономичность;

3) обладать высокой детонационной стойкостью, т. е. сгорать без детонации при различных режимах работы двигателя;

4) иметь высокую физическую и химическую стабильность в баке автомобиля, при хранении, транспортировке и т. п.;

5) не вызывать коррозии емкостей, средств заправки, двигателей (продукты сгорания бензина также не должны вызывать коррозии деталей двигателя);

6) иметь высокую теплоту сгорания, обеспечивать максимальную мощность двигателя, полностью сгорать с минимальным образованием токсичных и канцерогенных веществ;

7) иметь минимальную склонность к образованию нагара на деталях двигателя;

8) обладать хорошими низкотемпературными свойствами;

9) не иметь повышенной гигроскопичности и склонности к образованию льда;

10) не вызывать обледенения карбюратора;

11) не содержать механических примесей и воды;

12) обеспечивать минимальный расход масла.

Надежная и экономичная работа дизельных двигателей обеспечивается, когда правильно подобрано топливо, установлен оптимальный угол опережения впрыска и когда смесь полностью сгорает во время рабочего хода. Иначе увеличивается дымность выхлопа, падает мощность, повышается удельный расход топлива.

Для обеспечения в быстроходных дизельных двигателях полного и качественного сгорания топлива к нему предъявляются следующие важнейшие эксплуатационные требования:

1) бесперебойная подача топлива как из бака к топливной аппаратуре, так и в цилиндры двигателя;

2) надежное смесеобразование, т.е. обладание оптимальными вязкостью, плотностью, фракционным составом, поверхностным натяжением и давлением насыщенных паров;

3) хорошая воспламеняемость, что обеспечивает мягкую работу двигателя, полное сгорание без образования сажи и особо токсичных и канцерогенных продуктов в отработавших газах;

4) минимальное образование нагара и отложений в зоне распылителей форсунок и в камере сгорания;

5) минимальная коррозионная активность;

6) возможно большая физическая стабильность при длительном хранении и транспортировке;

7) невысокая токсичность.

С учётом выполняемых функций требования к смазочному маслу определяются его назначением, особенностями его применения и условиями работы машины и механизма. Масло должно обладать:

1) оптимальными вязкостно-температурными свойствами для облегчения запуска механизма при низких температурах, для снижения износа деталей и уменьшения потерь на трение;

2) хорошими смазывающими свойствами для обеспечения надёжной смазки на всех режимах работы;

3) достаточной антиокислительной стойкостью, препятствующей изменению химического состава масла в процессе работы;

4) хорошими моющими свойствами с целью снижения склонности к образованию отложений;

5) высокими противокоррозионными свойствами по отношению к конструкционным материалам;

6) удовлетворительными защитными свойствами для предохранения металлов от атмосферной коррозии.

Пластичные смазки должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) надёжно выполнять свои функции в широком диапазоне температур, удельных нагрузок и скоростей перемещения трущихся поверхностей;

2) в минимальной степени изменять свои свойства в условиях эксплуатации;

3) оказывать наименьшее воздействие на контактирующие с ними материалы;

5) удовлетворять правилам техники безопасности и не оказывать вредного воздействия на окружающую среду;

6) иметь невысокую стоимость и быть экономичными в эксплуатации.

Для обеспечения нормальной работы двигателя охлаждающая жидкость должна удовлетворять определённым требованиям:

1) минимальная температура замерзания;

2) максимальная температура кипения;

3) минимальный коэффициент объёмного расширения;

4) минимальная вязкость;

5) отсутствие воспламеняемости;

6) отсутствие вспенивания;

7) физическая и химическая стабильность;

8) высокая теплоёмкость и теплопроводность;

9) не вызывать изменения свойств конструкционных материалов.

1.3 Основные свойства эксплуатационных материалов

У всех топлив, в соответствии с предъявляемыми требованиями, регламентируются следующие эксплуатационные свойства.

1. **Испаряемость** характеризует способность топлива переходить из жидкого состояния в парообразное. Это свойство формируется из таких показателей качества, как фракционный состав, давление насыщенных паров, поверхностное натяжение и т.д. Испаряемость определяет технико-экономические и эксплуатационные характеристики ДВС.

2. **Воспламеняемость** характеризует особенности процесса воспламенения смесей паров топлива с воздухом. Оценка этого свойства базируется на таких показателях качества, как температура вспышки, температура самовоспламенения и др. Показатель воспламеняемости имеет такое же значение, как и горючесть топлива.

3. **Горючесть** определяет эффективность процесса горения топливовоздушной смеси в камерах сгорания.

4. **Прокачиваемость** характеризует поведение топлива при перекачках его по трубопроводам и топливным системам, а также при его фильтровании. Это свойство определяет бесперебойность подачи топлива в двигатель при разных температурах эксплуатации. Прокачиваемость оценивают вязкостно-температурными свойствами, температурами помутнения и застывания, предельной фильтруемостью, содержанием воды, механических примесей и др.

5. **Склонность к образованию отложений** – это способность топлива образовывать отложения различного рода в камерах сгорания, в топливных системах, на выпускных и впускных клапанах. Имеются в виду отложения, образующиеся как при низких температурах в системах питания и смесеобразования, так и нагар, получающийся при высоких температурах в процессе сгорания топлива. Оценка этих свойств базируется на таких показателях качества топлива, как зольность, коксуемость, содержание смолистых веществ, непредельных углеводородов и т.д.

6. **Коррозионная активность** и **совместимость** с неметаллическими материалами характеризует способность топлива вызывать коррозионные поражения металлов, набухание, разрушение или изменение свойств резины, герметиков и других материалов. Это свойство предусматривает количественную оценку содержания в топливе коррозионно-активных веществ, испытание стойкости металлов, резины и герметиков при контакте с топливом.

7. **Защитная способность** – это способность топлива защищать от коррозии материалы при их контакте с агрессивной средой в присутствии топлива и в первую очередь защищать металлы от электрохимической коррозии при попадании воды.

8. **Противоизносные свойства** характеризуют уменьшение изнашиваемости трущихся поверхностей в присутствии топлива. Это свойство имеет важное значение для двигателей, у которых топливные насосы и топливорегулирующая аппаратура смазываются только самим топливом без подачи

смазочного материала. Свойство оценивается показателями вязкости и самосмазывающей способностью.

9. **Охлаждающая способность** определяет способность топлива поглощать и отводить тепло от нагретых поверхностей. Свойство имеет значение в тех случаях, когда топливо применяют для охлаждения масла (топливомаслянные радиаторы) или наружной обшивки летательных аппаратов при больших скоростях полёта. Оценка свойства базируется на таких показателях качества, как теплоёмкость и теплопроводность.

10. **Стабильность** характеризует сохраняемость показателей качества при хранении и транспортировке. Это свойство оценивает физическую и химическую стабильность топлива и его склонность к биологическому поражению бактериями, грибками и плесенью. Уровень этого свойства позволяет установить гарантийный срок хранения топлива в различных климатических условиях.

11. **Экологические свойства** характеризуют воздействие топлива и продуктов его сгорания на человека и окружающую среду. Оценка этого свойства базируется на показателях токсичности топлива и продуктов его сгорания, а также пожароопасности.

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

Все смазочные масла должны обладать следующими свойствами.

1. **Смазочные свойства** объединяют несколько свойств масел, которые влияют на процесс трения и изнашивания. Основными из этих свойств являются противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства.

2. **Вязкостные свойства** – это свойства, которые характеризуют вязкость в заданных условиях работы и зависимость вязкости от температуры, давления и приложенного напряжения сдвига.

3. **Противокоррозионные** и **защитные свойства** – это способность масел в процессе работы не оказывать коррозионного действия на узлы и детали машин и механизмов, а также защищать металл от электрохимической и атмосферной коррозии.

4. **Антиокислительные свойства** – это способность не окисляться при воздействии высоких температур и каталитического действия металлов.

5. **Моющие** и **диспергирующие свойства** – это способность препятствовать отложению продуктов глубокого окисления на нагретой металлической поверхности, а также поддерживать их во взвешенном состоянии.

6. **Противопенные свойства** – это способность противостоять образованию воздушно-масляной эмульсии (пены).

7. **Физическая стабильность** – устойчивость к изменению химического состава и физических свойств вследствие колебания температуры и внешнего давления.

8. **Испаряемость**.

9. **Температура вспышки**.

10. **Совместимость** масел друг с другом, а также с конструкционными материалами (резинами, каучуками и т.п.).

С целью обеспечения предъявляемых требований пластичные смазки должны обладать следующими эксплуатационными свойствами.

1. **Прочностные свойства**. Частицы загустителя образуют в масле структурный каркас, благодаря которому смазки в состоянии покоя обладают пределом прочности на сдвиг. Предел прочности – это минимальная нагрузка, при которой начинается разрушение каркаса и происходит необратимая деформация смазки – сдвиг. При приложении нагрузки, превышающей предел прочности, смазки деформируются, а при нагрузке ниже предела прочности они проявляют упругость подобно твёрдым телам. Благодаря пределу прочности смазки удерживаются на наклонных и вертикальных поверхностях, не вытекают из негерметизированных узлов трения. Кроме того, предел прочности определяет стартовые характеристики узлов трения, например, усилие, которое необходимо приложить к подшипнику в начале его вращения.

Все факторы, влияющие на формирование структуры смазок, влияют и на их прочность. К ним относятся:

– тип и концентрация загустителя;

– химический состав и свойства дисперсионной среды;

– состав и концентрация модификатора;

– режим приготовления смазок (температура и продолжительность нагревания, скорость охлаждения и т.д.).

При повторных нагружениях с уменьшением промежутка времени между этими нагружениями значение последовательно замеряемого предела прочности уменьшается.

С повышением температуры предел прочности смазок уменьшается. Температура, при которой предел прочности приближается к нулю, является истинной температурой перехода смазки из пластичного в жидкое состояние.

Для большинства смазок предел прочности при 20 °С лежит в пределах 100–1000 Па.

2. **Вязкостные свойства**. Вязкость определяет прокачиваемость смазок при низких температурах, стартовые характеристики и сопротивление вращению при установившихся режимах, а также возможность заправки узлов трения. В отличие от масел вязкость смазок зависит не только от температуры, но и от градиента скорости сдвига. Поэтому при определении вязкости смазки необходимо знать не только температуру, при которой она определялась, но и скорость, с которой она продавливалась через капилляр. Поэтому вязкость смазки при определенной скорости перемещения и температуре называют эффективной вязкостью.

При увеличении скорости деформации вязкость резко снижается. С повышением температуры вязкость смазки также резко снижается. Изменение вязкости от скорости деформации выражается вязкостно-скоростной характеристикой, а от температуры – вязкостно-температурной характеристикой. При этом первая определяется при постоянной температуре, а вторая при по-

стоянной скорости сдвига. По вязкостно-температурным свойствам смазки превосходят масла, поскольку значительная доля сопротивления течению смазок приходится на разрушение структурного каркаса, прочность которого мало зависит от температуры.

Увеличение концентрации и степени дисперсности загустителя приводит к повышению вязкости смазки. На вязкость смазки влияет также вязкость дисперсионной среды и технология приготовления.

3. **Механическая стабильность** (тиксотропные превращения смазок). Изменение реологических свойств смазок при механическом разрушении и в процессе последующего отдыха – одна из важных характеристик. Тиксотропия – это способность дисперсных систем обратимо разжижаться при механическом воздействии и отвердевать при относительно долгом их пребывании в покое. Положительным качеством, обусловливаемым тиксотропией, является то, что при выбрасывании частиц разжиженной смазки из зоны трения и отложения их на неподвижных поверхностях они увеличивают вязкость и автоматически герметизируют узел трения от вытекания смазки. Однако сильно разупрочняющиеся при механическом воздействии смазки не способны удерживаться в узлах трения и вытекают из них при сравнительно небольших нагрузках. Чрезмерное упрочнение смазки после разрушения также является нежелательным, так как затрудняется запуск узла трения и поступления смазки к контактным поверхностям.

Механическая стабильность смазок зависит от типа загустителя, размеров, формы и прочности связи между дисперсными частицами. Уменьшение размеров частиц загустителя (до определенных пределов) способствует улучшению механической стабильности смазок. Смазки, имеющие мыльные волокна с большим отношением длины к диаметру, более стабильны. Увеличение концентрации загустителя также повышает механическую стабильность смазок. На тиксотропные превращения смазок влияют состав и свойства дисперсной среды, присутствие наполнителей и добавок.

Механическую стабильность определяют в ротационном приборе – тиксометре. Оценивают механическую стабильность специальными коэффициентами, которые рассчитывают по изменению прочности смазки на разрыв: $К_р$ – индекс разрушения, $К_в$ – индекс тиксотропного восстановления.

4. **Пенетрация**. Пенетрация служит показателем консистенции (густоты) смазок. Этот показатель до сих пор используется для оценки прочности и сравнения смазок друг с другом. Однако смазки, обладающие разными реологическими свойствами, могут иметь одинаковые числа пенетрации, и это приводит к неверным представлениям об эксплуатационных свойствах смазок.

5. **Коллоидная стабильность**. Способность удерживать масло, сопротивляться его выделению при хранении и эксплуатации характеризует коллоидную стабильность смазок. Выделение масла может быть самопроизвольным вследствие структурных изменений в смазке, например, под действием собственной массы, и может ускоряться или замедляться под действием температуры, давления и др. факторов. Слишком большое выделение масла

в процессе работы – более 30% – приводит к резкому упрочнению смазки и нарушает её нормальное поступление к контактирующим поверхностям.

Коллоидная стабильность зависит от размеров, формы и прочности связей структурных элементов. Большое влияние оказывает вязкость дисперсной среды: чем выше вязкость масла, тем труднее ему вытекать из объёма смазки.

Коллоидная стабильность оценивается по объёму масла, отпрессованного из смазки при комнатной температуре в течение 30 минут, и выражается в процентах (%) – для смазок она не должна превышать 30%. Проводят это на разных приборах, но самым простым и удобным является механическое отпрессовывание масла из некоторого объёма, помещенного между слоями фильтровальной бумаги.

6. **Химическая стабильность**. Под химической стабильностью понимают стойкость смазок против окисления кислородом воздуха, хотя в широком смысле – это отсутствие изменения свойств смазок под воздействием на них химических реагентов (кислот, щелочей, кислорода и т.д.). Окисление приводит к образованию и накоплению в смазках кислородсодержащих, активных веществ, к изменению реологических свойств (как правило, разупрочнению), ухудшению коллоидной стабильности, понижению температуры каплепадения, смазочной способности и т.д.

Стабильность против окисления особенно важный показатель для смазок, которые

– заправляют в узлы трения 1–2 раза в течение 10–15 лет;

– работают при высоких температурах;

– работают в тонких слоях;

– в контакте с цветными металлами.

Медь, бронза, олово, свинец и ряд других металлов и сплавов ускоряют окисление смазок.

Об образовании и накоплении в смазке продуктов окисления судят по данным ИК-спектроскопии. Исследования проводят методом ускоренного окисления под действием высокой температуры в присутствии катализаторов.

Имеется несколько способов повышения стойкости смазок против окисления:

– подбор масляной основы;

– выбор типа и концентрации загустителя;

– варьирование технологическими режимами производства;

– введение антиокислительных присадок (амино- и фенолсодержащие соединения, фосфор- и серосодержащие органические продукты и т.д.).

7. **Термическая стабильность**. Способность смазок не изменять свои свойства и, прежде всего, не упрочняться при кратковременном воздействии высоких температур характеризует их термическую стабильность. Особенно подвержены упрочнению вплоть до потери пластичности при повышенных температурах смазки из мыл синтетических жирных кислот, натриевые, натриево-кальциевые и в меньшей степени кальциевые. Упрочнение затруд-

няет поступление смазки к узлу трения, ухудшает ее адгезионные свойства. Особенность термоупрочнения – полная и многократная обратимость – перетирание затвердевшей смазки приводит к восстановлению её первоначальных свойств.

8. **Испаряемость** – один из показателей смазок, определяющих стабильность состава при хранении и в эксплуатации. Испарение масла из-за высоких температур, вакуума и отсутствия частой смены приводит к повышению концентрации загустителя, что сопровождается увеличением предела прочности и ухудшением низкотемпературных свойств: на поверхности образуются корки и трещины, снижается защитная способность.

Скорость испарения зависит от условий хранения и эксплуатации, фракционного состава масла. Чем тоньше слой и больше его поверхность, тем выше испаряемость. Тип и концентрация загустителя мало влияют на испаряемость масла.

Выражается испаряемость в процентах. Определяется измерением потери массы образца, который выдерживают в стандартных условиях в течение определённого времени при постоянной температуре.

9. **Температура каплепадения**. Минимальная температура, при которой происходит падение первой капли смазки, нагреваемой в приборе Уббелоде. Эта температура зависит от условий оценки и не всегда определяется одними и теми же свойствами смазок. Она условно характеризует температуру плавления загустителя. Считается, что температура каплепадения должна быть на 15–20 °С выше максимальной температуры применения смазки. Однако температура каплепадения не всегда позволяет правильно судить о высокотемпературных свойствах смазки. Например, температура каплепадения литиевых смазок лежит в пределах 170–200 °С, а работоспособны они до 130 °С.

10. **Микробиологическая стабильность**. Под действием микроорганизмов, попавших в смазку и развившихся в ней, происходит изменение состава и свойств смазок. При развитии микроорганизмы потребляют те или иные компоненты смазки, продукты обмена накапливаются и, как правило, увеличивают кислотность смазки. При этом происходит разупрочнение и изменение эксплуатационных свойств.

Для борьбы с микроорганизмами в смазки вводят антисептики – органические вещества, например, бензойную и салициловую кислоты, фенолы, производные ртути, олова и др. Бактерицидными действиями обладают некоторые антиокислительные, противоизносные присадки и ингибиторы коррозии.

11. **Радиационная стойкость**. Воздействие на смазки излучений высоких энергий приводит к глубоким изменениям их структуры и свойств. В значительной степени стойкость смазок к облучению зависит от состава масла, на основе которого они приготовлены. По дисперсионной стойкости смазки располагаются следующим образом в порядке возрастания: кремнийорганические жидкости – сложные эфиры – нефтяные масла – простые эфиры. Смазки в зависимости от типа загустителя при облучении могут при-

обретать «наведённую» радиоактивность. Наиболее легко радиоактивность приобретают натриевые смазки.

Для охлаждающих жидкостей наибольшее значение имеют следующие эксплуатационные свойства.

1. **Жесткость** (для воды) – наличие солей жесткости, образующих отложения на стенках водяной рубашки и радиатора.
2. **Теплоемкость**.
3. **Теплопроводность**.
4. **Температура кипения**.
5. **Температура замерзания**.
6. **Объемное расширение при нагревании**.
7. **Объемное расширение при замерзании**.
8. **Вязкостные свойства**.

Раздел 2. Техника безопасности и противопожарные мероприятия при выполнении лабораторных работ

Многие исследуемые нефтепродукты и химические реактивы являются легковоспламеняющимися веществами, а некоторые из них, кроме того, и ядовитыми. В этой связи, при выполнении лабораторных работ, следует строго соблюдать инструкцию по технике безопасности.

Основные правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Вход в аудиторию, где предусматривается выполнение лабораторных работ, в верхней одежде категорически запрещен.

2. На рабочих местах необходимо соблюдать чистоту и порядок, а книги, тетради и другое имущество, не относящееся к проводимой работе, следует убрать в стол.

3. Категорически запрещается принимать пищу и пить воду в лаборатории.

4. Курить в помещении лаборатории категорически запрещено.

5. Запрещается без разрешения преподавателя или лаборанта самовольно монтировать приборы для опыта, переливать и сливать содержимое в приборах, колбах и другой посуде.

6. Все работы, сопровождающиеся выделением дыма и ядовитых паров, производить в вытяжном шкафу.

7. Нельзя пробовать на вкус и вдыхать пары химических веществ.

8. Запрещается держать близ огня нефтепродукты в любой таре, а также проводить работу с легковоспламеняющимися веществами.

9. Нельзя сливать нефтепродукты и органические растворители в раковину.

10. Запрещается наклоняться над посудой, в которую наливают нефтепродукты или их переливают, чтобы избежать попадания брызг в глаза.

11. Перед проведением испытаний необходимо проверить, чтобы стеклянная посуда была без трещин и чистая.

12. Не разрешается нагретую колбу брать мокрой или влажной тряпкой во избежание ее растрескивания и нанесения ожогов себе и окружающим.

13. Особую осторожность необходимо соблюдать при работе с этилированным бензином. Места попадания этилированного бензина (рабочее место, инструмент, одежда, руки и т.д.) следует промыть теплой водой с мылом.

14. Для нагрева нефтепродуктов следует применять электрические приборы с закрытой спиралью.

15. При перегонке нефтепродуктов сначала подается вода в холодильник, а затем включается электроплитка. Во время перегонки необходимо постоянно следить за работой прибора.

16. Нагревательные приборы нельзя оставлять без присмотра, а при окончании работы выключать раньше нагревательные приборы и только через 10–15 мин. отключать подачу воды.

17. При случайном разливе нефтепродуктов и органических растворителей следует немедленно выключать нагревательные приборы, а с места разлива убрать жидкость.

18. Обтирочные материалы (тряпки, бумага и т.п.) хранятся в шкафу.

19. В лаборатории не допускается выполнение учебной, научной и других видов работ, не связанных с исследованиями нефтепродуктов.

20. Каждый работающий в лаборатории должен знать, где расположены средства пожаротушения, и уметь ими пользоваться (песок, огнетушитель, противопожарное оборудование и инструмент). Необходимо помнить, что вода не используется для тушения нефтепродуктов и органических растворителей.

21. Каждый работающий в лаборатории должен знать, где находится аптечка, и уметь оказать первую помощь пострадавшему при ожоге, порезе, отравлении и др.

22. В случае пожара необходимо выключить приточно-вытяжную вентиляцию, электрорубильник, тотчас принять меры к ликвидации пожара (использование средств пожаротушения). При необходимости вызвать пожарную команду по телефону 01.

23. При выполнении лабораторных работ строго придерживаться методических указаний. По непонятным вопросам работы обращаться к преподавателю или лаборанту.

Раздел 3. Лабораторный анализ эксплуатационных материалов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
Отбор проб. Определение плотности нефтепродуктов

Цель работы: изучить правила и методы отбора проб. Научиться определять плотность нефтепродуктов.

Оборудование: 1) ручная лаборатория (РЛ);
2) нефтеденсиметр (ареометр);
3) пикнометр;
4) гидростатические весы.

Продолжительность: 2 часа.

Отбор проб

Одной из наиболее трудоемких, но очень важных операций является отбор средней пробы на анализ. От тщательности и правильности выполнения этих работ будет зависеть достоверность последующих исследований.

Проба может быть индивидуальной, средней и контрольной.

Индивидуальная проба – это проба, взятая один раз из одного места емкости.

Средняя проба – это смесь индивидуальных проб, отражающая качество определенной партии.

Контрольная проба – это часть индивидуальной или средней пробы, оставляемая для контроля (арбитража).

Для отбора проб жидких нефтепродуктов существуют специальные пробоотборники, которые имеются в ручных лабораториях (РЛ) (рисунок 1.1). Назначение РЛ – отбор проб и проверка их качества простейшими методами.

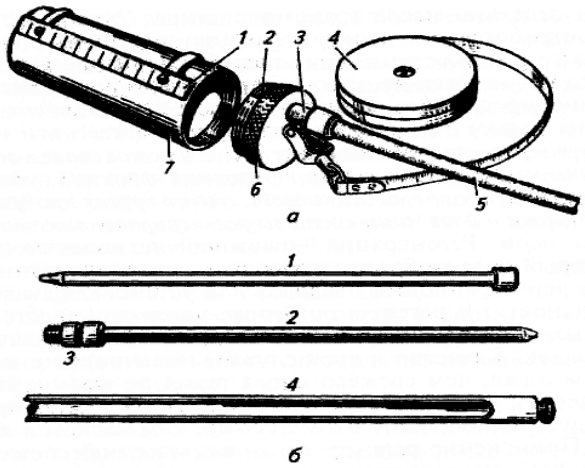
Из вертикальных и горизонтальных резервуаров среднюю пробу составляют смешиванием индивидуальных, отобранных с трех уровней (рисунок 1.2): верхнего – на расстоянии 200–300 мм от поверхности нефтепродукта (одну часть), среднего – в середине высоты налива (три части), нижнего – на 100 мм ниже приемо-раздаточной трубы, а при ее отсутствии – на расстоянии 200–300 мм от дна резервуара (одну часть).

На рисунке 1.1 показан лот (пробоотборник) с рулеткой для отбора проб из больших резервуаров. Металлическая рулетка 4 закреплена на крышке 6 цилиндрического стакана 7 емкостью 300 мл. Крышка имеет штуцер 3, на который надевается резиновая трубка 5, и резьбу 2. Внутри стакана находится стальная трубка, по которой происходит заполнение нефтепродуктом.

При отборе пробы верхний конец резиновой трубки 5 плотно зажимают, с помощью рулетки пробоотборник опускают на нужную глубину, затем открывают резиновую трубку, при этом воздух выходит, а стакан заполняется нефтепродуктом, для чего требуется около минуты. Затем пробоотборник из-

влекают и отвинчивают крышку, а нефтепродукт сливают в чистую посуду. Пробы, взятые с разных уровней, тщательно перемешивают (для получения средней) и разливают в две стеклянные бутылки 0,5 л из темного стекла. Одну пробу оставляют как контрольную, а другую посылают на исследование.

Для отбора проб из мелкой тары (бочки, канистры, баки машин) в ручной лаборатории имеется ряд пробоотборников, размещенных на внутренней стороне крышки. Один из пробоотборников, предназначенный для взятия жидких топлив, показан на рисунке 1.1. Это две алюминиевые трубки 1, 2, соединенные переходником 3. Отверстие верхнего конца плотно закрывают пальцем и опускают в емкость с топливом, открыв трубку, забирают пробу топлива, затем, плотно зажав отверстие, достают пробоотборник из тары и выливают отобранное топливо в сухую посуду.



а – лот с рулеткой для отбора проб топлива: 1 – линейка; 2 – резьба; 3 – штуцер; 4 – рулетка; 5 – резиновая трубка; 6 – крышка; 7 – стакан; *б* – пробоотборники: 1, 2, 4 – трубки соответственно для отбора топлива, масла, пластичных смазок; 3 – переходник

Рисунок 1.1 – Лот (пробоотборник) и пробоотборники, входящие в ручную лабораторию (РЛ)

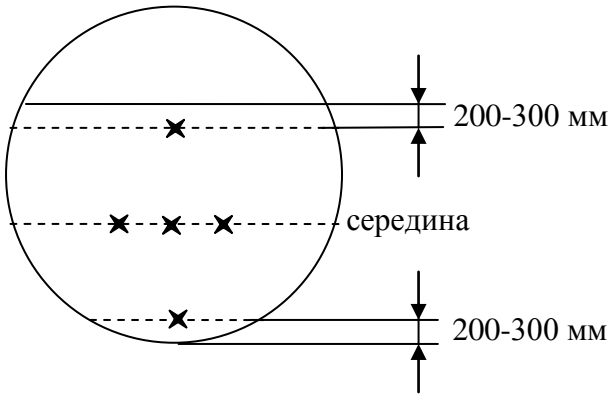


Рисунок 1.2 – Схема отбора индивидуальных проб из резервуара

Правила отбора проб:

1) посуда-пробоотборник для каждой индивидуальной пробы должна быть индивидуальной;
2) проба разливается в две пол-литровые бутылки;
3) бутылки тщательно закрываются и пломбируются;
4) на бутылки наклеиваются этикетки, на которых указывается:
    4.1) наименование и маркировка нефтепродукта;
    4.2) наименование сельхозпредприятия или нефтебазы, где была взята проба;
    4.3) дата отбора пробы;
    4.4) номер резервуара или цистерны, из которой была взята проба;
    4.5) номер пробы.

Пробы необходимо отбирать в случаях:

1) при поступлении нефтепродуктов с нефтебазы;
2) периодически для контроля сохранности (бензин, масла, пластичные смазки – не менее чем раз в два года, дизельное топливо – не менее чем раз в год);
3) для контроля качества сбора отработанных масел;
4) для контроля качества восстановленных масел;
5) в случае возникновения сомнения в качестве нефтепродуктов.

Определение плотности нефтепродуктов

Плотностью называется масса единицы объема вещества. Размерность ее в системе интернациональной (СИ) – кг/м^3. Плотность принадлежит к числу обязательных показателей, включаемых в паспорт на топливо для двигателей, и в основном используется при пересчете объемных единиц нефтепродуктов в массовые, и, наоборот, при учете их расхода и движения на нефтебазах и заправочных станциях.

Различают абсолютную и относительную плотности вещества (нефтепродукта).

Абсолютная плотность определяется по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (1.1)$$

где m – масса вещества, кг;

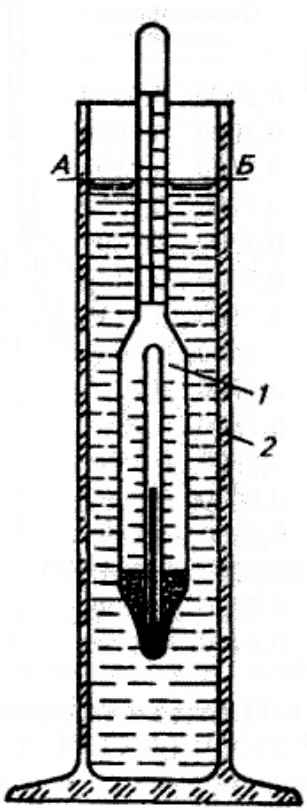
V – объем вещества, м^3.

Относительной плотностью называется отношение плотности нефтепродукта, взятого при 20 °С в определенном объеме, к плотности дистиллирован-

ной воды, взятой при 4 °С в том же объеме. Обозначается – ρ_4^{20}. Относительная плотность единиц измерения не имеет (измеряется в долях единицы).

Определение плотности нефтепродукта с использованием нефтеденсиметра

Согласно ГОСТ 3900–47 плотность измеряют нефтеденсиметром (ареометром). Нефтеденсиметр представляет собой стеклянный корпус, который в нижней части имеет балласт, а сверху – тонкую трубку, внутри которой помещена шкала плотностей. Промышленностью выпускаются нефтеденсиметры, у которых во внутренней части корпуса расположен термометр (рисунок 1.3).



1 – нефтеденсиметр; 2 – стеклянный цилиндр

Рисунок 1.3 – Определение плотности нефтепродуктов нефтеденсиметром

Для определения плотности нефтеденсиметром используется стеклянный цилиндр емкостью не менее 250 мл, который заполняется исследуемым образцом топлива до уровня, отстоящего от верхнего края цилиндра на 50–60 мм. Затем чистый и сухой нефтеденсиметр осторожно опускают в наполненный цилиндр на возможно большую глубину. Для исключения поломки нефтеденсиметра следует держать его за тонкий верхний конец и обязательно вертикально.

Через 2–3 мин после погружения, после того как прекратятся колебания нефтеденсиметра, производят отсчет плотности по верхнему краю мениска.

При этом глаз должен находиться на уровне мениска, отмеченном на рисунке 1.3 линией АВ, а нефтеденсиметр не должен касаться стенок цилиндра. Одновременно с отсчетом, показания по шкале нефтеденсиметра устанавливают температуру образца дизельного топлива по термометру, расположенному внутри нефтеденсиметра или же дополнительным термометром, вводя его в нефтепродукт рядом с нефтеденсиметром.

Следует учитывать, что шкалы нефтеденсиметров, изготовленных до 1980 г., градуированы в г/см^3, поэтому результаты отсчета по ним (с точностью до третьего знака после запятой) необходимо перемножить на 1000, и тогда результат измерения плотности будет иметь размерность по международной системе единиц СИ кг/м^3.

Отсчет по шкале нефтеденсиметра дает плотность при температуре испытания. Значением этого показателя плотности пользуются при определении количества нефтепродуктов по его объему (или для обратного пересчета).

В паспортах качества и других документах плотность топлива и других нефтепродуктов указывается при нормальной температуре +20 °С. Так, плотность бензинов находится в пределах 690–780 кг/м^3; зимнего дизельного топлива составляет 800–840 кг/м^3, летнего – 810–870 кг/м^3.

Для приведения замеренной плотности к плотности при нормальной температуре ρ^{20} пользуются формулой

$$\rho^{20} = \rho^{t} + \gamma(t - 20), \qquad (1.2)$$

где ρ^{t} – плотность испытуемого топлива при температуре испытания, кг/м^3;

γ – средняя температурная поправка плотности, определяется по таблице А.1 приложения, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot °\text{С}}$.

Плотность густых нефтепродуктов (например, масел) определяют из плотности смеси их с растворителем (обычно, дизельным топливом) в пропорции 1:1, и рассчитывается по формуле

$$\rho_{\text{масло}} = 2 \cdot \rho_{\text{смеси}} - \rho_{\text{раств}}, \qquad (1.3)$$

где $\rho_{\text{смеси}}$ – плотность смеси (приведенная к 20 °С), кг/м^3;

$\rho_{\text{раств}}$ – плотность растворителя (приведенная к 20 °С), кг/м^3.

Пикнометрический метод определения плотности нефтепродуктов

Пикнометр представляет собой колбу определенного объема с меткой уровня (рисунок 1.4). В начале взвешивают пустой пикнометр на точных аналитических весах, затем взвешивают пикнометр с дистиллированной водой, налитой по метке уровня, и в заключение взвешивают пикнометр с ис-

следуемым нефтепродуктом, налитым по той же метке. Относительную плотность определяют по формуле

$$\beta = \frac{m_н - m_п}{m_в - m_п}, \qquad (1.4)$$

где $m_п$ – масса пустого пикнометра, г;

$m_н$ – масса пикнометра с нефтепродуктом, г;

$m_в$ – масса пикнометра с дистиллированной водой, г.

($m_в$–$m_п$) – водное число пикнометра, дано в паспортных данных прибора, г.

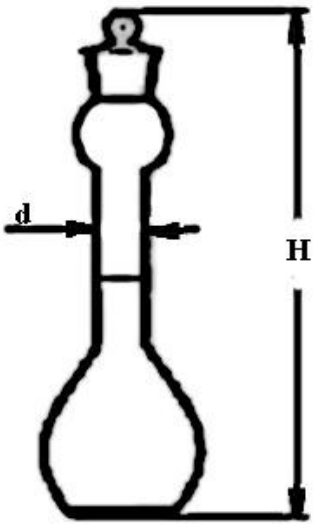


Рисунок 1.4 – Пикнометр

Таблица 1.1 – Типоразмеры пикнометров

Емкость, мл	H, мм	d, мм	Конус
25	130	9	10/19
50	145	9	10/19
100	165	9	10/19

Считается, что пикнометрический метод точнее метода с использованием нефтеденсиметра.

Определение плотности нефтепродукта с использованием гидростатических весов

Гидростатические весы (рисунок 1.5) состоят из неравноплечего коромысла, опирающегося призмой на подушку, заделанную в вилку раздвижной коронки, скрепляемой прижимным винтом и снабженной установочным вин-

том. На одном плече коромысла жестко укреплен постоянный противовес, а на другом, при помощи серьги, к грузоприемной призме подвешен на тонкой металлической проволоке поплавок. Плечо коромысла, несущее грузоприемную призму, разделено на 10 равных частей углубленными нарезами, на которые навешиваются специальные гири-ретиры. Для испытуемого нефтепродукта к весам прилагается стеклянный стакан.

На крючок коромысла весов подвешивают пинцетом проволоку и поплавок. С помощью установочного винта колонку с коромыслом устанавливают в равновесие. Наливают в стакан испытуемый нефтепродукт и опускают поплавок в жидкость так, чтобы в ней был погружен не только весь поплавок, но и часть проволоки (около 15 мм). Равновесие весов нарушается и плечо коромысла поднимается. Для восстановления равновесия навешивают на деление гирю-единицу (самую большую). Если равновесие не наступает, то на коромысло постепенно навешивают гирю-десятую, а затем гирю-сотую, пока не наступит равновесие.

Плотность нефтепродукта отсчитывается по положению гирь на коромысле и приводится к стандартной по формуле (1.2).

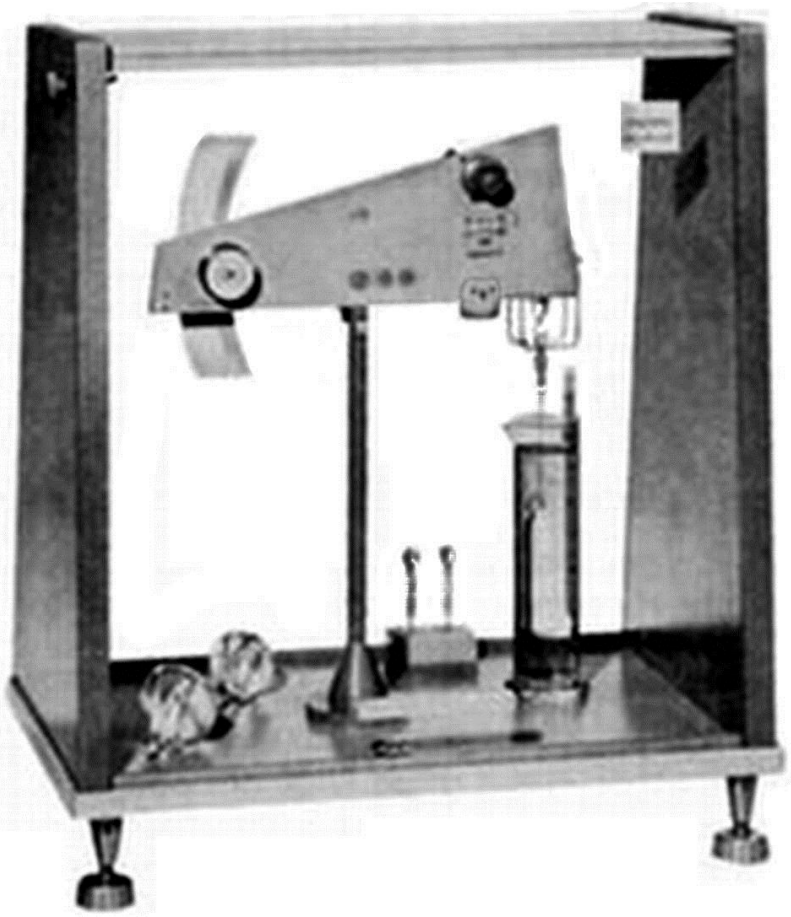


Рисунок 1.5 – Гидростатические весы

Содержание отчета

В отчете должны быть кратко представлены правила и методы отбора проб, а также записаны случаи, в которых необходимо отбирать пробы. Должно быть законспектировано описание методов определения плотности, необходимы формулы, а также результаты определения плотности нефтеденсиметром в виде таблицы 1.2.

Таблица 1.2 – Определение плотности нефтепродуктов

Нефтепродукт	t, °C	ρ^t, кг/м^3	γ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot °\text{C}}$	ρ^{20}, кг/м^3
Бензин				
ДТ				
Смесь				
Масло				

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 1

1. Что такое средняя проба?
2. Как отбираются пробы?
3. Что называется плотностью вещества, и в каких единицах она измеряется?
4. Как определить плотность вещества с помощью нефтеденсиметра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
Определение кинематической вязкости нефтепродуктов

Цель работы: уяснить физический смысл и сущность вязкости, ее роль при эксплуатации двигателя, освоить методику определения кинематической вязкости капиллярным вискозиметром.

Оборудование: вискозиметры Пинкевича ВПЖ-2, ВПЖ-4.

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление внешней силе, перемещающей её слои друг относительно друга. Препятствие перемещению слоев жидкости создают силы молекулярного сцепления.

По закону Ньютона эта сила F определяется уравнением

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{d\upsilon}{dx}, \qquad (2.1)$$

где η – коэффициент внутреннего трения или коэффициент динамической вязкости, который часто называют абсолютной или динамической вязкостью, Па·с;

S – площадь выделенных слоев жидкости, $м^2$;

$\frac{d\upsilon}{dx}$ – градиент скорости между слоями жидкости, $с^{-1}$.

Различают вязкость абсолютную (динамическая и кинематическая) и условную.

За единицу динамической вязкости в системе измерений СИ принята вязкость такой жидкости, которая оказывает сопротивление силой в 1 Н взаимному перемещению двух слоев жидкости площадью 1 $м^2$, находящихся один от другого на расстоянии 1 м и перемещающихся с относительной скоростью 1 м/с. Размерностью единицы динамической вязкости является Па·с (Паскаль-секунда) или внесистемная единица измерения Пз (Пуаз).

При оценке свойства нефтепродуктов обычно рассматривают кинематическую вязкость ν – удельный коэффициент внутреннего трения, определяющийся по формуле

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \qquad (2.2)$$

где ρ – плотность жидкости, $кг/м^3$.

Это объясняется в частности тем, что опытное определение кинематической вязкости (в отличие от динамической вязкости) не представляет особых затруднений и выполняется в приборах, называемых вискозиметрами.

Размерность кинематической вязкости в системе СИ – $м^2/с$ (10^{-6} $м^2/с$ = 1 $мм^2/с$).

В настоящее время кинематическую вязкость в документации на нефтепродукты указывают в системе СГС. За единицу кинематической вязкости в этой системе принят Ст (Стокс) – Ст = 10^{-4} $м^2/с$, сотую часть которого называют сантистоксом (сСт) – 1 сСт = 10^{-6} $м^2/с$ = 1 $мм^2/с$.

Вязкость углеводородных топлив уменьшается с повышением температуры и с уменьшением давления. Изменение вязкости дизельного топлива вызывает нарушение работы топливоподающей системы, процесса смесеобразования и сгорания топлива. При пониженной вязкости топливо проникает через зазоры в плунжерной паре топливного насоса, что приводит к изменению дозировки, уменьшению цикловой подачи, снижению давления впрыска. Частицы маловязкого топлива при распылении имеют малую кинетическую энергию, поэтому происходит образование короткого факела и плохое смесеобразование (рисунок 2.1). Кроме того, топливо может подтекать через отверстия форсунок, что неизбежно увеличивает нагарообразование. Топливо смазывает прецизионные пары насоса, а при уменьшении вязкости, смазывающие свойства ухудшаются, что может привести к росту интенсивности изнашивания. Снижение цикловой подачи вызывает падение мощности. При подтеканиях и просачиваниях увеличивается расход маловязкого топлива.

При повышенной вязкости ухудшается качество смесеобразования, при распыливании образуются крупные капли и длинная струя с малым углом (рисунок 2.1), которая ударяет в стенки камеры сгорания. На испарение требуется больше времени, топливо сгорает не полностью, увеличивается его расход, повышается интенсивность нагарообразования, возникает дымление (цвет выхлопных газов становится темным).

Таким образом, дизельное топливо должно обладать определенной (оптимальной) вязкостью.



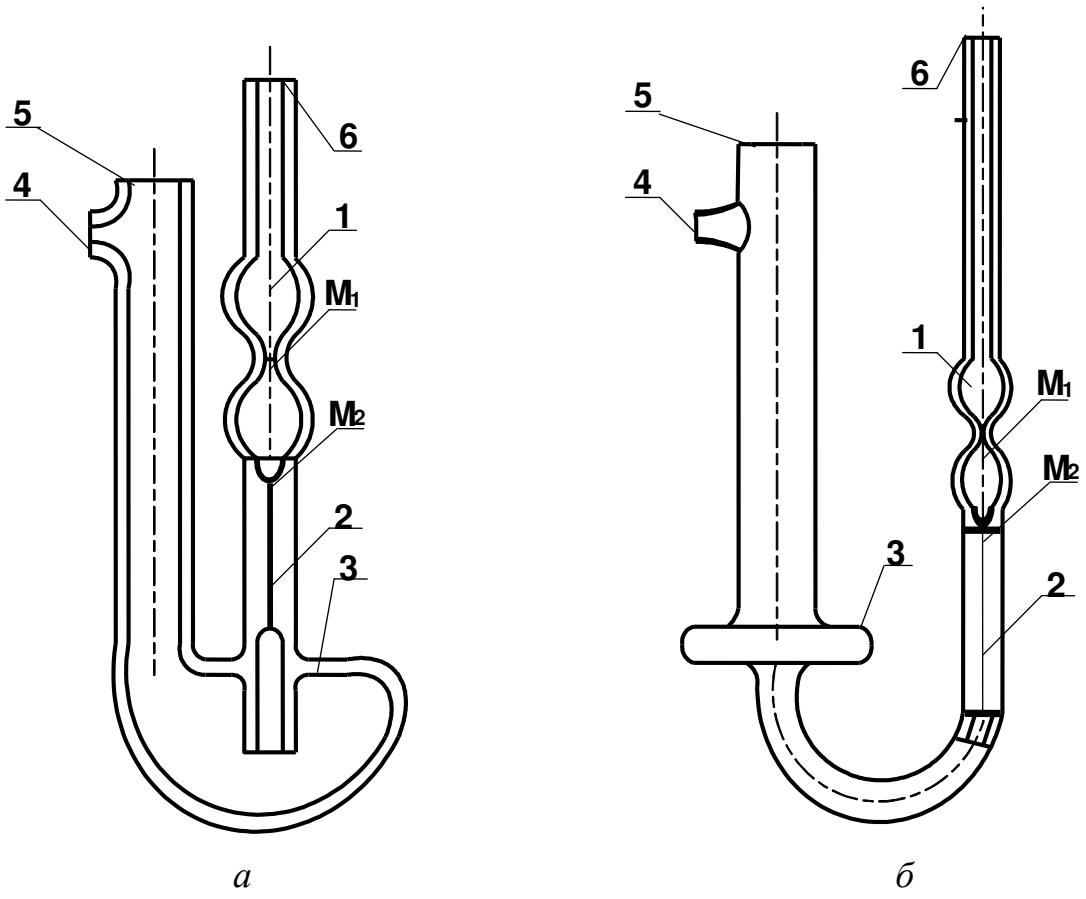
а – при повышенной вязкости топлива; *б* – при малой вязкости топлива

Рисунок 2.1 – Схема факела распыливания топлива при различной вязкости

В ГОСТ 305–82 на отечественные дизельные топлива указывается вязкость при 20 °С в единицах кинематической вязкости. Для летних сортов топлива вязкость должна быть в пределах 3–6 $мм^2/с$ (сСт), для зимних – 1,8–6 $мм^2/с$ (сСт).

От вязкости моторного масла при рабочих температурах в двигателе зависит качество смазывания трущихся поверхностей деталей и их износ. Согласно ГОСТ 17479.1–85 вязкость моторных масел регламентируется при 100 °С. Интенсивность изменения вязкости масла при изменении температуры у разных моторных масел различна. Крутизну вязкостно-температурной кривой оценивают по индексу вязкости (ИВ). Он определяется по номограммам в зависимости от кинематической вязкости масла при 50 °С и при 100 °С. Поэтому кинематическую вязкость моторного масла в лабораторной работе необходимо определять при этих двух температурах.

Кинематическая вязкость определяется согласно ГОСТ 33–82. Для определения кинематической вязкости служат капиллярные вискозиметры. Вискозиметр (рисунок 2.2) представляет собой U-образную трубку, в одном колене которой расположены две калиброванные шаровые емкости 1, переходящие в капиллярную трубку 2, а в другом колене – расширенная емкость 3 для нагревания нефтепродукта.



а *б*

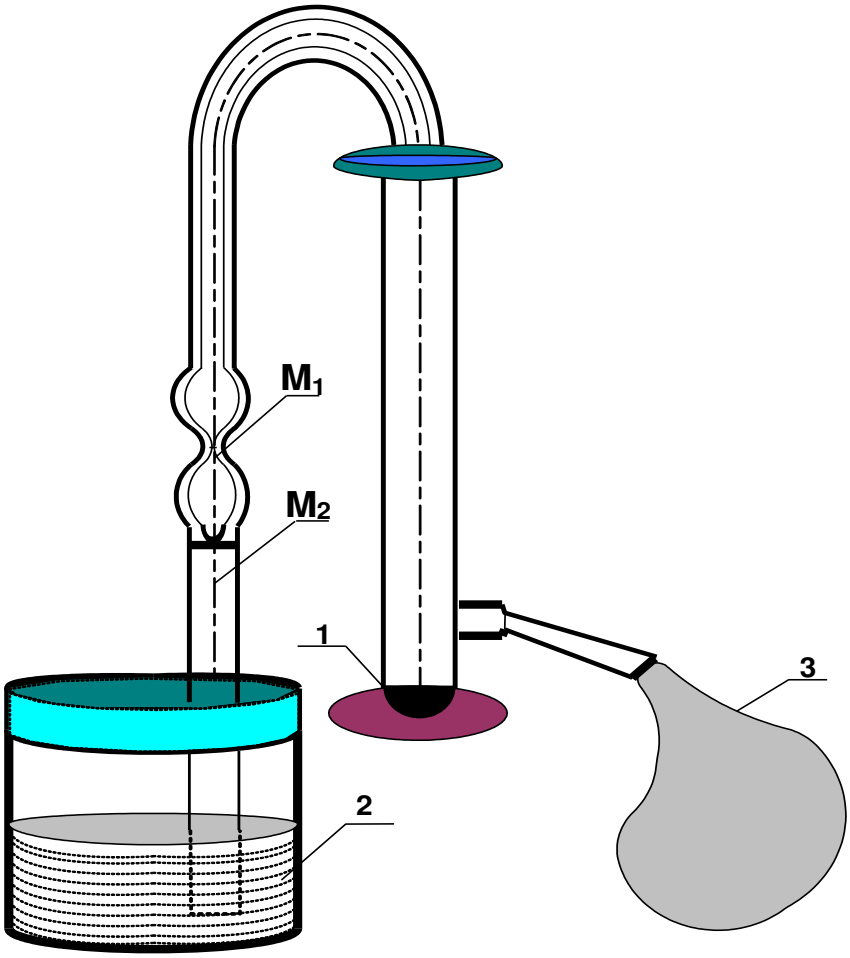
а – вискозиметр ВПЖ-2; *б* – вискозиметр ВПЖ-4
1 – емкость; 2 – капилляр; 3 – расширенная емкость; 4 – отросток;
5 – широкий конец; 6 – узкий конец; M_1 и M_2 – метки

Рисунок 2.2 – Вискозиметр Пинкевича

Вискозиметры выпускают с диаметрами капилляров от 0,6 до 2,5 мм. К каждому прибору прилагается паспорт, где указан номер вискозиметра, его диаметр и постоянная – С, выраженная в сСт/с.

Диаметр капилляра вискозиметра выбирают таким образом, чтобы время движения жидкости было не менее 200 и не более 600 с. Для дизельного топлива обычно пригодны вискозиметры диаметром 0,6–0,8 мм, для масел – до 2,5 мм.

Для измерения вязкости топлива сухой и чистый вискозиметр заполняют профильтрованным исследуемым образцом нефтепродукта при помощи резиновой трубки с грушей, надетой на отводной отросток 4 (рисунок 2.3). С этой целью широкую трубку 5 закрывают пальцем, переворачивают вискозиметр, узкий конец 6 опускают в стакан с топливом и при помощи резиновой груши засасывают топливо в две емкости до метки M_2, наблюдая за тем, чтобы в жидкости не образовались пузырьки воздуха. Затем быстро переворачивают вискозиметр в нормальное положение, снимают резиновую трубку с отводного отростка и надевают на узкий конец, предварительно убрав с внешней стороны избыток жидкости.



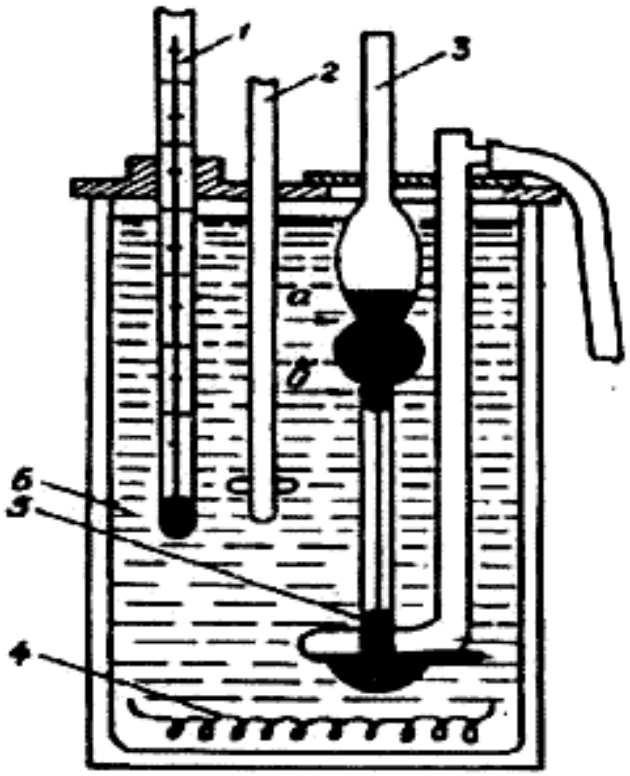
1 – пробка; 2 – испытуемый нефтепродукт; 3 – груша

Рисунок 2.3 – Порядок отбора пробы

Заполненный вискозиметр закрепляют в стакане в строго вертикальном положении так, чтобы верхняя шаровая емкость была погружена в воду (рисунок 2.4).

Внутри стакана помещают термометр и мешалку, и применяют внутренний или наружный подогреватель.

Использующиеся в работе вискозиметры представляют собой очень хрупкие приборы. В этой связи при работе с ними надо проявлять максимум осторожности и, в частности, держать и закреплять их следует только за одно колено. Наиболее часто поломка вискозиметров происходит при надевании и снимании резиновой трубки, поэтому при этой операции необходимо держать их именно за то колено, на которое надевается или с которого снимается резиновая трубка.



1 – термометр; 2 – мешалка; 3 – вискозиметр; 4 – подогрев; 5 – капилляр вискозиметра; 6 – термостат (баня)

Рисунок 2.4 – Прибор для определения кинематической вязкости нефтепродуктов

Кроме того, необходимо иметь в виду, что любой из вискозиметров становится неработоспособным, если во внутреннюю полость его попадает вода или даже пары. Поэтому при заполнении вискозиметра топливом и при определении вязкости не следует допускать попадания в него воды или воздуха.

Для дизельного топлива вязкость нормируют при +20 °С, поэтому осторожным нагреванием или охлаждением температуру жидкости доводят до $20 \pm 0{,}2$ °С и поддерживают её в течение 10 мин. За это время топливо перетечет в широкую часть вискозиметра и его температура будет равной

+20 °С. Резиновой трубкой с грушей осторожно засасывают дизельное топливо в узкое колено, чтобы уровень его был несколько выше шейки между шаровыми емкостями (метка M_1). Затем наблюдают за опусканием топлива. Когда уровень его достигает метки M_1, между емкостями включают секундомер, который останавливают в момент достижения жидкостью метки M_2 – у основания нижней шаровой емкости. Аналогично проводят опыт с моторным маслом при температурах 50 °С и 100 °С.

Определение повторяют три раза. Из трех отсчетов берут среднеарифметическое и подсчитывают кинематическую вязкость по формуле

$$\nu_t = C \cdot \tau_c, \qquad (2.3)$$

где ν_t – кинематическая вязкость, сСт при t °С;

С – постоянная вискозиметра, сСт/с; выписывается из паспорта вискозиметра;

τ_c – среднее время истечения топлива при t °С, с.

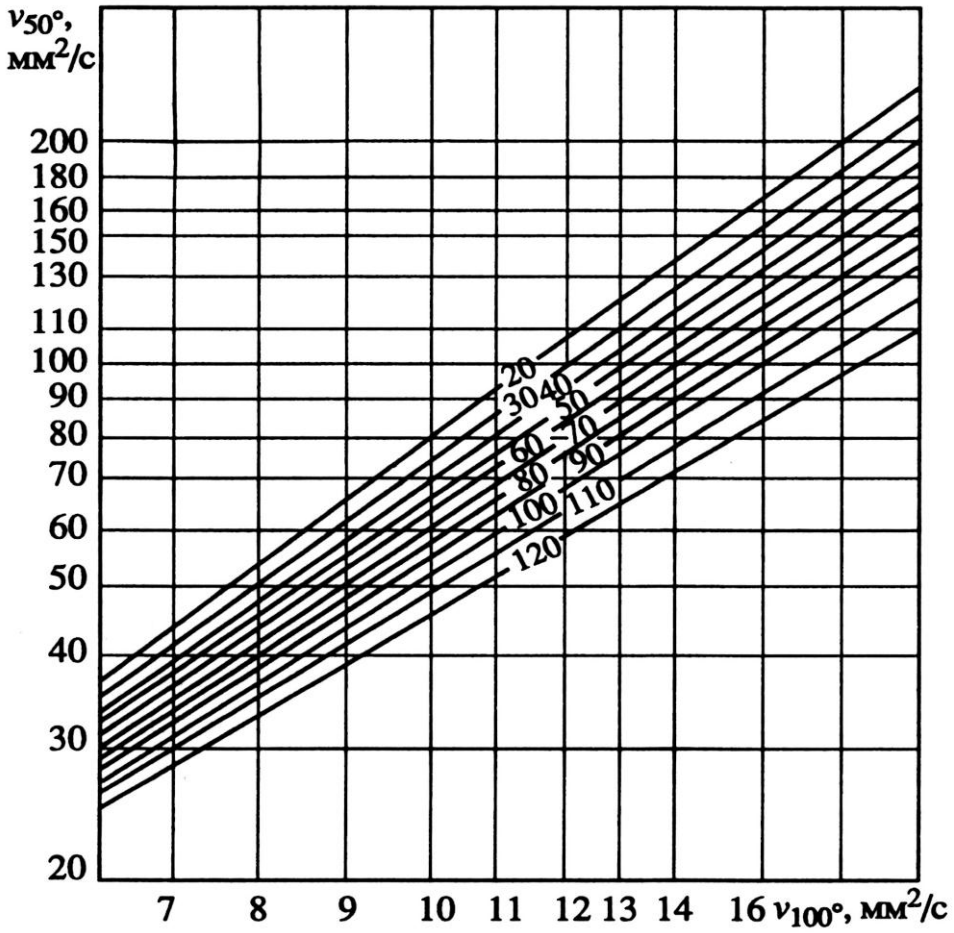


Рисунок 2.5 – Номограмма для определения индекса вязкости масла

После определения кинематической вязкости испытуемых нефтепродуктов необходимо определить индекс вязкости (ИВ) для моторного масла. Изменение вязкости масла в зависимости от температуры характеризуется вязкост-

но-температурными кривыми (ВТК). Лучшими вязкостно-температурными свойствами обладает масло, у которого вязкость при изменении температуры изменяется меньше. Пологость ВТК оценивается индексом вязкости (ИВ).

Индекс вязкости (ИВ) представляет собой относительную величину, которая показывает степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры по сравнению с эталонными маслами.

Чем выше индекс вязкости масел, а значит, выше его качество, тем более полога кривая изменения его вязкости в зависимости от температуры. Масла с высоким ИВ обеспечивают надежную смазку при высоких рабочих температурах, а при низких – легкий пуск двигателя.

ИВ можно определить с помощью номограммы (рисунок 2.5).

ИВ находится на пересечении перпендикуляров, восстановленных к вертикальной (вязкость при 50 °С) и горизонтальной (вязкость при 100 °С) осям диаграммы.

Содержание отчета

В отчете представляют схемы приборов, реактивы, необходимый расчетный материал, краткое описание метода определения показателя.

Для определения вязкости использовался вискозиметр № _____.

Постоянная вискозиметра _____мм^2/с^2 (сСт/с). Время истечения нефтепродукта в вискозиметре _____с. Полученные результаты занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Определение кинематической вязкости нефтепродуктов

Марка нефтепродукта	Температура t, °С	Диаметр вискозиметра d, мм	Постоянная вискозиметра С, сСт/с	Время истечения τ_c, с	Кинематическая вязкость ν_t, сСт

Сделать заключение о соответствии нефтепродукта его маркировке и ГОСТ 305–82 для дизельного топлива, ГОСТ 17479.1–85 для моторных масел.

Привести в отчете полученный индекс вязкости и дать заключение о качестве масла.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 2

1. Что называется вязкостью вещества?
2. Классификация вязкостей.
3. Единицы измерения вязкостей.
4. При какой температуре определяется вязкость дизельного топлива?
5. Что характеризует индекс вязкости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
Определение условной вязкости нефтепродуктов

Цель работы: освоить методику определения условной вязкости масел, определить характер изменения вязкости масел в зависимости от температуры.

Оборудование: вискозиметры Энглера – 3 шт.

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

Условной или относительной вязкостью называют отношение времени истечения из вискозиметра Энглера 200 мл испытуемого нефтепродукта ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при температуре 20 °С, являющемуся постоянной (водным числом) прибора. Величина этого отношения выражается как число условных градусов (градусов Энглера – °Е) и обозначается знаком ВУ.

Водное число вискозиметра определяется заранее по ГОСТ 33–82 или берется из паспорта, прилагаемого к прибору. Его значение должно быть в пределах 51±1 сек.

Расчет условной вязкости проводится по формуле

$$ВУ_t = \frac{\tau_t}{\tau_{20}^{H_2O}}, \qquad (3.1)$$

где $ВУ_t$ – вязкость условная при заданной температуре, °Е;

τ_t, – среднее время истечения испытуемого масла, с;

$\tau_{20}^{H_2O}$ – водное число вискозиметра, с.

Общий вид прибора для определения условной вязкости показан на рисунке 3.1.

Вискозиметр состоит из двух сосудов 2 и 3, вставленных один в другой и соединенных в нижней части калиброванным отверстием. Внутренний сосуд заполняется испытуемым маслом, а внешний служит водяной баней для нагревания масла до заданной температуры. Температура масла и термостатирующей жидкости измеряются термометрами 4 и 6.

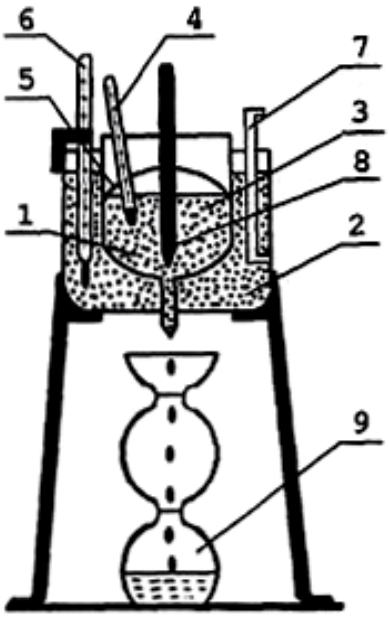
Условная вязкость определяется в следующем порядке.

В чистый и сухой внутренний сосуд 3 вискозиметра залить испытуемое масло, так, чтобы три кончика крючков виднелись на поверхности и были на одном уровне. Уровень регулируется установочными винтами.

Подогреть испытуемое масло и термостатирующую жидкость до заданной температуры и выдержать 5 минут, подставив под калиброванное отверстие колбу, и поднять штифт, закрывающий калиброванное отверстие. Одно-

временно нажимают кнопку секундомера. Когда масло в измерительной колбе дойдет до метки 200 мл, секундомер останавливают и отсчитывают время истечения масла с точностью до 0,2 сек.

Отношение найденного времени истечения масла при данной температуре к водному числу представляет собой его вязкость в градусах Энглера.



1 – электронагреватель; 2 – внешний сосуд; 3 – внутренний сосуд;
4, 6 – термометры; 5 – крышка; 7 – мешалка; 8 – штифт; 9 – колба

Рисунок 3.1 – Вискозиметр Энглера

Требуется определить вязкость масла при 40, 60, 80 и 100 °С, по таблице А.2 приложения перевести условную вязкость в кинематическую и построить график зависимости вязкости от температуры (рисунок 3.2).

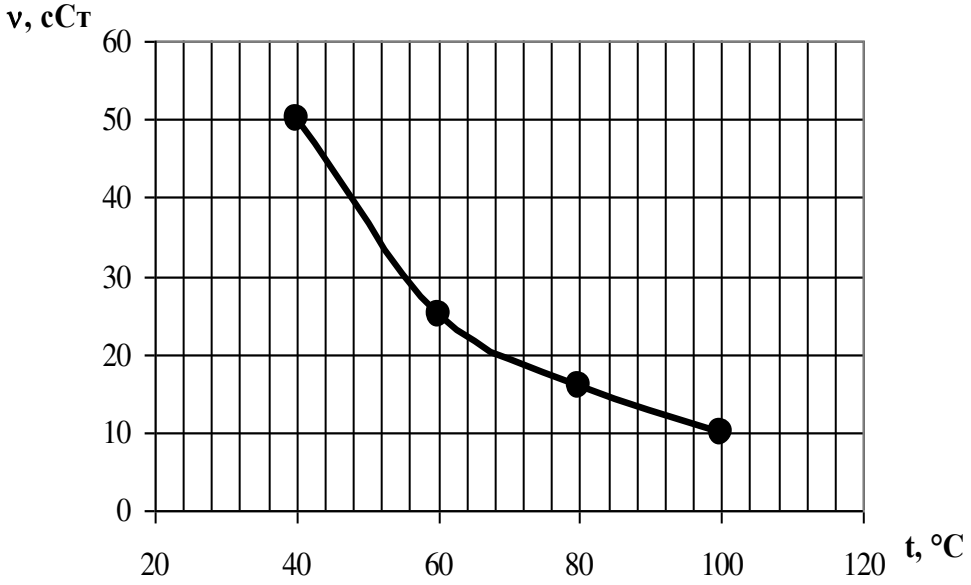


Рисунок 3.2 – Вязкостно-температурная характеристика масла

Содержание отчета

В отчете необходимо представить схемы приборов, реактивы, необходимый расчетный и графический материал, краткое описание метода определения условной вязкости.

Таблица 3.3.1 – Определение условной вязкости нефтепродуктов

Температура масла t, °С	Водное число $\tau_{20}^{H_2O}$,с	Время истечения 200 мл масла τ_t, с	Условная вязкость $ВУ_t$, °Е	Кинематическая вязкость ν_t, сСт
40 60 80 100				

Построить график зависимости вязкости от температуры. Сделать заключение о соответствии масла ГОСТ 17479.1–85.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 3

1. Что называют условной вязкостью? В каких единицах она измеряется?
2. С помощью какого прибора можно определить условную вязкость? Принцип его работы.
3. Что называют водным числом прибора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
Определение количественного содержания воды в маслах

Цель работы: освоить методику анализа, сравнить результаты с требованиями ГОСТ 10541–78, дать заключение о качестве масла и возможности его использования в ДВС.

Оборудование: прибор Дина-Старка.

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

В свежих маслах воды не должно быть. Допустимое значение не более 0,03% (следы).

Присутствие воды в масле можно определить качественно следующими методами: отстаивания, пробами на прозрачность, на потрескивание, с помощью нагрева, с помощью перманганата калия и т.д.

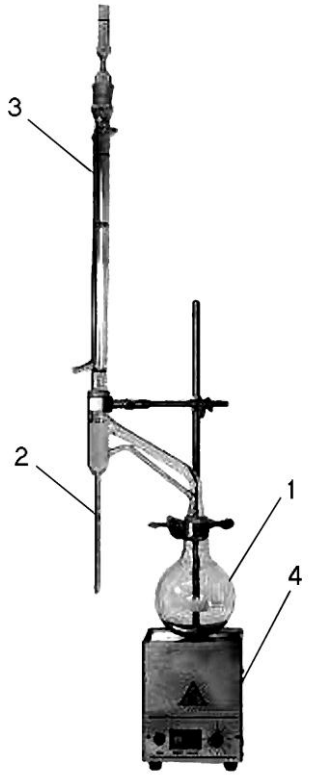
Количественно содержание воды в масле определяют при помощи прибора Дина-Старка по ГОСТ 2477–65. Сущность метода заключается в отгоне воды из смеси масла с растворителем (толуол, ксилол или бензин «Галоша»). Прибор (рисунок 4.1) состоит из колбы 1, приемника-ловушки 2 и холодильника 3. Нагревается исследуемое масло в колбе 1 газовой горелкой или электроплиткой 4.

Пробу испытуемого масла перемешивают в течение пяти минут. Мерным цилиндром отмеряют 50 мл масла и выливают в сухую чистую колбу. С помощью этого же цилиндра отмеряют дважды по 25 мл растворителя, которым смывают масло со стенок цилиндра. Растворитель сливают в колбу с маслом. Чтобы раствор кипел без вспенивания, в колбу помещают несколько кусочков фаянса. Хорошо взбалтывают смесь, затем к колбе плотно присоединяют приемник-ловушку 2, а к нему холодильник 3.

Собрав прибор, соединяют при помощи резиновых шлангов холодильник 3 с водопроводной сетью, включают нагревательный прибор и начинают нагревание. Нагрев регулируют так, чтобы в приемник-ловушку из холодильника падало 2–4 капли в секунду. В начале испаряется бензин, а при температуре 100 °С закипает вода, и в холодильник поступают пары бензина и воды.

В холодильнике они охлаждаются, конденсируются и капают в ловушку. Вода собирается в нижней части ловушки, а бензин сверху. Заполнив приемник до отводной трубки, бензин стекает обратно в колбу.

Перегонку прекращают, как только объем воды в приемнике-ловушке перестанет увеличиваться, и верхний слой растворителя станет совершенно прозрачным. Время перегонки должно быть не менее 30 и не более 60 мин.



1 – колба; 2 – приемник-ловушка; 3 – холодильник;
4 – нагревательный прибор

Рисунок 4.1 – Прибор для определения содержания воды в масле

После остывания колбы прибор разбирают и сталкивают стеклянной палочкой капельки воды со стенок ловушки и холодильника. Если содержимое ловушки мутное, то её следует опустить на 20-30 мин в горячую воду, затем её охлаждают и отсчитывают уровень воды в ловушке.

Если возникает сомнение в наличии воды, то в ловушку опускают кристаллик перманганата калия (даже при незначительном содержании воды нижний слой окрашивается в фиолетовый цвет).

Содержание воды в испытуемом масле определяют в массовых $W_м$ или в объемных $W_{об}$ процентах:

$$W_м = \frac{V \cdot 100}{m}, \%, \qquad (4.1)$$

$$W_{об} = \frac{V \cdot \rho \cdot 100}{m}, \%, \qquad (4.2)$$

где V – объем воды, собравшийся в ловушке, мл;

ρ – плотность исследуемого масла при температуре взятия навески, г/см^3;

m – навеска масла, г.

Содержание отчета

В отчете необходимо изобразить схему прибора, перечислить используемые реактивы, необходимый расчетный материал, краткое описание метода определения показателя.

Продолжительность перемешивания _____, мин;

Навеска масла для испытания _____, г;

Объем растворителя _____, $см^3$.

Содержание воды в массовых процентах определяют по формуле (4.1). Дать заключение о качестве испытуемого масла и о возможности его использования в ДВС.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 4

1. С помощью какого прибора определяют наличие воды в моторных маслах?

2. Как влияет содержание воды на присадки в моторных маслах?

3. Качественное определение содержания воды в моторных маслах.

4. Каким образом сказывается наличие воды в моторных маслах на работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС)?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
Определение фракционного состава бензинов

Цель работы: освоить методику определения фракционного состава бензинов; уяснить влияние различных фракций на работу двигателя.

Оборудование: установка фракционной разгонки нефтепродуктов.

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

Фракционным составом нефтепродуктов называют содержание в них тех или иных фракций, выраженное в объемных или массовых процентах.

Фракционный состав – один из важнейших показателей качества бензина. От фракционного состава бензина зависят пуск, длительность прогрева и приемистость двигателя, перебои в работе двигателя, вызываемые образованием паровых пробок и обледенением карбюратора, надежность работы двигателя в различных эксплуатационных условиях, расход бензина, его потери при транспортировании, хранении и перекачке, а также износ трущихся деталей двигателя.

Бензины представляют собой сложную смесь углеводородов, обладающих различной испаряемостью, а следовательно, выкипающих не при одной постоянной температуре, а в широком диапазоне температур. Автомобильные бензины выкипают при температуре 35–205 °С. Фракционный состав оценивается по температурным пределам его выкипания и по температуре выкипания его отдельных частей – фракций.

Оцениваются следующие температурные пределы фракций: температура начала кипения $t_{н.к.}$, температура перегонки 10, 50, 90, 96, 97,5, 98% объема ($t_{10\%}$, $t_{50\%}$, $t_{90\%}$, $t_{96\%}$, $t_{97,5\%}$, $t_{98\%}$), температура конца кипения $t_{к.к.}$, остаток в колбе. Все эти показатели в той или иной мере характеризуют поведение бензина в карбюраторном двигателе. В стандарты на бензины включены наиболее важные показатели: $t_{нк}$, $t_{10\%}$, $t_{50\%}$, $t_{90\%}$, $t_{к.к.}$, а также остаток в колбе и потери при разгонке.

На рисунке 5.1 представлена кривая разгонки бензина и указаны его основные фракции – пусковая, рабочая и концевая (тяжелая).

В состав пусковой фракции бензина входят самые легкокипящие углеводороды, входящие в первые 10% объема дистиллята. Рабочую фракцию составляют дистилляты, перегоняемые от 10% до 90% объема, и концевую фракцию – от 90% объема до конца кипения бензина.

В соответствии с ГОСТ 2084–77 (таблица А.4 приложения) автомобильные бензины летнего вида должны иметь $t_{нк}$ не менее 35 °С, а $t_{10\%}$ не выше 70 °С. Для летнего бензина АИ-95 $t_{нк}$ не менее 30 °С, а $t_{10\%}$ не выше 75 °С. Для бензинов зимнего вида $t_{н.к.}$ не нормируется, а $t_{10\%}$ должно быть не выше 55 °С.



Рисунок 5.1 – Кривая фракционной разгонки автомобильного бензина

Благодаря этому выпускаемые товарные бензины летнего вида обеспечивают пуск холодного двигателя при температуре окружающего воздуха выше –10 °С, а в жаркий летний период они не образуют паровых пробок. Бензины зимнего вида дают возможность запустить холодный двигатель при температуре воздуха –28 °С.

Температура перегонки 50% бензина характеризует длительность прогрева, качество смесеобразования в нагретом двигателе и приемистость, а также равномерное распределение бензиновых фракций по цилиндрам.

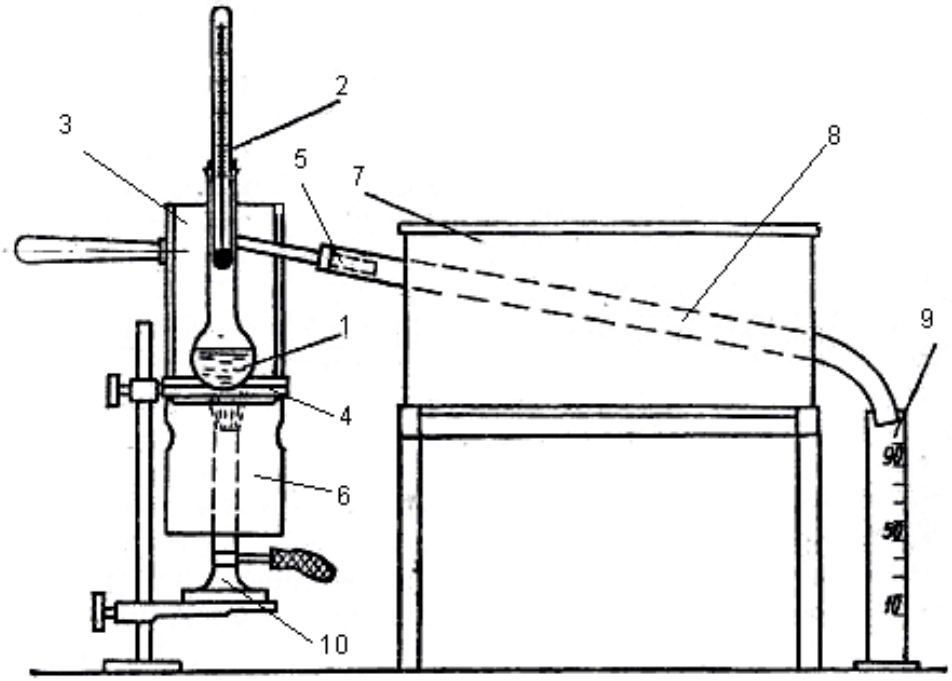
Согласно ГОСТ 2084–77 у товарных автомобильных бензинов летнего вида $t_{50\%}$ должна быть не более 115 °С, а зимнего вида – 100 °С (для АИ-95 – 120 и 105 °С соответственно).

Температура перегонки 90% и конца кипения бензина характеризует полноту сгорания бензина и его расход. От $t_{90\%}$ и $t_{к.к.}$ зависит разжижение картерного масла и нагароотложение в камере сгорания двигателя. При высоких значениях температур бензин не успевает полностью испариться во впускном трубопроводе двигателя и поступает в цилиндры двигателя в жидком виде. Это приводит к смыванию смазки с трущихся поверхностей и повышенному износу деталей. Кроме того, плохо испарившееся топливо медленно и недостаточно полно сгорает, что приводит к увеличению нагароотложения в камере сгорания двигателя.

Для автомобильных бензинов летнего сорта $t_{90\%}$ должна быть не выше 180 °С, а зимнего вида – 160 °С. Конец кипения бензинов летнего вида марки А-76 (АИ-80) должен быть не выше 195 °С, а зимнего – 185 °С. Для бензина марок АИ-91, АИ-93 и АИ-95 согласно ГОСТ 2084–77 конец кипения не выше 205 °С для летнего и не выше 195 °С для зимнего.

Фракционный состав бензина определяется согласно ГОСТ 2177–66 на стандартном аппарате для разгонки нефтепродуктов ЛРН (рисунок 5.2), входящим в состав полевой лаборатории ПЛ-2М.

Приёмным мерным цилиндром 9 в колбу 1 заливают 100 мл исследуемого образца бензина. При этом колбу следует держать наклонно, чтобы бензин не попал в отводную трубку 5 колбы. Для обеспечения равномерного кипения и перемещения бензина внутри колбы помещают два-три кусочка пористого вещества (пемзы, шамота и др.).



1 – колба; 2 – термометр; 3 – верхний кожух; 4 – прокладка; 5 – отводная трубка; 6 – нижний кожух; 7 – холодильник; 8 – трубка холодильника; 9 – мерный цилиндр; 10 – газовая горелка

Рисунок 5.2 – Прибор для определения фракционного состава топлива

В шейку колбы вставляют на хорошо пригнанной пробке термометр 2 с градуировкой от 0 до 360 °С так, чтобы верхний конец ртутного шарика был на уровне нижнего конца отводной трубки колбы.

Колбу с топливом устанавливают строго вертикально на асбестовую прокладку 4, внутри нижней половины кожуха 6. Отводную трубку колбы при помощи корковой пробки соединяют с трубкой 8 холодильника 7. Места соединения пробок заливают коллодием. Сверху колбу закрывают верхним кожухом 8. Под нижнюю часть трубки холодильника ставят, не высушивая, приемный мерный цилиндр на 100 мл, которым отмеривалось топливо. Цилиндр устанавливается так, чтобы трубка холодильника уходила в него не ниже метки 100 мл и не касалась стенок. На время перегонки отверстие цилиндра закрывают ватой или фильтрованной бумагой. Для охлаждения используется проточная вода, которая подается в проточную емкость ванны холодильника через нижний патрубок, а сливается через верхний. Температура

воды на сливе должна быть не выше 30 °С. Колбу нагревают газовой горелкой или электроплиткой с реостатом так, чтобы первая капля с конца трубки холодильника упала в приемный цилиндр не раньше, чем через 5 мин и не позднее, чем через 10 мин после начала нагревания.

Температура, при которой фиксируют падение первой капли в приемник, считают температурой **начала кипения** бензина. Мерный цилиндр подводят к концу трубки холодильника так, чтобы дистиллят стекал по стенке цилиндра. Скорость разгонки в продолжение всего определения должна быть постоянной, чтобы в минуту отгонялось 4–5 мл бензина (20–25 капель за 10 с).

Во время перегонки записывают температуру **начала кипения** и через каждый 10 мл собранного в приемник продукта. **Концом кипения** считают температуру, при которой выкипает 97–98% (97–98 мл) разгоняемого бензина, в это время в шейке колбы появляется белый пар, а температура резко падает. Запись последнего объема дистиллята в мерном цилиндре проводят по истечении 6 мин после прекращения нагрева.

Затем колбу отсоединяют от холодильника, вынимают из нее термометр и через ее горловину (а не отводную трубку) выливают остаток горючего (бензина) в мерный цилиндр емкостью 10 мл. Количество остатка определяется с точностью до 0,1 мл после охлаждения его вместе с цилиндром до 20 ± 3 °С.

Потери вычисляются как разность между 100% и суммой процентов собранного конденсата и остатка.

После проверки преподавателем результатов экспериментальной части лабораторной работы и получения от него данных по октановому числу, давлению насыщенных паров, данные заносят в итоговую таблицу отчета. После этого вычерчивается кривая разгонки и определяется минимальная температура воздуха t_{min}, при которой возможен пуск двигателя по формуле

$$t_{min} = 0{,}5 \cdot t_{10\%} - 50{,}5, \qquad (5.1)$$

где $t_{10\%}$ – температура перегонки 10% бензина.

Следующим этапом в работе является установление марки и вида бензина. Для этого исследуемый образец сравнивается со стандартными эталонными образцами. Кроме того, показатели, внесенные в итоговую таблицу, сопоставляются с соответствующими показателями технических требований ГОСТ 2084–77 на бензины (таблица А.4 приложения).

При этом следует указать, по каким показателям бензин соответствует или не соответствует нормам ГОСТ 2084–77.

Содержание отчета

Представить рисунок схемы установки для фракционной разгонки. В таблице 5.1 отметить результаты разгонки образца бензина.

Таблица 5.1 – Результаты фракционной разгонки бензина

Температура, °С, соответствующая											Остаток, %	Потери, %
н.к.	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	к.к.		

По полученным данным построить кривую разгонки.
Дать заключение о соответствии бензина ГОСТ 2084–77.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 5

1. Что называется фракцией топлива?
2. Какие бывают фракции бензина?
3. Какой температурой характеризуется рабочая фракция?
4. Как влияет хвостовая фракция на работу двигателя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6
Испытание топлива на медной пластинке

Цель работы: изучить методику определения наличия в топливе активных сернистых соединений и сделать вывод о качестве испытуемого топлива.

Оборудование: горелка, пинцет, шлифовальная шкурка, стакан с термостатирующей жидкостью, пробирка с испытуемым продуктом и медными пластинками, термометр, склянка со шлифовальным порошком, фильтр, колба с изооктаном, фарфоровая чашка, колба со спиртом, вата.

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

Сернистые соединения по коррозионной агрессивности подразделяют на активные и неактивные. Их содержание в топливе отрицательно сказывается на его эксплуатационных свойствах, таких, как стабильность, способность к нагарообразованию, коррозионная агрессивность и др. Активные сернистые соединения вызывают коррозию металлов даже при нормальных условиях, присутствие их в топливе крайне нежелательно.

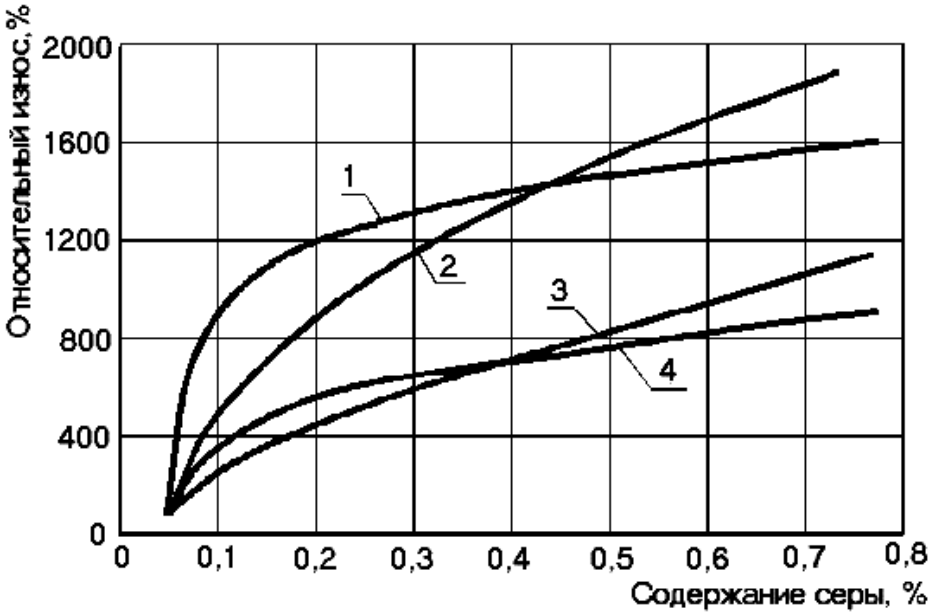
Неактивные сернистые соединения не опасны для резервуаров, трубопроводов, топливных баков и других деталей автомобилей, так как при контакте с металлами коррозионный процесс не возникает.

При сгорании как активные, так и неактивные соединения образуют серный и сернистый ангидриды SO_2 и SO_3, а при конденсации из продуктов сгорания воды, соединяясь с ней, соответственно сернистую и серную кислоты. Серный ангидрид при работе прогретого двигателя вызывает газовую коррозию цилиндра, поршня и выпускных клапанов. По результатам многочисленных экспериментов и практическим данным установлено, что коррозионный износ в значительной степени зависит от изношенности двигателя, количества серы, содержащейся в топливе, и конкретных условий эксплуатации: при увеличении содержания серы в бензине от 0,05 до 0,1% износ двигателей возрастает в 1,5–2 раза, с 0,1 до 0,2% – еще в 1,5–2 раза, а с 0,2 по 0,3% – в 1,3–1,7 раза (рисунок 6.1).

Полное удаление серы из топлива – процесс трудоемкий и требует больших затрат. Часть сернистых соединений, в основном неактивных, в количестве, практически не влияющем на износ двигателя, в топливе остается. Максимальное содержание серы в отечественных автомобильных бензинах регламентируется ГОСТ 2084–77 и равно 0,12%.

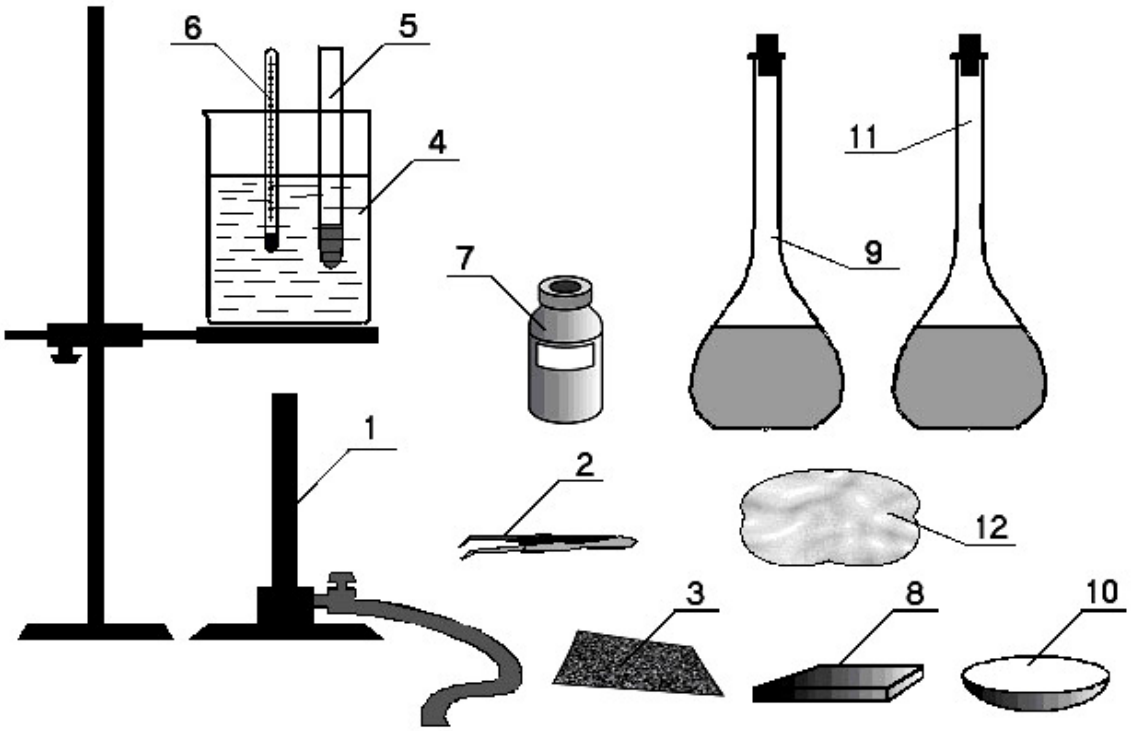
Испытание на медной пластинке проводится в целях определения наличия в топливе активных сернистых соединений.

Сущность определения заключается в фиксировании изменения (или в отсутствии изменения) цвета медной пластинки под воздействием топлива в стандартных условиях испытания (рисунок 6.2).



1 – толкатели; 2 – поршневые кольца; 3 – стержень клапана; 4 – цилиндр

Рисунок 6.1 – Влияние серы, содержащейся в бензине, на износ двигателя



1 – горелка; 2 – пинцет; 3 – шлифовальная шкурка; 4 – стакан с термостатирующей жидкостью; 5 – пробирка с испытуемым продуктом и медными пластинками; 6 – термометр; 7 – склянка со шлифовальным порошком; 8 – фильтр; 9 – колба с изооктаном; 10 – фарфоровая чашка; 11 – колба со спиртом, 12 – вата

Рисунок 6.2 – Испытание на медной пластинке

Для определения наличия серы применяют пластинки из электролитной меди марок М0 или М1 размером 40×10×2 мм. Новые пластинки изготовляют с шероховатостью поверхностей, соответствующей восьмому классу чистоты.

Непосредственно перед определением пластинки шлифуют шкуркой или шлифовальным порошком на вате, смоченной в изооктане (зернистость абразивного материала 6–8). Шлифовка ведется вдоль обрабатываемой пластинки (туда и обратно). Пятна и царапины на всех шести сторонах пластинки удаляют шлифовальным порошком более крупной зернистости.

Для получения гладкой поверхности пластинки обрабатывают шлифовальным микропорошком (корунд или карбокорунд зернистостью № 14 или 10) на вате, смоченной в изооктане, до удаления всех следов, оставшихся от первой обработки. Затем пластинки промывают спиртом и высушивают. Для каждого испытуемого топлива проводят не менее двух параллельных определений.

Испытуемое топливо фильтруют через бумажный фильтр и наливают его в пробирки по 10 $см^3$ в каждую. В пробирки с топливом опускают пинцетом подготовленные пластинки и закрывают их корковыми пробками.

Пробирки с испытуемым топливом и медными пластинками помещают в вертикальном положении в нагретую баню. При анализе топлив для реактивных двигателей в баню в качестве термостатирующей жидкости заливают глицерин или масло вазелиновое медицинское. При анализе всех остальных топлив в баню заливают воду.

Уровень жидкости в бане должен быть выше уровня топлива в пробирках не менее чем на 30 мм.

Температура жидкости в бане во время определения должна быть:

– при анализе топлива для реактивных двигателей 100±1 °С;

– при анализе всех остальных топлив 50±2 °С.

Изменение цвета пластинки (черные, темно-коричневые или серые налеты и пятна) характеризует наличие в топливе сернистых соединений, считается, что топливо не выдержало испытания.

Содержание отчета

В отчете должен быть представлен порядок проведения работы, схематично изображен лабораторный прибор с расшифровкой позиций. Необходимо сделать вывод о качестве испытуемого топлива.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 6

1. Как влияет содержание сернистых соединений в топливе на ресурс деталей двигателей?
2. Зачем в процессе испытаний топливо подогревается?
3. Для чего нужна термостатирующая жидкость?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7
Определение содержания фактических смол в бензине (экспресс-метод)

Цель работы: изучить методику определения содержания фактических смол в топливе и дать заключение о качестве испытуемого топлива.

Оборудование: сферическое стекло, теплоизоляционная прокладка, кольцо, закрепленное на штативе.

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

В бензине в растворенном состоянии практически всегда содержатся смолистые и смолообразующие соединения, количество которых зависит от вида и состава топлива, технологии его получения и способов очистки. При хранении, особенно в неблагоприятных условиях (плохая герметизация резервуаров, наличие в них осадков и воды, хранение при повышенной температуре), количество смол увеличивается, иногда значительно. Наличие смол в бензине отрицательно влияет на работу двигателя. При работе двигателя они откладываются в карбюраторе, в бензопроводах и на клапанах. Выпадение смол в карбюраторе, в топливопроводах и во впускном коллекторе вызывает нарушение правильной подачи горючей смеси в цилиндры. Отлагаясь на стержнях впускных клапанов, смолы вызывают пригорание клапанов.

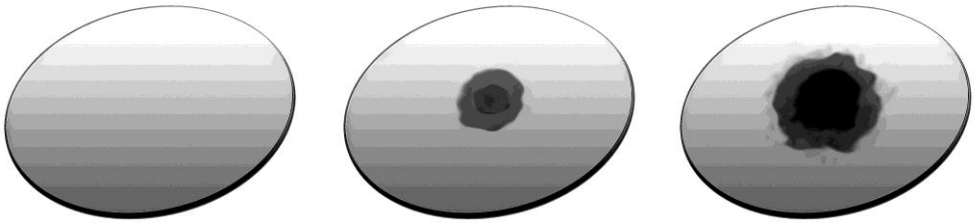
Различают смолы фактические, т.е. находящиеся в топливе в моменты их определения в растворенном состоянии, и смолообразующиеся вещества – различные нестойкие соединения, например, непредельные углеводороды, которые могут переходить в смолы (потенциальные смолы).

Стандартами нормируется содержание фактических смол. Согласно ГОСТ 2084–77 для автомобильных бензинов их содержание на месте потребления допускается от 2 до 10 мг/100 мл.

Количество фактических смол в топливе определяется по величине пятна на часовом стекле (экспресс-метод), оставшегося после выгорания топлива.

Отфильтрованный анализируемый образец бензина в количестве 1 мл пипеткой наносится в центр сферического стекла, которое располагают (с теплоизоляционной прокладкой) на кольце, закрепленном в штативе, затем поджигают и дают полностью выгореть. По окончании горения стеклу дают остыть и осматривают остаток на нем. Бензин, не содержащий смол, оставляет на стекле слабо заметное небольшое беловатое пятно (рисунок 7.1 *а*).

Смолистое топливо оставляет ряд колец темно-желтого или коричневого цвета (рисунок 7.1 *б*). Чем больше смол в топливе, тем темнее и больше диаметр пятна (рисунок 7.1 *в*).



а *б* *в*

а – не содержит смол; *б* – смолистое; *в* – сильно смолистое

Рисунок 7.1 – Определение фактических смол в топливе

Диаметр пятен измеряют в трех направлениях и берут среднее значение (в мм). Величина диаметра круга, по которой приближенно определяют содержание смол (таблица 7.1), берется как среднеарифметическое не менее чем двух опытов.

Таблица 7.1 – Содержание (приближенное) фактических смол в топливе

Диаметр пятна, мм	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0
Содержание смол, мг/100 мл	4	11	20	32	43	56	70	85	102	120

Содержание отчета

В отчете должен быть представлен порядок проведения работы, должны быть изображены сферические стекла с результатами испытаний пробы топлива. Необходимо сделать вывод о качестве испытуемого топлива.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 7

1. Как смолистость топлива влияет на работу двигателя?
2. Почему стекло должно быть сферическим?
3. От чего зависит смолистость топлива?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8
Определение температуры вспышки дизельного топлива и моторного масла

Цель работы: освоить методику определения температуры вспышки дизельного топлива, температуры вспышки и воспламенения моторного масла. Уяснить влияние этих показателей на эксплуатационные свойства нефтепродуктов.

Оборудование: 1) закрытый тигель (прибор Абеля-Пенского);
2) открытый тигель (прибор Бренкина).

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

Определение температуры вспышки используют для оценки качества нефтепродуктов и для классификации производства, помещений и установок по степени пожарной опасности.

Температура вспышки – это минимальная температура, при которой пары топлива, нагреваемые в закрытом тигле, образуют с окружающим воздухом горючую смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Температура вспышки характеризует огнеопасность нефтепродукта при его транспортировании, хранении и заправке. Температура вспышки в закрытом тигле должна быть для летнего дизельного топлива не ниже 40 °С, зимнего – не ниже 35 °С и арктического – не ниже 30 °С. Чем выше температура вспышки, тем меньше пожарная опасность топлива.

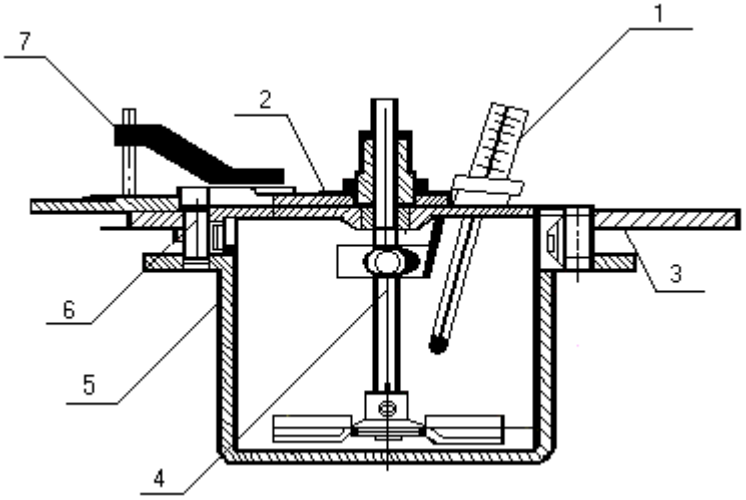
Сущность метода заключается в определении самой низкой температуры топлива, при которой в условиях испытания над его поверхностью образуется смесь паров с воздухом, которая вспыхивает при поднесении пламени, но не способна к дальнейшему горению.

Определение температуры вспышки нефтепродуктов производится в специальных аппаратах: закрытого типа (Абеля-Пенского – для нефтепродуктов с температурой вспышки не выше 50 °С, Мартенса-Пенского – для нефтепродуктов с температурой вспышки выше 50 °С) и открытого типа (Бренкина – для масел).

Если испытуемый нефтепродукт содержит более 0,05% воды, его обезвоживают. Тигель прибора промывают бензином Б-70 и тщательно высушивают. Испытуемый нефтепродукт и тигель должны иметь температуру не менее чем на 20 °С ниже предполагаемой температуры вспышки.

Нефтепродукт наливают в тигель до метки, закрывают крышкой и вставляют термометр. Прибор помещают в таком месте, где нет заметного движения воздуха и где свет настолько затемнен, что вспышка хорошо видна. Для лучшей защиты от движения воздуха и влияния света прибор окружают щитом из листовой кровельной стали, окрашенным с внутренней стороны черной краской.

Аппарат для определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле показан на рисунках 8.1 и 8.2. Тигель 5, крышка 3, заслонки 2 и мешалки 4 аппарата изготовлены из латуни.



1 – термометр; 2 – заслонка; 3 – крышка; 4 – мешалка;
5 – тигель; 6 – штифт крышки; 7 – пружинный механизм

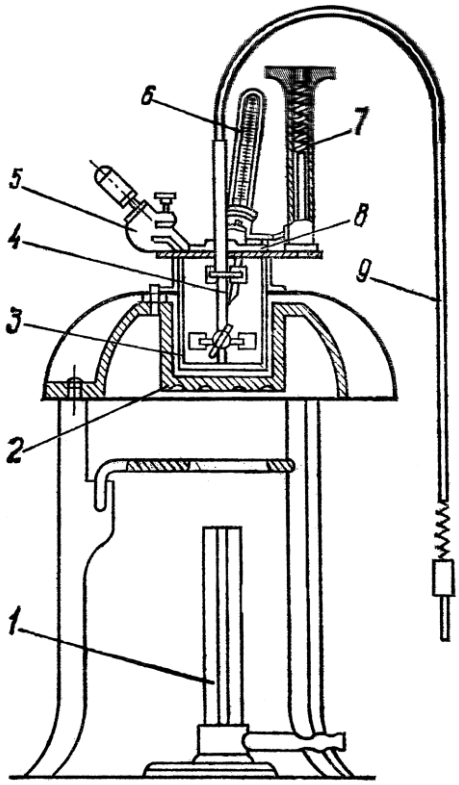
Рисунок 8.1 – Внутреннее устройство аппарата
для определения температуры вспышки дизельного топлива

На крышке расположен пружинный механизм 7 перемещения заслонки, и термометр 4. В комплект аппарата входит воздушная баня. Тигель из гнезда бани вынимают с помощью ухвата. На внутренней стороне тигля выполнен круговой уступ, указывающий уровень испытуемого дизельного топлива. Три отверстия трапецеидальной формы в крышке закрывают заслонкой 2. При вращении заслонки рукояткой отверстие открывается, к нему подносится лучина. В первоначальное положение заслонка возвращается под действием принудительного механизма, расположенного в рукоятке перемещения заслонки. Дизельное топливо перемешивается мешалкой с лопастями, приводимой во вращение механическим приводом от руки испытателя; частота вращения мешалки 90–120 мин$^{-1}$.

Для контроля вспышки дизельного топлива используют стеклянный термометр типа ТН-1 № 1 со шкалой от 0 °С до +170 °С.

Нефтепродукт в собранном приборе нагревают следующим образом: при анализе нефтепродуктов с температурой вспышки до 50 °С температуру повышают со скоростью 1 °С в 1 мин при непрерывном перемешивании с начала и до конца определения; при анализе нефтепродуктов с температурой вспышки от 50 °С до 150 °С начальный нагрев ведут со скоростью 5–8 °С, а при анализе нефтепродуктов с температурой вспышки выше 150 °С – со скоростью 10–12 °С в 1 мин при периодическом перемешивании.

Когда нефтепродукт нагревается до температуры на 20 °С ниже предполагаемой температуры вспышки, нагрев ведут так, чтобы температура повышалась на 1 °С в 1 мин.



1 – горелка; 2 – нагревательный резервуар; 3 – резервуар для испытуемого топлива; 4 – мешалка; 5 – фитиль; 6 – термометр; 7 – рычажное приспособление, открывающее окно в крышке; 8 – крышка; 9 – трос мешалки

Рисунок 8.2 – Общий вид закрытого тигля (прибора Абеля-Пенского)

При температуре на 10 °С ниже ожидаемой температуры вспышки начинают проводить испытание на вспышку через 1 °С для нефтепродуктов с температурой вспышки до 50 °С и через 2 °С – для нефтепродуктов с температурой вспышки выше 50 °С.

При этом нефтепродукт непрерывно перемешивают вращением мешалки. Только в момент испытания на вспышку перемешивание прекращают. Поворотом пружинного рычага открывают окно крышки тигля и подносят зажженную лучину к отверстию. Окно крышки отрывают на 1 сек. Если вспышка не произошла, то продукт вновь перемешивают, повторяя операцию через 1–2 °С.

За температуру вспышки принимают температуру, показываемую термометром при появлении первого синего пламени над поверхностью нефтепродукта. Расхождение между параллельными определениями температуры вспышки в закрытом тигле не должно превышать следующих величин: при температуре вспышки до 50 °С – ±1 °С; при температуре вспышки выше 50 °С – ±2 °С.

Для масел определяется температура **вспышки** и **воспламенения** в открытом тигле (приборе Бренкина) (рисунок 8.3).

Температурой воспламенения масла называется температура, при которой при поднесении пламени не только вспыхивают пары, но и загорается сам продукт и горит не менее 5 секунд.

Прибор открытого типа (Бренкина) для определения температур вспышки и воспламенения масел состоит из тигля 1, предназначенного для наполнения испытуемым маслом; бани песчаной 2 – металлического тигля с прокаленным песком; штатива 3 с кольцом для бани, термометра 4 для замера температуры; газовой горелки 5 и шаблона для определения правильности наполнения тигля маслом.

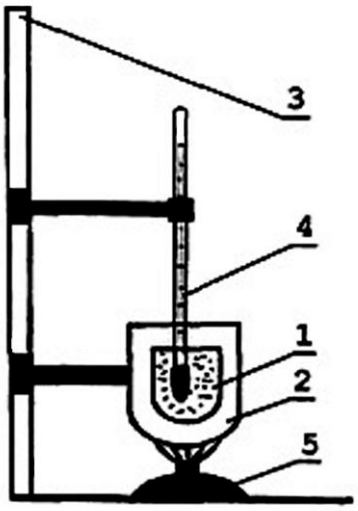


Рисунок 8.3 – Общий вид открытого тигля (прибора Бренкина)

Чистый тигель прогревают над пламенем горелки, охлаждают до 15–25 °С и ставят в песчаную баню так, чтобы песок был на высоте 12 мм от края тигля, а между дном тигля и внутренней поверхностью дна бани был слой песка 5–8 мм. Обезвоженное масло наливают в тигель так, чтобы уровень масла отставал от края тигля на 12 мм для нефтепродуктов с температурой вспышки до 210 °С и 18 мм для нефтепродуктов со вспышкой выше 210 °С.

Правильный налив проверяют шаблоном. Устанавливают термометр в строго вертикальном положении так, чтобы ртутный шарик находился в центре тигля на одинаковом расстоянии от дна тигля и от уровня масла, и закрепляют его в таком положении. Собранный прибор устанавливают в такое место комнаты, где отсутствует заметное движение воздуха, и свет настолько затемнен, что вспышка хорошо видна.

Баню нагревают так, чтобы испытуемое масло нагревалось на 10 °С в минуту. За 40 °С до ожидаемой температуры вспышки нагрев ограничивают до 4 °С в минуту.

За 10 °С до ожидаемой температуры вспышки проводят медленно по краю тигля на расстоянии 10–14 мм от поверхности масла пламенем лу-

чинки. Время продвижения пламени от одной стороны тигля до другой 2–3 сек. Такое испытание повторяют через 2 °С подъема температуры.

За температуру вспышки принимают температуру, при которой над маслом появляется голубоватое быстро исчезающее пламя, сопровождаемое легким хлопком. После установления температуры вспышки продолжают нагревать масло с той же скоростью. Через каждые 2 °С к поверхности масла подносят заженную лучину. Когда масло воспламеняется, и будет гореть не менее 5 секунд, отмечают температуру воспламенения масла.

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены порядок проведения работы, рисунки приборов Абеля-Пенского и Бренкина с простановкой позиций, результаты проведения опыта, а также заключение о соответствии нефтепродукта его маркировке и ГОСТ 305–82 для дизельного топлива, ГОСТ 10541–78 для моторных масел.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 8

1. Зачем нормируется температура вспышки дизельного топлива?
2. Назовите прибор для определения температуры вспышки дизельного топлива.
3. Какая температура вспышки у топлива Л-0,2-52?
4. Для чего нормируется температура вспышки моторного масла?
5. Какие факторы влияют на температуру вспышки моторного масла?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9
Определение наличия водорастворимых кислот и щелочей в дизельном топливе

Цель работы: изучить методику определения наличия водорастворимых кислот и щелочей в топливе. Уяснить влияние наличия водорастворимых кислот и щелочей на эксплуатационные качества топлива.

Оборудование: оборудование полевой лаборатории ПЛ-2М (делительная воронка, пробирки, дистиллированная вода, индикаторы – метилоранж и фенолфталеин).

Продолжительность: 1 час.

Содержание работы

Минеральные кислоты и другие водорастворимые соединения кислого характера вызывают коррозию черных и цветных металлов. Поэтому они совершенно недопустимы в топливах. Щелочи активно корродируют цветные металлы, в силу чего содержание их в топливах также недопустимо.

Определение содержания водорастворимых кислот и щелочей является обязательным при контроле качества на нефтеперерабатывающих заводах и после транспортирования.

Содержание водорастворимых кислот и щелочей в бензине или дизельном топливе определяют качественным анализом (ГОСТ 6307–75).

При выполнении анализа на содержание водорастворимых кислот и щелочей необходимо, пользуясь оборудованием полевой лаборатории ПЛ-2М, выполнить следующие операции:

1) пробу испытуемого образца взбалтывают в течение 3 мин;

2) с помощью мерного цилиндра отмерить 10 мл испытуемого образца и перелить эту порцию топлива в делительную воронку 1 (рисунок 9.1);

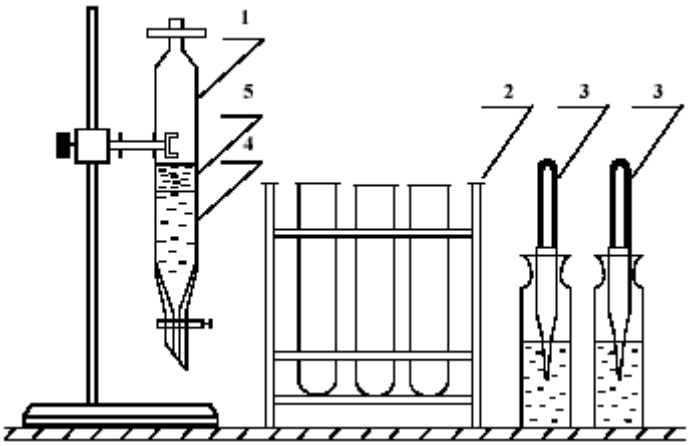
3) мерным цилиндром отмерить 10 мл дистиллированной воды и перелить её в ту же делительную воронку;

4) содержимое делительной воронки перемешать взбалтыванием в течение 5 мин, периодически открывая притертую стеклянную пробку для удаления газов;

5) воронку установить в штатив до полного отстаивания водного слоя в нижней части воронки;

6) после отстаивания водную вытяжку сливают в две пробирки емкостью по 4–5 мл;

7) в одну пробирку добавить две капли раствора метилоранжа из пипетки (0,2 г на 1000 мл дистиллированной воды), в другую пробирку с водной вытяжкой добавить две-три капли раствора фенолфталеина из пипетки (1 г на 100 мл 96%-ного этилового спирта) и содержимое в обеих пробирках хорошо взболтать.



1 – делительная воронка; 2 – штатив с пробирками;
3 – индикаторы; 4 – вода; 5 – топливо

Рисунок 9.1 – Определение водорастворимых кислот и щелочей

Сопоставлением получившихся цветов индикаторов с данными таблицы 9.1 сделать вывод о наличии или отсутствии в испытуемом образце водорастворимых кислот или щелочей.

Таблица 9.1 – Окраска индикаторов в различных средах

Среда	Метилоранж	Фенолфталеин
Щелочная	желтая	малиновая
Нейтральная	оранжевая	бесцветная
Кислая	красная	–

Топливо считается выдержавшим испытание, если водная вытяжка окажется нейтральной. Если в результате испытания водная вытяжка получится кислой или щелочной, то топливо бракуется.

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены порядок проведения работы, применяемое оборудование и реактивы, а также результаты проведенных исследований и заключение о соответствии топлива ГОСТ 305–82 для дизельного топлива и бензина ГОСТ 2084–77 для бензина.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 9

1. Как влияет наличие водорастворимых кислот и щелочей в топливе на работу двигателя?
2. Какое оборудование необходимо для определения наличия водорастворимых кислот и щелочей в топливе?
3. Какой цвет принимает фенолфталеин в щелочной среде?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10
Определение температуры каплепадения пластичных смазок

Цель работы: изучить методику определения температуры каплепадения пластичных смазок. Уяснить её влияние на эксплуатационные свойства пластичных смазок.

Оборудование: термометр Уббелоде.

Продолжительность: 1 час.

Содержание работы

Температурой каплепадения или плавления называют ту температуру, при которой смазка из пластичного состояния (полутвердого) переходит в жидкое. Испытание пластичных смазок на каплепадение характеризует их стабильность, т.е. неизменяемость при использовании в соответствующих температурных условиях. Для надежной смазки трущихся деталей их рабочая температура должна быть на 10–12 °С ниже, чем температура плавления применяемой смазки.

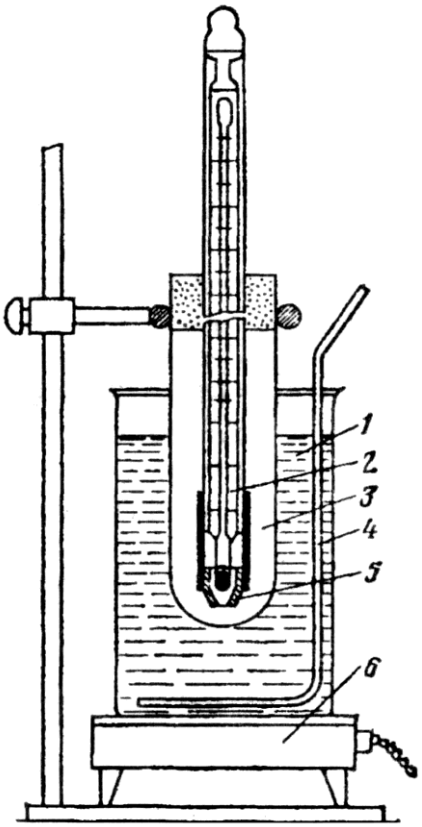
При определении температуры каплепадения смазка, нагретая в определенных условиях, размягчается до такого состояния, при котором происходит образование капли и её падение. Опыт проводится в специальном приборе (термометре) Уббелоде (рисунок 10.1).

Прибор состоит из термометра, нижняя часть которого сужена и наглухо заделана в металлическую гильзу, на которую навинчивается трубка с чашечкой внутри. В дне чашечки есть отверстие диаметром около 3 мм, через которое капает расплавленная смазка. Термометр в пробке закреплен в пробирке. На дно пробирки помещают кусочек фильтровальной бумаги. Пробирку на кронштейне укрепляют в стакане с водой, который устанавливается на электрической плитке.

Исследуемую смазку плотно шпателем вмазывают в чашечку, следя за тем, чтобы в смазке не было пузырьков воздуха; излишек смазки срезают ножом. Чашечку вставляют в гильзу, при этом ртутный шарик термометра выдавливает излишек смазки, его тоже срезают. Вставляют термометр в пробирку на плотно пригнанной пробке и, опустив её в стакан с водой (если температура каплепадения заведомо выше 100 °С, то используют глицерин), стоящий на электроплитке, закрепляют ее в зажиме.

Воду в стакане медленно подогревают, поддерживая скорость нагревания 1–1,5 °С в минуту. Нагревать можно на газовой горелке или электроплитке. Воду в стакане периодически помешивают стеклянной палочкой.

При испытании отмечают две температуры: каплеобразования, то есть ту температуру, при которой из отверстия в чашечке появляется капля смазки, и температуру каплепадения или плавления, когда капля отрывается и падает на фильтровальную бумагу, помещенную на дно пробирки.



1 – стакан с водой или глицерином; 2 – специальный термометр с гильзой; 3 – пробирка; 4 – мешалка; 5 – чашечка для испытуемой смазки; 6 – электроплитка

Рисунок 10.1 – Прибор (термометр) Уббелоде

Наиболее низкой температурой каплепадения обладают смазки на углеродной основе (примерно около 50 °С). Солидолы относятся к среднеплавким смазкам, их температура плавления в зависимости от марки в диапазоне 70–90 °С. Более высокую температуру плавления имеют консталины (не ниже 120–130 °С).

Содержание отчета

В отчете должен быть представлен порядок проведения работы, изображена лабораторная установка, а также представлены результаты испытания пластичной смазки и определены области её возможного применения.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 10

1. Как влияет температура каплепадения на эксплуатационные свойства пластичных смазок?
2. Каким прибором определяется температура каплепадения?
3. Какую жидкость используют при определении температуры каплепадения пластичных смазок, у которых она заведомо выше 100 °С?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11
Оценка растворимости пластичной смазки в воде и бензине

Цель работы: изучить методику оценки растворимости пластичной смазки в воде и бензине и сделать вывод о составе испытуемой смазки.

Оборудование: пробирки, стеклянная палочка, газовая горелка.

Продолжительность: 1 час.

Содержание работы

Исследование растворимости в воде и бензине позволяет определить принадлежность испытуемого образца к смазкам с натриевым и углеводородным загустителями.

Берут примерно по 1 мл испытуемого образца и стеклянной палочкой заполняют дно двух пробирок, стараясь при этом не задевать их стенок. Затем в одну из пробирок добавляют 4 мл дистиллированной воды, в другую – такое же количество бензина. На медленном огне доводят содержащуюся в первой пробирке воду до кипения. Чтобы исключить выброс содержимого пробирки, нагревать её следует путем многократного внесения её в пламя на 2–3 секунды с одновременным вращением вокруг оси.

Полное растворение загустителя и образование мутного (мыльного) раствора с плавающим на его поверхности слоем жидкого масла свидетельствует о принадлежности образца к натриевым смазкам.

Если после охлаждения вода в указанной пробирке остается прозрачной или слегка мутной, а на ее поверхности остался слой смазки, то возникает необходимость проведения испытания на растворимость в бензине. При этом следует нагревать вторую пробирку с бензином тем же способом, что и в первую пробирку, но только до 60 °С (степень нагрева проверяется на ощупь). Смазка считается растворимой в бензине, если при соотношении их 1:4 и температуре 60 °С образуется совершенно прозрачный раствор, обычно имеющий окраску (в проходящем свете) испытуемого образца. Способностью растворяться в бензине обладают только смазки с загустителями из твердых углеводородов (технический вазелин, смазка ГОИ-54 и др.).

Таким образом, испытание на растворимость в воде и в бензине позволяет установить принадлежность испытуемого образца к смазкам с натриевым и углеводородными загустителями. Кальциевые и литиевые смазки нерастворимы в воде и бензине, хотя с последним образуют текучие, но непрозрачные (мутные) системы. Отличить их друг от друга можно лишь по температурам каплепадения.

Содержание отчета

В отчете должен быть представлен порядок проведения работы и вывод о составе испытуемой пластичной смазки.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 11

1. Что свидетельствует о принадлежности образца к натриевым смазкам?
2. Какими особенностями обладают смазки из твердых углеводородов?
3. Каким образом различить кальциевые и литиевые пластичные смазки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12
Определение качества низкозамерзающих охлаждающих жидкостей

Цель работы: ознакомиться с нормативно-технической документацией по качеству низкозамерзающих жидкостей; приобрести навыки по контролю и оценке качества низкозамерзающих жидкостей.

Оборудование: набор ареометров; гидрометр; рефрактометр; стеклянный цилиндр диаметром 40–55 мм; химический стакан емкостью 250 мл.

Продолжительность: 2 часа.

Содержание работы

Высокая температура замерзания воды и значительное увеличение объема льда по сравнению с объемом воды создают большие эксплуатационные неудобства, поэтому в автотракторных двигателях внутреннего сгорания применяют охлаждающие жидкости, замерзающие при низкой температуре – антифризы.

В качестве антифризов могут быть использованы некоторые углеводороды, водные растворы солей, спиртов и другие жидкости.

В настоящее время наибольшее применение получили антифризы на основе водных растворов двухатомного спирта – этиленгликоля ($CH_2OH–CH_2OH$).

Этиленгликоль – бесцветная или желтоватого цвета жидкость с плотностью при 20 ºС 1,11 г/см^3, температурой кипения 197,5 ºС и температурой замерзания минус 12 ºС.

В таблице 12.1 приведены основные физические показатели этиленгликоля и воды.

Таблица 12.1 – Основные физические характеристики этиленгликоля и воды

Характеристики	Вода	Этиленгликоль
Молярная масса	18,01	62,07
Плотность при 20 °С, кг/см^3	998,2	1113
Температура замерзания, °С	0	–12
Температура кипения при 0,1 МПа, °С	100	197,7
Теплоемкость при 20 °С, кДж/(кг °С)	4,184	2,422
Коэффициент теплопроводности, кДж/(ч·м·°С)	2,179	0,955
Вязкость при 20 °С, мм^2/с	1,0	19–20
Теплота испарения, кДж/кг	2,258	0,800
Коэффициент объемного расширения (в диапазоне от 0 до 100 °С)	0,00046	0,00062

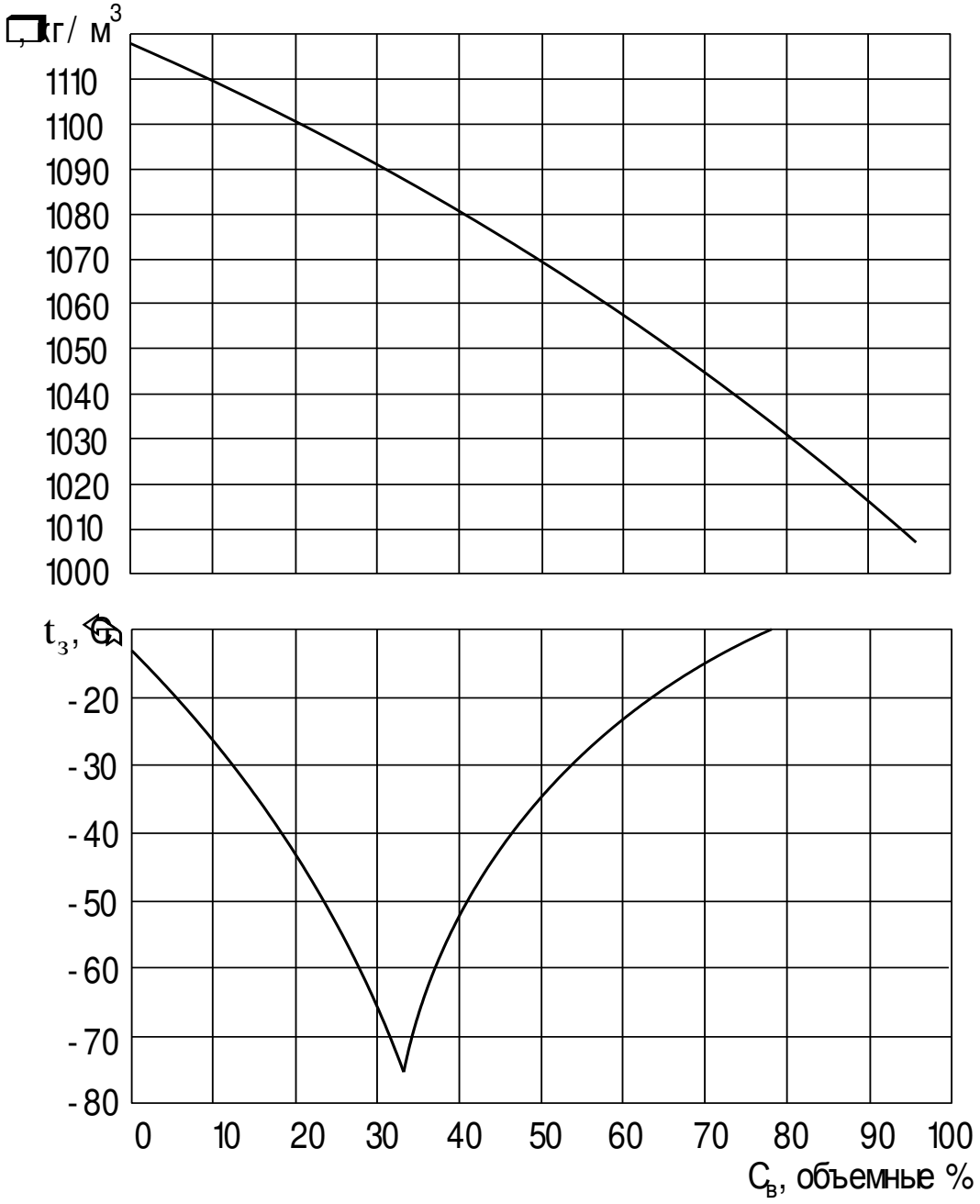


Рисунок 12.1 – Зависимость плотности ρ и температуры замерзания $t_з$ водогликолевой жидкости от содержания в ней воды

Водные растворы этиленгликоля изменяют температуру замерзания в зависимости от содержания воды (рисунок 12.1).

Наиболее низкую температуру замерзания –75 °С имеет жидкость, состоящая из 66,7% этиленгликоля и 33,3% воды.

Этиленгликоль является коррозионо-агрессивным веществом, поэтому в антифризы вводят антикоррозионные присадки: 1 г/л декстрина (антикоррозионная защита алюминия, меди, свинцово-оловянистого припоя); 2,5–3,5 г/л динатрийфосфата (антикоррозионная защита стали, чугуна, латуни, меди). В ряде случаев для антикоррозионной защиты цинка и хрома в антифризы ма-

рок 40 и 65 вводят 7–8 г/л молибденовокислого натрия. Марку антифризов, содержащих эту добавку, дополняют буквой М. Например, 40М и 65М.

В настоящее время выпускаются антифризы следующих марок: 40, 65 «Тосол-А40», «Тосол-А65» «Тосол-А» и 40К.

Антифризы марок «Тосол-А» и 40К представляют собой концентрированный этиленгликоль с соответствующей композицией присадок. Их используют после разведения дистиллированной водой (при разведении в соотношении 1:1 температура кристаллизации раствора равна –35 °С).

В системах охлаждения современных автомобилей всесезонно применяют антифризы Тосол А-40 и Тосол А-65 с температурами замерзания не выше –40 °С у первого и не выше –65 °С у второго. Они представляют собой водные растворы. Ассортимент и основные свойства товарных антифризов приведены в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Основные свойства товарных антифризов

Марка	Температура замерзания, не выше, °С	Плотность при 20 °С, кг/дм^3	Цвет	Содержание этиленгликоля, %	Присадки
40	– 40	1,0675–1,0725	–	53	Композиция антикоррозионных присадок
65	– 65	1,085–1,090	–	66	
«Тосол-А40»	– 40	1,078–1,085	Голубой	53,7	Композиция антикоррозионных и противопенных присадок
«Тосол-А65»	– 65	1,085–1,095	Красный	62,4	То же

С 1990 г. действует ГОСТ 28084–89 на жидкости охлаждающие, низкозамерзающие, предназначенные для охлаждения двигателей внутреннего сгорания, а также в качестве рабочих жидкостей в других теплообменных аппаратах, работающих при низкий и умеренных температурах. Требования к охлаждающим жидкостям, предусмотренные ГОСТ 28084–89, даны в приложении (таблица А.11).

Этиленгликоль и его водные растворы очень ядовиты, поэтому с ними следует работать осторожно (отравляющее действие этиленгликоля и его водных растворов проявляется только при попадании в желудочно-кишечный тракт, поэтому специальных мер для защиты кожи и дыхательных путей при использовании антифризов не требуется).

Эксплуатационные свойства антифризов контролируют по внешнему виду и плотности.

Оценка антифриза по внешним признакам

При оценке антифриза по внешним признакам обращается внимание на его цвет и наличие механических примесей.

Цвет зависит от специального красителя, добавляемого в антифризы, и может быть желтоватым, желтым, красным и голубым. В любом случае цвет следует сравнивать с указанным на данный антифриз в ГОСТ 28084–89 или технических условиях. Механические примеси в антифризах не допускаются.

Порядок выполнения оценки:

1. Заполнить стеклянный цилиндр образцом испытуемого антифриза.
2. Не давая ему отстояться, осмотреть образец невооруженным глазом, определив его прозрачность, наличие или отсутствие механических примесей.
3. Результаты оценки записать в отчет.

Определение плотности, состава и температуры застывания антифриза

Содержание этиленгликоля и температуру замерзания антифриза можно определить с помощью гидрометра и рефрактометра.

Гидрометр (рисунок 12.2) представляет собой ареометр, снабженный вместо шкалы плотности двойной шкалой – одна используется для определения концентрации этиленгликоля в объемных %, а другая – для определения соответствующей температуры замерзания. Внутри нижней части гидрометра имеется термометр, который позволяет определить температуру, при которой производится измерение.

Так как шкалы гидрометра градуированы на температуру 20 °С, то для определения истинного содержания этиленгликоля необходимо внести температурную поправку и произвести расчет по формуле

$$C_{ист} = C_1 \cdot (1 + 0{,}008 \cdot (t - 20)), \qquad (12.1)$$

где $C_{ист}$ – истинная концентрация этиленгликоля;

C_1 – концентрация этиленгликоля, полученная замером при данной температуре;

t – температура, при которой проводился замер, °С.

Температуру замерзания и состав антифриза можно определить, измерив его плотность с помощью ареометра и воспользовавшись таблицей А.9 приложения, а также при помощи диаграммы (рисунок 12.1).

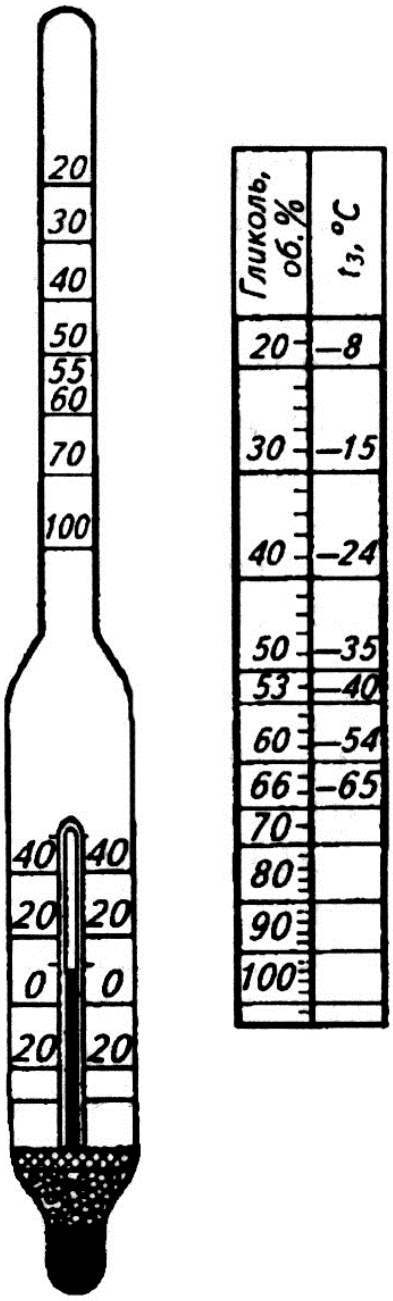
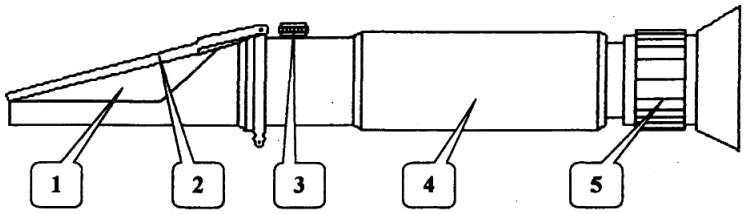
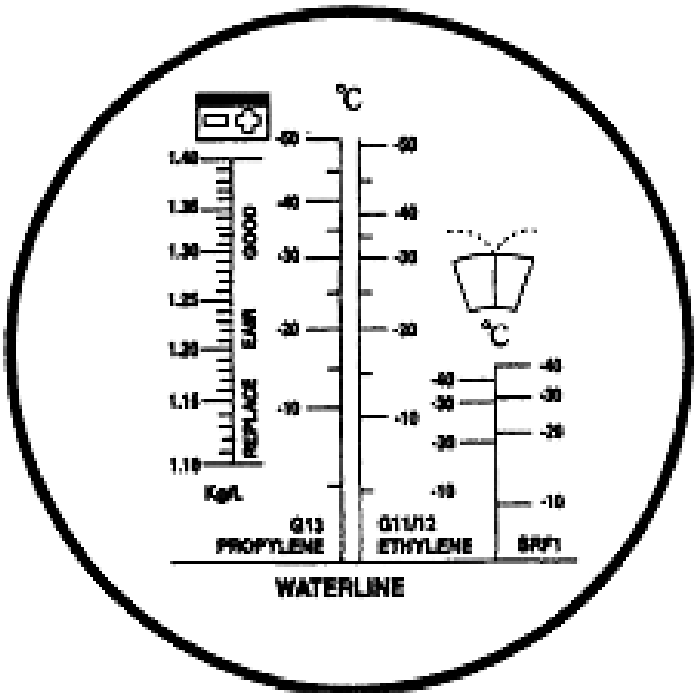


Рисунок 12.2 – Гидрометр для определения температуры застывания и содержания этиленгликоля в антифризах

Быстро температуру застывания антифриза можно определить с помощью рефрактометра (рисунок 12.3), для этого на поверхность призмы наносится небольшое количество анализируемой жидкости и закрывается крышкой. Глядя в окуляр, по положению границы голубой и белой полосы на шкале прибора определяют температуру замерзания жидкости.



а



б

а – общий вид; *б* – шкала;
1 – призма; 2 – крышка призмы; 3 – установка «0»;
4 – зеркальная трубка; 5 – окуляр наведения резкости

Рисунок 12.3 – Рефрактометр модели SY-REF338

Порядок выполнения анализа:

1. С помощью химического стакана заполнить стеклянный цилиндр образцом испытуемого антифриза.

2. Используя подходящий по пределу измерения ареометр, произвести замер плотности антифриза.

3. Используя таблицу А.9 приложения, определить концентрацию этиленгликоля и температуру замерзания антифриза.

4. С помощью гидрометра определить температуру замерзания антифриза. Осторожно опустить гидрометр в цилиндр, и, дождавшись прекращения его колебаний, произвести отсчет по верхнему краю мениска. При отсчете глаз должен находиться на уровне мениска.

5. При необходимости произвести перерасчет содержания этиленгликоля с учетом температурной поправки по формуле (12.1).

6. С помощью рефрактометра определить температуру замерзания антифриза. Для этого найти освещенное место и установить окуляр так, чтобы шкала была хорошо видна. Установить нулевую точку (см. инструкцию на прибор) и открыть крышку призмы. Капнуть немного антифриза на призму, закрыть и прижать стекло. Наблюдая в окуляре положение границы между голубой и белой полосой, определить температуру замерзания жидкости.

7. Произвести расчет по исправлению качества.

Исправление качества антифриза

Температура кипения этиленгликоля и воды соответственно равны 197,5 °С и 100 °С, поэтому при эксплуатации автомобилей из антифриза в первую очередь будет испаряться вода, а следовательно, исправление качества охлаждающей жидкости будет сводиться к добавлению системы охлаждения недостающего количества воды. Если же имеет место утечка антифриза из системы, то убыль восполняется не водой, а соответствующей маркой этиленгликолевой жидкости.

При необходимости долива устанавливают показатели качества и принимают решение о его восстановлении путем долива этиленгликоля или воды.

Количество добавляемого этиленгликоля рассчитывается по формуле

$$X = \frac{a - b}{b - k} \cdot V, \qquad (12.2)$$

где X – количество добавляемого этиленгликоля, мл;
V – объем анализируемого образца, мл;
a – объемный процент воды в анализируемом образце;
b – объемный процент воды в исправленном образце;
k – объемный процент воды в добавляемом этиленгликоле.

Количество добавляемой воды рассчитывается по формуле

$$U = \frac{c - d}{d} \cdot V, \qquad (12.3)$$

где U – количество добавляемой воды, мл;
V – объем анализируемого образца, мл;
c – объемный процент этиленгликоля в анализируемом образце;
d – объемный процент этиленгликоля в исправленном образце.

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены порядок анализа и исправления антифризов, расчетные формулы, а также результаты расчетов и испытаний.

Контрольные вопросы к лабораторной работе № 12

1. Для чего используется гидрометр?
2. Что такое рефрактометр?
3. При какой температуре замерзает «Тосол-А40»?
4. Чем объясняется цвет охлаждающей жидкости?

Раздел 4. Практический анализ эксплуатационных материалов

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1
Вода

Область применения и основные показатели качества

Вода, предназначенная для работы в теплосиловых установках, не должна вызывать коррозии металла, вспениваться, а главное образовывать отложения на стенках котлов и в системе охлаждения двигателей. При использовании жесткой воды в радиаторах двигателей, в рубашках и головках цилиндров образуется слой накипи. Накипь плохо проводит тепло, поэтому условия охлаждения двигателя ухудшаются, детали перегреваются, нарушается нормальная работа. Производительность трактора, комбайна или автомобиля падает, расходы топлива и масла увеличиваются, износы деталей повышаются.

Вода, используемая для питания котлов и охлаждения двигателей, не должна содержать механически взвешенных примесей, как бы мелки и мало заметны они ни были, и должна содержать минимальное количество растворенных солей, особенно солей щелочноземельных металлов кальция и магния, обусловливающих ее жесткость.

Жесткостью воды называют общее количество ионов кальция и магния, содержащихся в литре воды. Жесткость подразделяют на карбонатную, зависящую от наличия в воде бикарбонатов кальция $Ca(HCO_3)_2$ и магния $Mg(HCO_3)_2$, и некарбонатную, зависящую от наличия в воде хлористых, сернокислых, кремнекислых солей кальция и магния. Суммарное количество всех солей кальция и магния дает общую жесткость воды.

Обычно жесткость природных вод выражают в миллиграмм-эквивалентах в литре – мг-экв/л.

Воду до 3,0 мг-экв/л принято считать мягкой, от 3,0 до 6 мг-экв/л – средней жесткости и выше 6 мг-экв/л – жесткой.

Определение карбонатной жесткости

Для точного определения карбонатной жесткости нужно знать щелочность воды.

В колбу емкостью в 250 мл наливают 100 мл исследуемой воды, на колбе восковым карандашом делают метку налитого уровня воды. Колбу закрывают корковой пробкой со вставленным в нее обратным холодильником и кипятят в течение 30 мин. При кипячении воды происходит разложение бикарбонатов по следующим реакциям:

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O, \quad (1.1)$$

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + CO_2 + H_2O, \quad (1.2)$$

$$MgCO_3 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + CO_2, \quad (1.3)$$

$$2NaHCO_3 + H_2O \rightarrow Na_2CO_3 + 2H_2O + CO_2. \quad (1.4)$$

Если при кипячении часть воды испарится, то доливают дистиллированную воду до отмеченного уровня.

После кипячения образовавшийся осадок отфильтровывают через плотный бумажный фильтр «синяя лента», осадок промывают дистиллированной водой. К раствору добавляют 3–4 капли метилоранжа и нейтрализуют его $^1/_{10}$ N раствором соляной кислоты до перехода желтого окрашивания в оранжевое. Точно по бюретке отмечают количество кислоты, пошедшей на титрование m. Если из общего количества кислоты n, пошедшей на определение щелочности, вычесть количество кислоты, пошедшей на нейтрализацию солей, не выпавших в осадок (соли натрия и, если есть, соли органических кислот), то разность даст карбонатную жесткость

$$Ж_{кар} = n - m, \quad (1.5)$$

где $Ж_{кар}$ – карбонатная жесткость, мг-экв/л;

n – общий объем кислоты, пошедшей на определение щелочности, мл;

m – объем кислоты, пошедшей на титрование, мл.

Определение общей жесткости

Наиболее простым способом определения общей жесткости является осаждение солей щелочной смесью. Щелочная смесь приготавливается в неравных и точно децинормальных объемах соды Na_2CO_3 и едкого натрия NaOH. Определение заключается в следующем: 100 мл исследуемой воды в присутствии метилоранжа нейтрализуют $^1/_{10}$ N раствором HCl до появления оранжевого окрашивания, т. е. определяют еще раз щелочность воды. При нейтрализации бикарбонаты переходят в хлористые соединения по следующим реакциям:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + 2H_2O + 2CO_2, \quad (1.6)$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + 2H_2O + 2CO_2, \quad (1.7)$$

$$Na(HCO_3) + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2. \quad (1.8)$$

После перевода солей в хлористые соединения колбу с водой кипятят на открытой электроплитке 3–5 мин для удаления из воды углекислого газа. К кипящему раствору пипеткой приливают 20 мл щелочной смеси и раствор опять кипятят 3–5 мин. Щелочной смесью соли жесткости переводятся в осадок; повторное кипячение нужно для более полного осаждения солей.

После добавления смеси окраска раствора должна быть желтой, что указывает на то, что часть смеси пошла на осаждение солей, а часть осталась в свободном состоянии, т. е. смесь берется в избыточном количестве.

Реакции осаждения солей будут следующие:

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl, \quad (1.9)$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4, \quad (1.10)$$

$$MgCl_2 + 2NaOH \rightarrow Mg(OH)_2 + 2\ NaCl, \quad (1.11)$$

$$MgSO_4 + 2NaOH \rightarrow Mg\ (OH)_2 + Na_2SO_4. \quad (1.12)$$

Колбу с образовавшимся осадком охлаждают водопроводной водой, и раствор переливают в мерную колбу емкостью 200 мл. Остаток осадка смывают в мерную колбу дистиллированной водой и ею же доводят объем точно до 200 мл. Содержимое мерной колбы тщательно перемешивают и осадок отфильтровывают. Можно отфильтровать прямо в мерный цилиндр 100 мл раствора.

Отфильтрованный раствор переливают в чистую и сухую коническую колбу и нейтрализуют его $^1/_{10}$ N соляной кислотой. В данном случае соляной кислотой нейтрализуется свободная, не вступившая в реакцию (избыточная), щелочная смесь, кислоту добавляют осторожно до появления оранжевого окрашивания.

Общую жесткость воды вычисляют по формуле

$$Ж_{об} = \pi - 2в, \quad (1.13)$$

где π – объем щелочной смеси, взятой для осаждения солей жесткости, мл;

в – объем соляной кислоты, пошедшей на нейтрализацию избыточной смеси, мл.

Коэффициент перед буквой может быть и другим, он зависит от того, какая часть общего раствора, имеющегося в мерной колбе, взята на титрование.

Умягчение воды

Наиболее простым способом умягчения воды является её предварительное кипячение. Часто для умягчения воды переводят соли жесткости в осадок с помощью различных химических реактивов, например содой, известью, едким натрием и др. Но наиболее распространенным и удобным способом является использование пермутитовых и глауконитовых фильтров.

Пермутит – искусственно приготовленный минерал, а глауконит – естественный, они состоят из солей Na, Al, Si. Активным элементом является натрий, поэтому условно их обозначают Na_2P. Если воду пропустить через такие фильтры, то возникает обменная реакция. Кальций и магний из воды

задерживаются минералом, а натрий из него уходит в воду. В результате такой обработки содержание Ca и Mg в воде резко уменьшается, а Na растет. Реакции умягчения представлены ниже:

$$Na_2P + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaP + 2NaHCO_3, \quad (1.14)$$

$$Na_2P + CaCl_2 \rightarrow CaP + 2NaCl, \quad (1.15)$$

$$Na_2P + MgSO_4 \rightarrow MgP + Na_2SO_4, \quad (1.16)$$

$$Na_2P + MgCl_2 \rightarrow MgP + 2NaCl. \quad (1.17)$$

Качество умягчения зависит от исходной жесткости воды, высоты слоя минерала, через который фильтруется вода, его активности и скорости фильтрации.

Объем воды, равный 250–300 мл, пропускают через слой пермутита, фильтрат еще раз пропускают через минерал. Берут 100 мл умягченной воды и проверяют ее щелочность. Оставшуюся воду еще дважды профильтровывают через минерал и опять проверяют щелочность. Фильтрацией через пермутит можно достигнуть полного удаления солей жесткости. Этот способ имеет широкое практическое применение, так как очень легко восстановить активность минерала, для этого достаточно промыть его десятипроцентным раствором поваренной соли NaCl.

Восстановление идет по следующей реакции:

$$CaP + 2NaCl \rightarrow Na_2P + CaCl_2, \quad (1.18)$$

$$MgP + 2NaCl \rightarrow Na_2P + MgCl_2. \quad (1.19)$$

После промывания поваренной солью через минерал пропускают чистую воду, и фильтр опять готов к эксплуатации.

Задачи

Пример решения задачи

Определить общую, карбонатную и некарбонатную жесткость воды, если в 1 л содержится:

$Ca(HCO_3)_2$ – 0,169 г;
$CaSO_4$ – 0,040 г;
$MgCl_2$ – 0,022 г.

Решение

Жесткостью воды называется общее количество ионов Ca и Mg, содержащихся в 1 л воды, единицей измерения является мг-экв/л (1 мг-экв соответствует содержанию 20,04 мг/л Ca^{2+}, или 12,16 мг/л Mg^{2+}).

1. Определяем мг-экв. тех солей, которые содержатся в воде, для этого сначала находим молекулярные массы:

а) молекулярная масса соли $Ca(HCO_3)_2$

$$M = 40 + 2 + 24 + 96 = 162;$$

б) молекулярная масса соли $CaSO_4$

$$M = 40 + 32 + 64 = 136;$$

в) молекулярная масса соли $MgCl_2$

$$M = 24 + 71 = 95.$$

Поскольку это соли двухосновных кислот, для определения эквивалента нужно молекулярную массу разделить на 2:

$$162/2 = 81; \qquad 132/2 = 68; \qquad 95/2 = 47,5.$$

2. Находим карбонатную жесткость.

Карбонатная жесткость зависит от содержания в воде $Ca(HCO_3)_2$, количество которого 0,169 г/л или 169 мг/л. Эквивалент для этой соли 81, следовательно, карбонатная жесткость будет равна:

$$Ж_{кар} = 169/81 = 2,086 \text{ мг-экв/л}.$$

3. Находим некарбонатную жесткость, её обуславливают соли $CaSO_4$ и $MgCl_2$, содержание которых 0,040 г/л и 0,022 г/л.

Эквивалент $CaSO_4 = 68$, следовательно, жесткость

$$40/68 = 0,588 \text{ мг-экв/л}.$$

Эквивалент $MgCl_2 = 47,5$, следовательно, жесткость

$$22/47,5 = 0,463 \text{ мг-экв/л}.$$

Некарбонатная жесткость

$$Ж_{некар} = 0,588 + 0,463 = 1,051 \text{ мг-экв/л.}$$

4. Определяем общую жесткость:

$$Ж_о = Ж_{кар} + Ж_{некар};$$

$$Ж_о = 2,086 + 1,051 = 3,137 \text{ мг-экв/л.}$$

Вывод: вода средней жесткости.

Ответ: общая жесткость 3,137 мг-экв/л; карбонатная жесткость 2,086 мг-экв/л; некарбонатная 1,051 мг-экв/л.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.1
В воде в растворенном состоянии содержатся следующие соли:

$NaHCO_3$ – 0,062 г/л;
$KHCO_3$ – 0,072 г/л;
$Ca(HCO_3)_2$ – 0,120 г/л;
$MgSO_4$ – 0,130 г/л.

Определить щелочность и общую жесткость воды.

Задача 1.2
В одном литре воды содержатся следующие соли:

$Mg(HCO_3)$ – 0,187 г;
$Ca(HCO_3)_2$ – 0,098 г;
$MgSO_4$ – 0,072 г;
$CaCl_2$ – 0,102 г.

Определить общую и карбонатную жесткость воды.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2
Топливо

Элементный состав топлив

Топливом называют горючие вещества, способные при сжигании выделять тепловую энергию. Топливо может быть жидким, твердым и газообразным в зависимости от физического состояния.

В состав топлива входит горючая и негорючая часть.

Горючая часть представляет собой различные углеводороды и другие соединения, в которые входят углерод (C), водород (H), кислород (O), 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.

Углерод **C** – основная горючая часть топлива. С увеличением содержания углерода тепловая ценность топлива повышается. В различных видах топлива содержится от 50 до 97% углерода.

Водород **H** – вторая по значимости после углерода горючая составляющая топлива. В сравнении с углеродом содержание водорода в топливе меньше (до 25%), а теплоты при его сгорании выделяется в 4 раза больше.

Кислород **O**, входящий в состав топлива, не горит и не выделяет теплоты, поэтому фактически является внутренним балластом. Его содержание в зависимости от вида топлива составляет 0,5–43%.

Азот **N** не горит и, так же как кислород, является внутренним балластом топлива. Содержание его в жидком и твердом видах топлива невелико и составляет 0,5–1,5%.

Сера **S**, при сгорании которой выделяется определенное количество теплоты, является весьма нежелательной составной частью топлива, ибо продукты ее сгорания – сернистый SO_2 и серный SO_3 ангидриды – вызывают сильную газовую или жидкостную коррозию металлических поверхностей. Содержание серы в твердом топливе колеблется от долей процента до 8%, а в нефтях – от 0,1 до 4%.

Зола **A** представляет собой негорючий твердый компонент, количество которого определяют после полного сгорания топлива. Она является нежелательной и даже вредной примесью, так как в ее присутствии усиливаются абразивные износы, усложняется эксплуатация котельных установок и т.д. У топлива с высоким содержанием золы понижены теплота сгорания и загораемость.

Влага **W** является весьма нежелательной примесью топлива, так как часть теплоты отбирается на её испарение, в результате чего снижается теплота и температура сгорания топлива. При наличии влаги усложняется эксплуатация установок (особенно в зимнее время), увеличивается коррозия и т.д.

Минеральные примеси – золу и влагу – разделяют на **внешние** и **внутренние**. Первые попадают в топливо из окружающей среды при его добыче, транспортировании или хранении, вторые входят в его химический состав.

Теплота сгорания топлива

При «сгорании» горючей смеси в двигателе химическая энергия топлива превращается в тепловую и далее в механическую. Количество тепла при этом зависит от состава горючей смеси и от свойств самого топлива.

Удельная теплота сгорания Q (кДж/кг, или кДж/м^3) – это количество теплоты, выделяемой при полном сгорании 1 кг жидкого или твердого топлива или 1 м^3 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 связей 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 $Q_{выс}$ и низшую $Q_{низ}$ удельную теплоту сгорания.

Высшая удельная теплота сгорания топлива выделяется при полном сгорании 1 кг жидкого или 1 м^3 газообразного топлива, если образующиеся водяные пары конденсируются.

Низшая удельная теплота сгорания топлива представляет собой теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг или 1 м^3 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.

Связь между низшей и высшей теплотой выражается уравнением

$$Q_{низ} = Q_{выс} - 2512{,}08 \cdot (9H + W), \qquad (2.1)$$

где 2512,08 – количество тепла, затрачиваемого на превращение 1 кг воды в пар, кДж;

9H – количество воды, полученной при сгорании водорода, кг;

W – количество воды, содержащейся в топливе, кг.

При расчетах количество водорода и влаги, содержащейся в топливе, удобнее брать не в весовых долях, а в процентах, тогда

$$Q_{низ} = Q_{выс} - 25{,}1208 \cdot (9H + W). \quad (2.2)$$

Если теплоту сгорания подсчитывать в ккал/кг, она примет вид

$$Q_{низ} = Q_{выс} - 6 \cdot (9H + W). \quad (2.3)$$

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, кДж/кг,

$$Q_{выс} = 339C + 1256H - 109 \cdot (O - S), \quad (2.4)$$

т.к. 1 кал = 4,1868 Дж, 1 ккал = 4,1868 кДж, то

$$Q_{выс} = 81C + 300H - 26 \cdot (O - S). \quad (2.5)$$

Низшая удельная теплота сгорания жидкого или твердого топлива, в кДж/кг и ккал/кг соответственно:

$$Q_{низ} = 339C + 1256H - 109 \cdot (O - S) - 25W; \quad (2.6)$$

$$Q_{низ} = 81C + 246H - 26 \cdot (O - S) - 6W. \quad (2.7)$$

В формулах содержание различных элементов и влаги в топливе указывают в процентах.

Для определения теплоты сгорания опытным путем используют калориметрическую установку, основными элементами которой являются бомба и калориметр.

Теплоту сгорания маловязких топлив определяют по формуле, ккал/кг,

$$Q_{низ} = Q_{выс} - 600q, \quad (2.8)$$

где 600 – теплота парообразования, ккал/кг;

q – количество собранного конденсата, кг.

Низшая теплота сгорания в среднем составляет:

- бензина 44–44,5 МДж/кг;
- керосина 43,2 МДж/кг;
- дизельного топлива 42,6 МДж/кг;
- печного бытового топлива 41,16 МДж/кг;
- топочного сернистого мазута 39,9 МДж/кг.

Определение количества воздуха, необходимого для горения

Горение – химический процесс соединения горючего вещества и окислителя. Практически горение представляет собой окисление топлива кислородом воздуха. В результате этого процесса выделяется определенное количество тепловой энергии и резко повышается температура.

При горении скорость протекания окислительных реакций очень высока, и выделяемая теплота не успевает рассеиваться. Эта характерная особенность отличает горение от многих процессов окисления.

Различают **гомогенное** горение, когда топливо и окислитель находятся в газообразном состоянии; **гетерогенное,** когда вступающие в реакцию вещества находятся в различном агрегатном состоянии (например, в твердом и газообразном), и **взрывное**.

Для того чтобы судить о полноте сгорания топлива, необходимо знать: количество воздуха, теоретически необходимое для горения топлива; действительное количество воздуха, которое требуется для полного сгорания топлива; теоретическую температуру горения; состав продуктов горения. Все эти величины определяют расчетным путем, исходя из элементного состава топлива.

Пример

Имеем 1 кг сухого топлива, состоящего из C г углерода, H г водорода, S г серы, N г азота, O г кислорода и A г золы. Горючими элементами, требующими для своего сгорания кислород, являются C, H и S. Напишем реакции горения и из соотношения атомных масс определим количество кислорода, необходимого для полного сгорания того или иного элемента:

$$C + O_2 = CO_2, \qquad (2.9)$$

$$12 + 32 = 44;$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O, \qquad (2.10)$$

$$4 + 32 = 36;$$

$$S + O_2 = SO_2, \qquad (2.11)$$

$$32 + 32 = 64.$$

Для сгорания 12 кг углерода требуется 32 кг кислорода, а для сгорания 1 кг углерода требуется

$$32/12 = 8/3 \approx 2{,}67 \text{ кг кислорода.}$$

Значит, для сгорания 4 кг водорода необходимо 32 кг кислорода, или на 1 кг водорода должно приходиться

$$32/4 = 8 \text{ кг кислорода.}$$

Для сгорания 32 кг серы необходимо 32 кг кислорода, или на 1 кг серы требуется

$$32/32 = 1 \text{ кг кислорода.}$$

Значит, для полного сгорания 1 кг топлива рассматриваемого элементного состава (в массовых процентах) потребуется кислорода О (кг)

$$O = \frac{2{,}67C + 8H + S - O}{100}. \qquad (2.12)$$

В этом случае предполагается, что содержащийся в топливе кислород полностью затрачивается на горение. В действительности же при сжигании топлива подводится не чистый кислород, а воздух, в котором содержится лишь 23,2% кислорода по массе, остальное азот.

Тогда теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива количество воздуха $L_{теор}$ (кг) можно определить по формуле

$$L_{теор} = \frac{2{,}67C + 8H + S - O}{23{,}2}. \qquad (2.13)$$

Если количество воздуха выражают в объемных единицах, то уравнение делят на плотность воздуха при нормальном состоянии (температура 0 °С и давление 101,3 кПа), равную 1,293. Тогда теоретическое количество воздуха ($м^3$) выразится так:

$$L_{теор} = \frac{2{,}67C + 8H + S - O}{30}. \qquad (2.14)$$

Однако в реальных условиях невозможно добиться полного сгорания топлива при наличии теоретически необходимого количества воздуха. Поэтому в двигатели внутреннего сгорания и другие установки подают несколько большее по сравнению с теоретическим количество воздуха, называемое **действительным**.

Действительное количество воздуха при сгорании топлива определяют с помощью специальных газовых счетчиков или по **коэффициенту избытка воздуха α**:

$$\alpha_{дв} = L_{действ} / L_{теор}. \qquad (2.15)$$

Коэффициентом избытка воздуха α называется отношение количества воздуха, действительно израсходованного на сгорание топлива $L_{действ}$, к количеству воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания топлива $L_{теор}$. Значение α зависит от вида применяемого топлива, условий его сжигания, конструкции двигателя или топочного устройства (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Ориентировочные значения коэффициента избытка воздуха

Вид топлива	Коэффициент избытка воздуха α
Газообразное топливо	1,05–1,20
Бензин	0,90–1,15
Дизельное топливо	1,20–1,40
Бурый уголь, торф, дрова	1,50–2,0
Кокс, антрацит	1,40–1,60

В зависимости от соотношения воздуха и топлива может быть несколько видов горючей смеси. Если полное сгорание происходит с расчетным количеством воздуха, то коэффициент избытка равен единице ($\alpha = 1$), а смесь называют нормальной. Когда α больше единицы ($\alpha > 1$), смесь бедная, а меньше единицы ($\alpha < 1$) – богатая. При значениях α близких к единице смесь называют обедненной или обогащенной.

Режимная работа двигателя как на бедных, так и на богатых смесях невыгодна. В первом случае скорость горения и температура снижаются, двигатель не развивает нужной мощности. Во втором случае образуются продукты неполного сгорания топлива, расход топлива увеличивается, а мощность падает. Для двигателей всех типов и режимов работы нужно обеспечить сгорание топлива с меньшим коэффициентом избытка воздуха.

Коэффициент избытка воздуха при неполном сгорании определяют по формуле

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3{,}76 \cdot (O_2 - 0{,}5CO)}{N_2}}, \qquad (2.16)$$

а при полном – по формуле

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3{,}76 \cdot O_2}{N_2}}, \qquad (2.17)$$

где O_2, CO, N_2 – процентное содержание в продуктах сгорания кислорода, окиси углерода и азота (подсчитывают по разности, рассчитываемой по формуле (2.18)).

$$N_2 = 100 - (CO_2 + O_2 + CO). \qquad (2.18)$$

Теплота сгорания горючей смеси

В двигателе сгорает не чистое топливо, а его смесь с воздухом. Теплота сгорания этой смеси определяется, с одной стороны, теплотой сгорания самого топлива, а с другой – количеством находящегося в нем воздуха. Смесь бензина с воздухом при полном сгорании выделяет 3430–3480 кДж/м^3, или 2780–2830 кДж/кг. Однако на деле в двигателе тепла выделяется значительно меньше. Это обусловлено неоднородностью состава смеси, что приводит к различным отклонениям от стехиометрического соотношения топлива с воздухом ($\alpha = 1$) в разных местах камеры сгорания. Таким образом, теплота сгорания смеси, а не теплота сгорания топлива влияет на мощность двигателя.

$$Q_{\text{гор.смеси}} = \frac{Q_{\text{низ топлива}}}{1 + \alpha \cdot L_{\text{теор}}}, \qquad (2.19)$$

где $Q_{\text{низ топлива}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

α – коэффициент избытка воздуха;

$L_{\text{теор}}$ – расчетное количество воздуха, необходимого для сжигания 1 кг топлива, кг.

Задачи

Пример решения задачи

При сжигании 1 кг топлива получено 10300 ккал тепла и 1,3 кг паров воды. Определить максимально возможное количество тепла (в кДж), полученное при сгорании $Q_{\text{выс}}$, и количество водорода, содержащегося в топливе.

Решение

Известно, что по формуле (2.8)

$$Q_{\text{низ}} = Q_{\text{выс}} - 600q,$$

следовательно,

$$Q_{\text{выс}} = Q_{\text{низ}} + 600q, \qquad (2.20)$$

в нашей задаче $Q_{\text{низ}} = 10300$ ккал/кг, а $q = 1{,}3$ кг,

$$Q_{\text{выс}} = 10300 + 600 \cdot 1{,}3 = 11080 \text{ ккал/кг},$$

или

$$Q_{\text{выс}} = 11080 \cdot 4{,}1868 = 46389{,}7 \text{ кДж/кг}.$$

Напишем реакцию сгорания водорода (2.10) и подставим молекулярные массы:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

$$4 + 32 \rightarrow 36$$

Следовательно, при сгорании 4 кг водорода соединяются с 32 кг кислорода и образуется 36 кг воды, а при сгорании 1 кг водорода образуется 9 кг воды.

При сгорании нашего топлива выделилось 1,3 кг паров воды.

Составим пропорцию и определим, какое количество водорода сгорело (*x*):

$$1 \text{ кг} – 9 \text{ кг};$$

$$x – 1{,}3 \text{ кг};$$

$$x = \frac{1{,}3 \cdot 1}{9} = 0{,}144 \text{ кг}.$$

По условию данной задачи топлива сгорело 1 кг, а в нем содержалось и сгорело 0,144 кг водорода, следовательно, это составляет 14,4%.

Ответ: $Q_{выс} = 46389{,}7$ кДж/кг; количество сгоревшего водорода составило 0,144 кг.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 2.1

Сколько получилось продуктов сгорания при сжигании 5 кг топлива состава C_9H_{20}, если коэффициент избытка воздуха составлял $\alpha = 1{,}12$?

Задача 2.2

20 кг топлива состава C_8H_{18} сгорело в двигателе. Сколько потребовалось воздуха для сжигания топлива, если сгорание происходило с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1{,}08$?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3
Бензин

Общие сведения

Для ДВС с принудительным воспламенением в качестве топлива используется бензин.

Бензины – это сложная смесь легких ароматических, нафтеновых, парафиновых углеводородов и их производных с числом углеродных атомов от 4–5 до 9–10, средней молекулярной массой около 100, выкипающая в пределах 35–200 °С. Бензины – легковоспламеняющиеся бесцветные или слегка желтые жидкости. Основную массу бензина получают при переработке нефти (прямая перегонка, термический и каталитический крекинг) или нефтяных газов. Бензины – легколетучие жидкости, температура вспышки минус 20–40 °С, застывания – ниже минус 60 °С. Кинематическая вязкость бензина примерно вдвое меньше, чем у воды.

Задачи

Пример решения задачи

Бензин следующего состава: C = 85,6%, H = 14,2%, S = 0,1%,O = 0,1%, сгорал в двигателе. Состав выхлопного газа: CO_2 = 11,5%, O_2 = 3,2%, CO = 1,0%. Определить $Q_{гор.смеси}$.

Решение

Определим $Q_{низ}$ бензина по формуле Менделеева

$$Q_{низ} = 81C+246H – 26\cdot(O – S), \qquad (3.1)$$

$$Q_{низ} = 81\cdot 85,6+246\cdot 14,2 – 26\cdot(0,1 – 0,1) = 10426,8 \text{ ккал/кг},$$

или

$$10426,8\cdot 4,1868 = 43654,9 \text{ кДж/кг}.$$

Определим коэффициент избытка воздуха α. Определяем количество азота (N_2), содержащегося в выхлопном газе, по формуле (2.18):

$$N_2 = 100 – (CO_2 + O_2 + CO) = 84,3 \ \%.$$

Поскольку в выхлопном газе содержатся кислород и окись углерода, то для подсчета α воспользуемся формулой (2.16):

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3{,}76 \cdot (3{,}2 - 0{,}5 \cdot 1{,}0)}{84{,}3}} = 1{,}137 .$$

Определяем $Q_{гор.смеси}$ (2.19):

$$Q_{гор.смеси} = \frac{Q_{низ\,топлива}}{1 + \alpha \cdot L_{теор}} .$$

Для этого по формуле (2.13) найдем $L_{теор}$:

$$L_{теор} = \frac{2{,}67 \cdot 85{,}6 + 8 \cdot 14{,}2 + 0{,}1 + 0{,}1}{23{,}2} = 14{,}75 \text{ кг/кг},$$

$$Q_{гор.смеси} = \frac{10426{,}8}{1 + 1{,}136 \cdot 14{,}6} = 587{,}23 \text{ ккал/кг} = 2458{,}61 \text{ кДж/кг} .$$

Ответ: $Q_{гор.смеси}$ = 2458,61 кДж/кг.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 3.1

Определить теплоту сгорания бензина и его нормальной рабочей смеси следующего состава: C = 85,5%; H = 13,5%; S = 0,6%; O = 0,4%.

Задача 3.2

Определить теплоту сгорания $Q_{гор.смеси}$ 5 л нормальной смеси углеводорода C_8H_{16}, имеющего ρ_4^{20} = 0,740.

Задача 3.3

Определить теплоту сгорания нормальной смеси 10 л бензина состава C_7H_{16} с удельным весом 0,736.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4
Дизельное топливо

Общие сведения

Дизельное топливо – это нефтяная фракция, основу которой составляют углеводороды с температурами кипения в пределах от 200 до 350 °С. Дизельное топливо – прозрачная, более вязкая, чем бензин, жидкость. Его окраска зависит от содержащихся смол и меняется от желтого до светло-коричневого цвета.

Задачи

Пример решения задачи

Определить действительно израсходованное количество воздуха $L_{действ}$ в кг и $м^3$ при сгорании 15 кг дизельного топлива следующего состава: C = 85,2%, H = 13,7%, S = 0,74%,W = 0,1%, остальное – кислород. Состав выхлопного газа: CO_2=11,2%, O_2=4,6%, CO=0,3%, SO_2=0,5%.

Решение

Определим содержание кислорода в дизельном топливе:

$$O = 100 – (C + H + S + W), \quad (4.1)$$

$$O = 100 – (85,2+13,7+0,74+0,1) = 0,26\%.$$

Подсчитаем расчетное количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг дизельного топлива $L_{теор}$ в кг и $м^3$ (2.14):

$$L_{теор} = \frac{2,67 \cdot 85,2 + 8 \cdot 13,7 + 0,74 – 0,26}{23,2} = 14,55 \text{ кг/кг}.$$

Расход воздуха в $м^3$ будет:

$$14,55/1,293 = 11,24 \text{ м}^3.$$

Определим коэффициент избытка воздуха α. В продуктах сгорания содержатся окислы серы (SO_2). Их можно прибавить к количеству углекислого газа (3-атомные газы). Определяем количество азота (N_2), содержащегося в выхлопном газе:

$$N_2 = 100 – (CO_2 + SO_2 + O_2 + CO), \quad (4.2)$$

$$N_2 = 100 – (11,2 + 0,5 + 4,6 + 0,3) = 83,4\%.$$

Поскольку в выхлопном газе содержатся кислород и окись углерода, то для подсчета α воспользуемся формулой (2.16):

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3{,}76 \cdot (4{,}6 - 0{,}5 \cdot 0{,}3)}{83{,}4}} = 1{,}16.$$

$L_{действ}$ определим из формулы (2.15):

$$L_{действ} = L_{теор} \cdot \alpha, \qquad (4.3)$$

$$L_{действ} = 1{,}16 \cdot 14{,}55 = 16{,}88 \text{ кг/кг},$$

$$L_{действ} = 1{,}16 \cdot 11{,}24 = 13{,}04 \text{ м}^3\text{/кг}.$$

Для сжигания 15 кг топлива нужно в 15 раз больше воздуха.

Ответ: $L_{действ} = 16{,}88$ кг/кг; $L_{действ} = 13{,}04$ м^3/кг.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 4.1

Сколько потребовалось воздуха для сжигания 18 кг дизельного топлива следующего состава: C = 83,1%; H = 13,6%; O = 2,0%; S = 1,3%, если анализ выхлопных газов был такой: CO_2 = 15,2%; O_2 = 3,4%; CO = 2,1%?

Задача 4.2

Определить количество воздуха, израсходованного при сжигании 20 л дизельного топлива следующего состава: C = 85,4%, H = 13,2%, S = 0,8%, O = 0,6%, $\rho_4^{20} = 0{,}825$, если анализ продуктов сгорания дал результаты: CO_2 = 10,5%, O_2 = 5,1%, CO = 0,4%, SO_2 = 0,85%.

Задача 4.3

Дизельное топливо, состоящее из смеси равных количеств углеводородов $C_{16}H_{34}$ и $C_{10}H_7CH_3$, сгорело в двигателе с коэффициентом избытка воздуха α = 1,3. Определить теплоту сгорания $Q_{выс}$, $Q_{низ}$, $L_{действ}$ и цетановое число.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5
Газ

Виды и тепловая ценность газообразных топлив

Все газообразные топлива делят на два вида – естественные и искусственные.

К **естественным газам** относятся легкие углеводороды, улавливаемые при добыче нефти, и природные газы чисто газовых месторождений.

Искусственные газы получают при переработке твердых и жидких топлив.

В состав горючей части входят горючие газы – окись углерода (CO), водород (H_2), метан (CH_4), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) и др. Газообразные углеводороды с числом углеродных атомов больше единицы (тяжелее метана), но меньше пяти (пентан – жидкость) принято обозначать общей формулой C_nH_m и называть **тяжелыми углеводородами.**

Балластом газообразного топлива являются негорючие газы: пары воды (H_2O), азот (N_2), углекислый газ (CO_2), кислород (O_2), сернистый газ (SO_2) и др.

Тепловая ценность горючих составляющих газообразных топлив разная:

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2 + 285623 \text{ кДж}, \qquad (5.1)$$

при сгорании 1 м^3 CO выделяется 12751,05 кДж/м^3 тепла;

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + 242039{,}15 \text{ кДж}, \qquad (5.2)$$

при сгорании 1 м^3 водорода выделяется 10805,32 кДж/м^3 тепла;

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + 796831{,}77 \text{ кДж}, \qquad (5.3)$$

при сгорании 1 м^3 CH_4 выделяется 35572,84 кДж/м^3 тепла.

Для сжигания более тяжелых газообразных углеводородов требуется еще большее количество кислорода.

$$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 1309281{,}27 \text{ кДж}, \qquad (5.4)$$

а при сгорании 1 м^3 C_2H_4 выделяется тепло в количестве 58896,48 кДж/м^3.

Из приведенных данных видно, что при сгорании метана и тяжелых углеводородов выделяется значительно большее количество тепла, чем при сгорании окиси углерода и водорода.

Если известен состав газообразного топлива, то его теплоту сгорания можно подсчитать по следующим формулам:

$$Q_{выс}^{сух\ газ} = 30{,}4(CO + H_2) + 95{,}05CH_4 + 152{,}4C_nH_m \text{ ккал/м}^3, \quad (5.5)$$

$$Q_{низ}^{сух\ газ} = 30{,}4CO + 25{,}8H_2 + 85{,}6CH_4 + 143C_nH_m \text{ ккал/м}^3, \quad (5.6)$$

или

$$Q_{низ}^{сух\ газ} = 127{,}51CO + 108{,}05H_2 + 355{,}73CH_4 + 588{,}96 \text{ кДж/м}^3. \quad (5.7)$$

Газообразное топливо по теплоте сгорания условно делят на 3 группы:

- **высококалорийное**, с теплотой сгорания более 20000 кДж/м^3 (природные газы из газовых скважин и нефтяные, получаемые из скважин попутно с нефтью и при переработке её);
- **среднекалорийное**, с теплотой сгорания 10000–20000 кДж/м^3 (коксовый, светильный, водяной газы и т.п.);
- **низкокалорийное**, с теплотой сгорания до 10000 кДж/м^3 (рудничный, доменный, генераторный газы и др.).

Количество воздуха, необходимое для сгорания газообразного топлива

Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания газообразного топлива можно определить по известному объемному составу (%) газа:

$$L_{теор}^{газ} = \frac{0{,}5 \cdot (CO + H_2) + \left(n + \frac{m}{4}\right) \cdot C_nH_m - O_2}{21} \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (5.8)$$

где $L_{теор}^{газ}$ – теоретически необходимое количество воздуха, м^3/м^3;

CO, H_2, C_nH_m, O_2 – состав газа, % по объему;

21 – содержание кислорода в воздухе, % по объему.

Задачи

Пример решения задачи

Сколько выделилось тепла при сжигании 8 м^3 газа следующего состава: CH_4 = 92%, C_nH_m = 2,0%, H_2 = 2,0%, CO_2 = 3,5%, N_2 = 0,5%. Какой газ сгорел в горелке?

Решение

Определяем теплоту сгорания 1 м^3 газа (5.6):

$$Q_{низ}^{сух\ газ} = 30{,}4CO+25{,}8H_2+85{,}6CH_4+143C_nH_m \text{ ккал/м}^3,$$

$$Q_{низ}^{сух\ газ} = 25,8 \cdot 2 + 85,6 \cdot 92,0 + 143 \cdot 2 = 8212,82 \text{ ккал/м}^3.$$

Полученное количество тепла умножаем на расход газа:

$$8212,92 \cdot 8 = 65702,4 \text{ ккал/м}^3.$$

Ответ: По составу можно сказать, что это природный газ;

$$Q_{низ}^{сух\ газ} = 65702,4 \text{ ккал/м}^3.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 5.1

Газообразное топливо имеет следующий состав: пропан $C_3H_8 = 94\%$, бутан $C_4H_{10} = 2,0\%$, этилен $C_2H_4 = 2,0\%$, остальное – негорючие компоненты. Определить название газа, количество воздуха необходимое для полного сгорания газа, и его теплоту сгорания.

Задача 5.2

Газообразное топливо имеет следующий состав; $CO = 32\%$; $H_2 = 13\%$; $CH_4 = 1,2\%$; $CO_2 = 5,0\%$; $O_2 = 2,0\%$; $N_2 = 46,2\%$. Определить название газа, его теплоту сгорания и количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 м^3 газа.

Задача 5.3

Сколько выделилось тепла при сгорании 5 м^3 газа следующего состава: $CH_4 = 90\%$; $C_nH_m = 3,0\%$; $H_2 = 2,0\%$; $O_2 = 1,5\%$; $CO = 2,5\%$. Какой газ сгорел в горелке? Какое количество воздуха необходимо для полного сгорания газа?

Практическое занятие № 6
Твердое топливо

Состав топлива

К естественным видам твердого топлива относятся ископаемые угли, торф, древесина, отходы сельскохозяйственного производства, а к искусственным – кокс, полукокс, различные брикеты, древесный уголь. В твердом топливе в большом количестве содержится балласт, который резко снижает его тепловую ценность.

Влага в топливе (W) содержится в виде внешней $W^{вн}$ и внутренней или гигроскопической $W^{л}$ воды. Сумма внешней и внутренней воды дает общую или рабочую влагу топлива, которую подсчитывают по формуле

$$W^{р} = W^{вн} + \frac{W^{л} \cdot (100 - W^{вн})}{100}, \qquad (6.1)$$

где $W^{вн}$ и $W^{л}$ – содержание внешней и внутренней влаги, %.

Твердое топливо, сжигаемое в топках котлов, печах и других установках, в своем составе содержит рабочую влагу, минеральные примеси и органические вещества. Такое агрегатное состояние называют **рабочей массой**.

$$C^{р} + H^{р} + S^{р} + O^{р} + N^{р} + A^{р} + W^{р} = 100\%. \qquad (6.2)$$

Проводить анализ такой массы нельзя, так как топливо в помещении быстро теряет внешнюю влагу, а следовательно, и изменяет свой состав (доходит до воздушно-сухого состояния). Воздушно-сухое топливо можно измельчать, приготовлять среднюю пробу и проводить различные исследования. Такая масса топлива называется **лабораторной**.

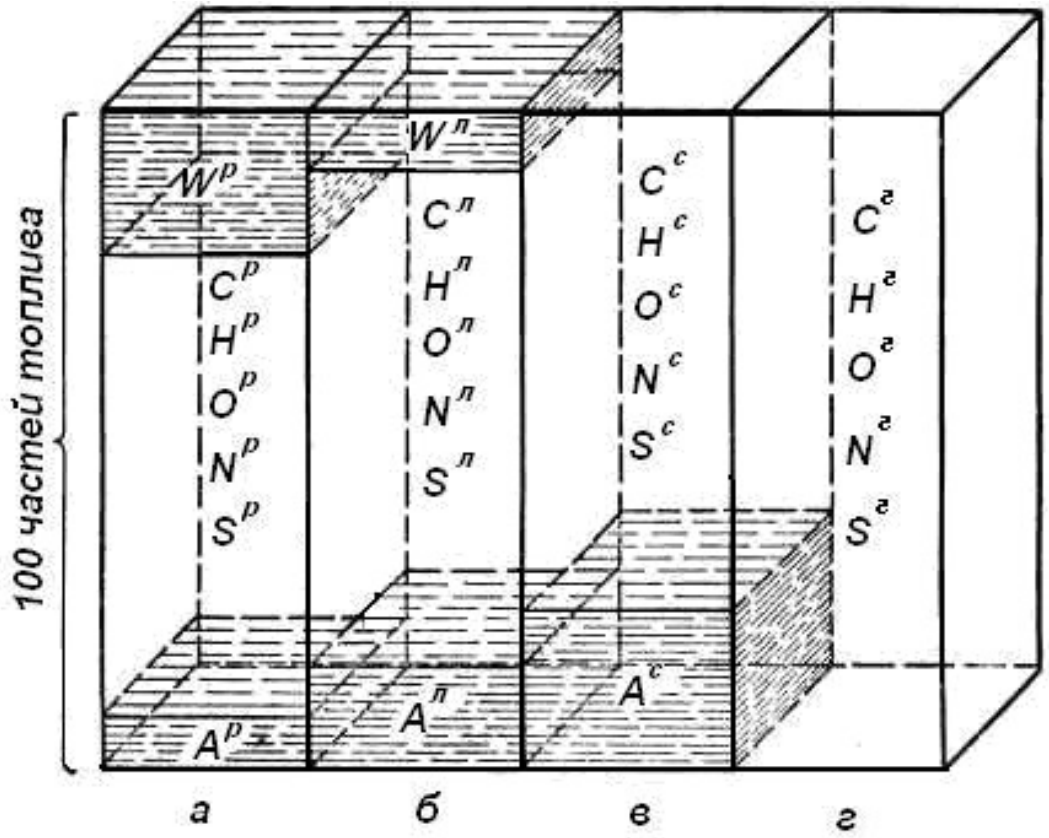
$$C^{л} + H^{л} + S^{л} + O^{л} + N^{л} + A^{л} + W^{л} = 100\%. \qquad (6.3)$$

Если топливо подвергнуть искусственной сушке, чтобы полностью удалить гигроскопическую влагу, то получится масса топлива, называемая **абсолютно сухой**.

$$C^{с} + H^{с} + S^{с} + O^{с} + N^{с} + A^{с} = 100\%. \qquad (6.4)$$

Горючая масса – это топливо, не содержащее воды и золы.

$$C^{г} + H^{г} + S^{г} + O^{г} + N^{г} = 100\%. \qquad (6.5)$$



а – рабочая масса; *б* – воздушно-сухая масса (лабораторная);
в – абсолютно сухая масса; *г* – горючая масса

Рисунок 6.1 – Агрегатные состояния топлив

Пересчет на рабочую массу топлива. По рисунку 6.1 видно, что разница между лабораторной массой и рабочей в составе и свойствах зависит от разного количества воды, так как в лабораторной массе содержится только внутренняя влага, а в рабочей – внутренняя и внешняя. Зная это, составляем пропорцию:

$B^л$ содержится в 100 частях топлива – $W^л$, а $B^р$ содержится в 100 частях топлива – $W^р$.

Откуда

$$B^р = \frac{B^л \cdot (100 - W^р)}{100 - W^л}. \qquad (6.6)$$

Пересчет на абсолютно сухую массу топлива. По рисунку 6.1 сравним абсолютно сухое и воздушно-сухое топливо. Абсолютно сухое топливо совсем не содержит воды, а воздушно-сухое – содержит внутреннюю, гигроскопическую влагу. Следовательно, органического вещества в абсолютно сухом топливе больше. Составляем пропорцию:

$B^{л}$ содержится в 100 частях топлива – $W^{л}$, а B^{c} содержится в 100 частях топлива, отсюда

$$B^{c} = \frac{B^{л} \cdot 100}{100 - W^{л}}. \quad (6.7)$$

Пересчет на горючую массу топлива. Горючая масса полностью лишена балласта, в ней нет ни воды, ни золы; следовательно, изменение в составе и свойствах будет тем больше, чем больше балласта в топливе. В лабораторной пробе есть влага внутренняя и зола. Сравним эти два агрегатных состояния и составим пропорцию:

$B^{л}$ содержится в 100 частях топлива – $W^{л} – A^{л}$, а $B^{г}$ содержится в 100 частях топлива.

Отсюда

$$B^{г} = \frac{B^{л} \cdot 100}{100 - W^{л} - A^{л}}. \quad (6.8)$$

Пользуясь полученными формулами или их производными, можно сделать любые пересчеты; только нужно помнить, что под символом В может подразумеваться любая константа топлива.

Определение золы. По стандарту золу обозначают символом А. Наверху ставят индекс, на какую массу топлива подсчитана зольность. Например, $A^{л}$ – это количество золы, содержащееся в воздушно-сухом топливе.

Найденный процент золы, содержащийся в воздушно-сухом топливе, необходимо пересчитать на абсолютно сухое и рабочее топливо, так как количество золы будет меняться от того, какое количество влаги содержится в топливе. Эти пересчеты производятся по следующим формулам:

$$A^{c} = \frac{A^{л} \cdot 100}{100 - W^{л}}; \quad (6.9)$$

$$A^{p} = \frac{A^{c} \cdot \left(100 - W^{p}\right)}{100}, \quad (6.10)$$

где $W^{л}$ и W^{p} – содержание гигроскопической и рабочей влаги в топливе (берутся из первого определения).

Условное топливо

Все топлива имеют неодинаковую теплоту сгорания, так как отличаются по составу, физическим и химическим свойствам. Для сопоставления различных топлив в качестве эталона принято «условное топливо», у которого низ-

шая теплота сгорания для жидких и твердых топлив равна 29307 кДж/кг, для газообразного топлива – 29307 кДж/м^3.

Для расчетов (например, для замены одного вида топлива на другой) используют калорийный ($Э_{кал}$) и технический ($Э_{тсх}$) эквиваленты:

$$Э_{кал} = \frac{Q_н}{29307}; \quad (6.11)$$

$$Э_{тех} = \frac{Q_н \cdot \eta_н}{29307}, \quad (6.12)$$

где $Q_н$ – низшая теплота сгорания топлива;

$\eta_н$ – средний КПД котла (используется для расчета разных топлив, применяемых в котельных установках).

Значения калорийных эквивалентов для основных видов топлив приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Значения калорийных эквивалентов

Топливо	Теплота сгорания	Калорийный эквивалент
Каменный уголь	29307	1,00
Бензин	45216	1,57
Диз. топливо	42704	1,45
Газ природный	35586	1,21

Задачи

Пример решения задачи

В топке сгорело 20 кг топлива влажностью $W^{вн} = 12\%$ и $W^{л} = 16\%$. Определить рабочую влажность топлива $W^{р}$. Сколько затрачено тепла на её испарение и сколько осталось золы при сжигании топлива, если $A^{с} = 9{,}1\%$?

Решение

Определяем $W^{р}$ (6.1):

$$W^{р} = W^{вн} + \frac{W^{л} \cdot (100 - W^{вн})}{100} = 26{,}1\%.$$

Находим количество воды, получающейся при сжигании 20 кг топлива:

26,1 –100,

x – 20,

x = 5,22 кг.

Принимаем, что на испарение 1 кг затрачивается 600 ккал, следовательно, всего будет затрачено тепла па испарение воды

$$Q = 5{,}22 \cdot 600 = 3132 \text{ ккал.}$$

Определяем содержание золы на рабочую массу топлива (6.10):

$$A^p = \frac{A^c \cdot (100 - W^p)}{100} = 6{,}72\% .$$

Общее количество золы будет:

$$A = \frac{6{,}72 \cdot 20000}{100} = 1344 \text{ г, или } 1{,}344 \text{ кг.}$$

Ответ: $W^p = 26{,}1\%$. Затрачено тепла 3132 ккал; останется золы 1,314 кг.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 6.1

Определить процентный состав рабочей массы топлива с $W^p = 23\%$, если $C^c = 58\%$; $H^г = 5{,}3\%$; $O^г = 30\%$; $S^г = 1{,}15\%$ и $A^c = 8{,}8\%$.

Задача 6.2

Определить $Q^p_{выс}$ и $Q^p_{низ}$ для топлива следующего состава: $C^p = 39\%$; $H^p = 4{,}0\%$; $O^p = 24\%$; $W^p = 22{,}5\%$; $S^p = 10\%$.

Задача 6.3

При исследовании в лаборатории получены такие анализы: $W^{вн} = 15{,}0\%$; $W^л = 18{,}0\%$; $A^л = 12{,}5\%$; $C^л = 38{,}0\%$; $H^л = 5{,}0\%$; $S^л = 0{,}5\%$; $O^л = 26{,}0\%$. Определить состав и теплоту сгорания рабочей массы топлива.

Задача 6.4

Теплота сгорания сырых дров при $W^p = 53\%$ составила 2200 ккал. Как изменилась теплота сгорания, если дрова высохли до $W = 22\%$?

Задача 6.5

Торф следующего состава ($W^p = 33\%$; $C^p = 32\%$; $H^p = 3{,}8\%$; $O^p = 26\%$) намок под дождем до $W^{p1} = 56\%$. Определить теплоту сгорания воздушно-сухого и намокшего торфа.

Задача 6.6

Топливо следующего состава: $C^p = 32\%$; $H^p = 2{,}5\%$; $O^p = 15\%$; $S^p = 0{,}5\%$; $A^p = 8{,}5\%$ и $W^p = 42\%$ – высохло на воздухе до $W_1^p = 20\%$. Как изменилась его теплота сгорания?

Задача 6.7

Состав горючей массы топлива: $C^г = 84\%$; $H^г = 4{,}5\%$; $O^г = 9{,}9\%$; $S^г = 1{,}5\%$; $N^г = 0{,}1\%$. Содержание золы $A^c = 6{,}9\%$. Содержание воды $W^{вн} = 7{,}0\%$ и $W^{л} = 5{,}5\%$. Летучих $V = 22\%$. Кокс – спекающийся, сплавленный, плотный. Подсчитать низшую теплоту сгорания на рабочую массу $Q^p_{низ}$ и определить, сколько требуется воздуха для сжигания 1 кг топлива.

Задача 6.8

Дан торф следующего состава: $C^p = 32\%$, $H^p = 3{,}8\%$, $A^p = 1{,}2\%$, $O^p = 21\%$ и влажностью $W^p = 42\%$. При сушке влажность снизилась до $W_1^p = 23\%$.

Определить, как изменилась теплота сгорания после сушки.

Практическое занятие № 7
Масла для двигателей и трансмиссий

Назначение и требования, предъявляемые к моторным маслам

Масла, применяемые в смазочных системах двигателей внутреннего сгорания, называются моторными маслами.

Главное назначение моторных масел – снижать износ деталей двигателя за счет создания на поверхности трущихся деталей прочной масляной пленки. Помимо этого, моторные масла должны обеспечивать уплотнение зазоров в деталях цилиндропоршневой группы, отвод тепла и удаление продуктов износа из зон трения, защиту рабочих поверхностей деталей двигателя от коррозии, а также способствовать облегчению пуска двигателей при низких температурах. Моторные масла должны предотвращать образование всех видов отложений на деталях двигателя при его работе на различных режимах, обеспечивать высокую стойкость против окисления в процессе работы, а также при длительном хранении. Кроме того, моторные масла должны обеспечивать минимальный расход при работе двигателя и максимальный срок службы до замены без ущерба для надежности двигателя, обладать хорошей вязкостно-температурной характеристикой, высокой моюще-диспергирующей способностью.

Назначение и свойства трансмиссионных масел

Масла, служащие для смазывания коробок передач, раздаточных коробок, дифференциалов, механизмов рулевого управления, представляющих собой зубчатые передачи – цилиндрические, конические, червячные, гипоидные и другие, называются трансмиссионными.

Трансмиссионные масла должны иметь хорошие противоизносные, противозадирные и противопиттинговые свойства, характеризоваться пологой вязкостно-температурной кривой, низкой температурой застывания, обладать хорошей термической и термоокислительной стабильностью, а также высокой стабильностью при хранении, минимально воздействовать на резинотехнические уплотнительные материалы, не допуская их разрушения, иметь хорошие антикоррозионные свойства, не содержать механические примеси и воду.

Противоизносные и противозадирные свойства – основная характеристика трансмиссионных масел. Масла с такими свойствами обладают высокой смазывающей способностью, при которой на трущихся поверхностях зубьев шестерен создается прочная пленка, предотвращающая сваривание и задирание микронеровностей. Эта способность определяется наличием поверхностно-активных веществ, содержащихся в наибольшем количестве в остаточных нефтепродуктах, из которых получают трансмиссионные масла. Кроме того, для повышения противозадирных свойств в масла вводят специальные присадки, содержащие соединения хлора, фосфора, серы и цинка. Эти вещества при большом давлении и высокой температуре образуют пленки оксидов, предохраняющие металл от схватывания в точках контакта.

Задачи

Пример решения задачи

Масло удельного веса 0,918 имеет кинематическую вязкость ν_{50} = 112 сСт, ν_{100} = 15,4 сСт. Определить вязкость масла при 0 °С и + 20 °С, пользуясь приложением Б.

Решение

Расчет производится по номограмме, приведенной на рисунке Б.1 в приложении Б, следующим путем. На правой вертикальной ординате находим температуру 50 °С; на противоположной стороне находим кинематическую вязкость, равную 112 сСт, эти две точки соединяем прямой линией от шкалы температур до шкалы вязкостей. Точно так же находим следующие точки: температуру 100 °С и соответствующее ей значение вязкости 15,4 сСт. Эти точки соединяем прямой. Отмечаем точку пресечения двух построенных прямых (на номограмме прямые показаны сплошными линиями). Нужно определить вязкости при 0 °С и + 20 °С. Для этого на шкале температур находим нужные нам температуры и через точку пресечения двух прямых проводим прямую до шкалы вязкости, где и читаем ответ (на номограмме прямые проведены пунктирными линиями).

Ответ: ν_{20} = 800 сСт; ν_0 = 9000 сСт.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 7.1

Масло марки М-14 имеет ν_{50}=78 сСт. Определить его вязкость при -10 °С и 0 °С.

Задача 7.2

Имеются два масла с одинаковой вязкостью при 100 °С, равной 7,9 сСт. Вязкость первого масла при 50 °С составляет 65, а второго – 40 сСт. Какое масло более пригодно для зимней эксплуатации, и какой у них индекс вязкости?

Задача 7.3

Определить марку масла, если известны следующие данные: ν_{100}= 10–11 сСт, индекс вязкости 120, щелочное число 5 мг КОН/г, зольность 0,9%, температура застывания -38 °С.

Практическое занятие № 8
Материалы для обеспечения технологического процесса. Увязочные материалы

Назначение и классификация тары

Упаковка – это средство или комплекс средств, обеспечивающих защиту груза от повреждений и потерь, вредного воздействия окружающей среды, загрязнения и облегчающих процесс обращения с грузом, включая хранение, транспортирование, перегрузку и реализацию продукции. Основными элементами упаковки являются тара, упаковочные материалы, средства консервации.

В состав упаковки входят наружная тара, система запирания, в случае необходимости перегородки, обвязки, амортизаторы, водонепроницаемые ограждения, ленты, а также нанесение транспортной маркировки.

Тара является одним из важнейших элементов упаковки и представляет собой изделие для размещения продукции. Классификацию транспортной тары можно представить в виде схемы рисунка 8.1.

Потребительская тара предназначена для первичного упаковывания изделий и товаров в расфасовке по объему и массе, удобной потребителю. Такая тара переходит вместе с товаром в собственность потребителя и может быть индивидуальной (для упаковывания одного изделия), порционной (для размещения определенного количества продукции), подарочной, отличающейся красочным, ярким оформлением.

Групповая тара служит для комплектации и укрупнения партий изделий, особенно мелкоштучных, предварительно упакованных в потребительскую тару или без нее, и также защищает товары от воздействий агрессивных факторов окружающей среды и механических нагрузок, обладая амортизирующими свойствами.

Производственная тара используется для упаковывания, перемещения и хранения полуфабрикатов, запасных частей, готовой продукции, комплектующих и т.п., внутри или между заводами и организациями. Данный вид тары изготавливают чаще всего из металла, хотя встречается пластиковая и деревянная, поскольку ей необходимо выдерживать большие механические нагрузки и иметь длительный срок службы.

Транспортная тара образует самостоятельную транспортную единицу или часть укрупненной транспортной единицы, которая применяется для упаковывания товаров и изделий, предварительно уложенных в потребительскую, групповую тару или без первичной упаковки.

Тара-оборудование представляет собой специальное изделие, предназначенное для укладывания, транспортирования, временного хранения и продажи товаров методом самообслуживания.

Одноразовая тара предназначена для однократного перемещения продукции, когда её возврат невозможен или экономически невыгоден, а также

при выполнении поставок при отсутствии регулярных связей между поставщиками продукции и её потребителями.

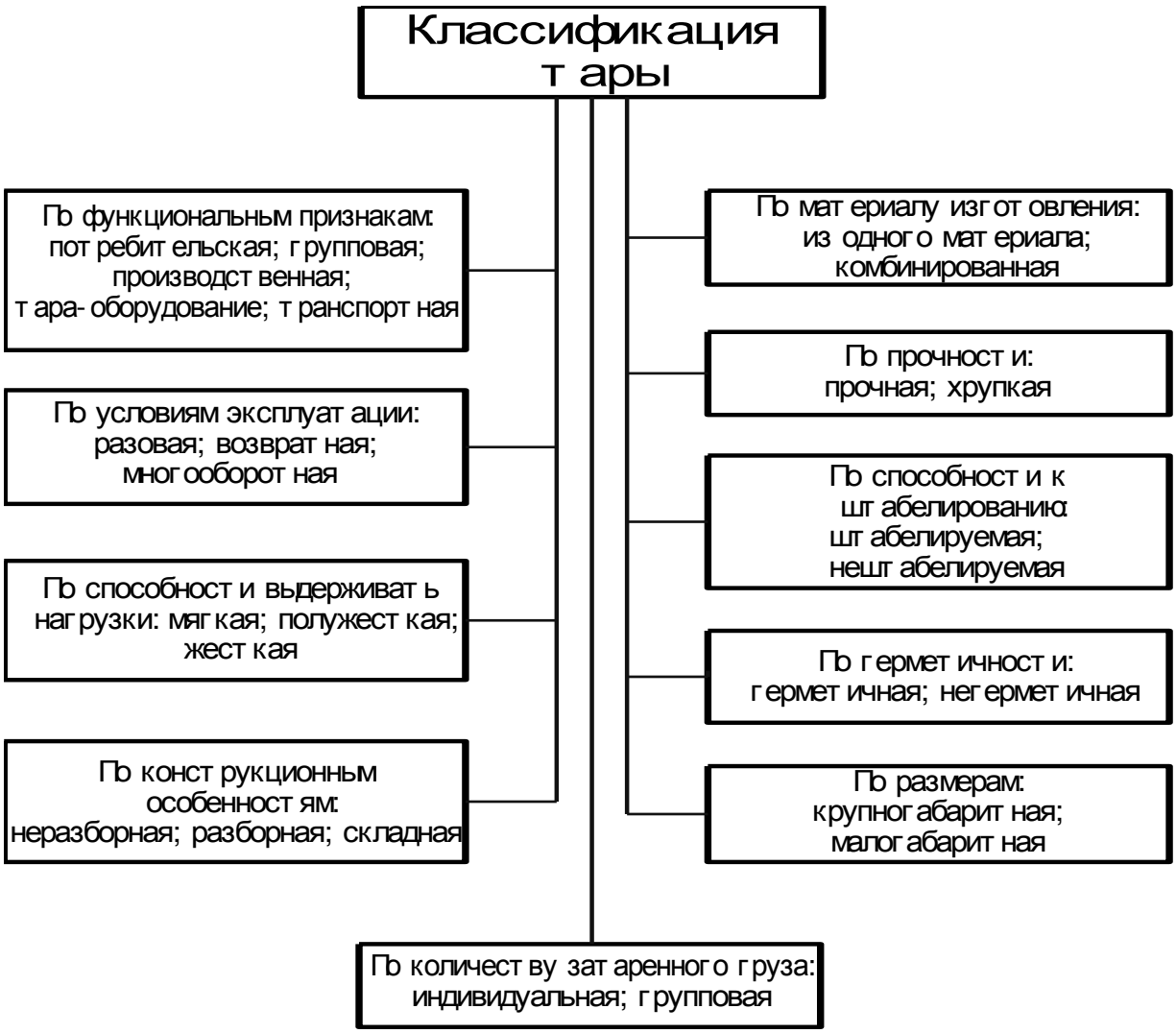


Рисунок 8.1 – Классификация тары

Многооборотная тара предназначается для многократного использования и должна выдерживать значительные повторяющиеся механические нагрузки.

В зависимости от формы существуют следующие виды транспортной тары: ящики, бочки, барабаны, фляги, канистры, баллоны, мешки и т.д.

Основные принципы расчета прочности транспортной тары

Прочность транспортной тары в значительной степени определяет сохранность груза в процессе перевозки. На прочность тары определяющее влияние оказывают:

– характер груза и его допустимая масса в единице тары;

– размер тары и её отдельных деталей;

– механические свойства материала, используемого для изготовления тары;

– условия выполнения перевозок с точки зрения воздействия внешних факторов.

При планировании использования тары определяют возможные статические нагрузки при штабелировании, динамические и вибрационные нагрузки, возникающие при механическом формировании и расформировании транспортируемых пакетов, выполнении перегрузочных операций и т.п.

Статическое сжимающее усилие, Н, которое должна выдерживать тара, находящаяся в нижнем ряду штабеля:

$$P_{сж}^{ст} = \frac{g \cdot Q \cdot (H - h)}{h}, \qquad (8.1)$$

где g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

Q – масса тары с грузом, кг;

H – высота штабеля (штабелирования), м;

h – высота единицы тары (ящика, коробки), м.

Высоту штабеля Н устанавливают в нормативно-технической документации для конкретных видов продукции с учетом свойств упаковки и необходимости полного использования вместимости или грузоподъемности транспортных средств. Если высота штабеля не установлена, ее принимают равной не менее 600 см для деревянной тары и не менее 250 см для картонной.

Динамические нагрузки учитывают, когда в процессе перевозки на груз действуют вертикальные и горизонтальные (продольные и поперечные) инерционные силы, Н.

$$P_{в} = a_{в} \cdot Q \cdot (n_{в} - 1), \qquad (8.2)$$

$$P_{пр} = a_{пр} \cdot Q \cdot (n_{пр} - 1), \qquad (8.3)$$

$$P_{п} = a_{п} \cdot Q \cdot (n_{п} - 1), \qquad (8.4)$$

где $a_{в}$, $a_{пр}$, $a_{п}$ – ускорение, действующее в вертикальном, продольном и поперечных направлениях соответственно, м/с^2;

$п_{в}$, $п_{пр}$, $п_{п}$ – количество грузовых единиц соответственно в вертикальном, продольном и поперечном направлениях штабеля, размещенного в кузове ПС.

При перевозках проблемы с прочностью чаще всего возникают с тарой, изготовленной из менее стойких к внешним воздействиям материалов (например, из картона), поэтому в качестве примера остановимся на расчете такого типа тары.

При расчете сжимающих усилий, которые должна выдерживать картонная тара при штабелировании, учитывают коэффициент запаса $К_з$, который зависит от продолжительности хранения груза. Если срок хранения в нормативно-технической документации не оговорен, $К_з$ принимают равным 1,85. При небольших сроках хранения для коэффициента запаса могут приниматься более низкие значения: при хранении до 30 суток $К_з = 1,6$, от 30 до 100 суток $К_з = 1,65$.

Усилие сжатия, Н, рассчитывают по формуле

$$P_{сж} = \frac{K_з \cdot g \cdot Q \cdot (H - h)}{h} \quad . \tag{8.5}$$

Сопротивление сжатию, Н, картонной тары зависит от параметров ящика и прочности гофрированного картона при торцевом сжатии:

$$P_{сж}^{сопр} = 2,55 \cdot P_т \cdot \sqrt{\delta \cdot z}\,, \tag{8.6}$$

где $P_т$ – торцевая жесткость, Н/мм;

δ – толщина картона, мм;

z – периметр ящика, мм.

Значения торцевой жесткости картонной тары в зависимости от используемой марки картона приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Торцевая жесткость картонной тары

Марка картона	$P_т$, Н/мм	Марка картона	$P_т$, Н/мм
Т0	5,4	Т4	2
Т1	4	П1	10
Т2	3,6	П2	8
Т3	3	П3	6

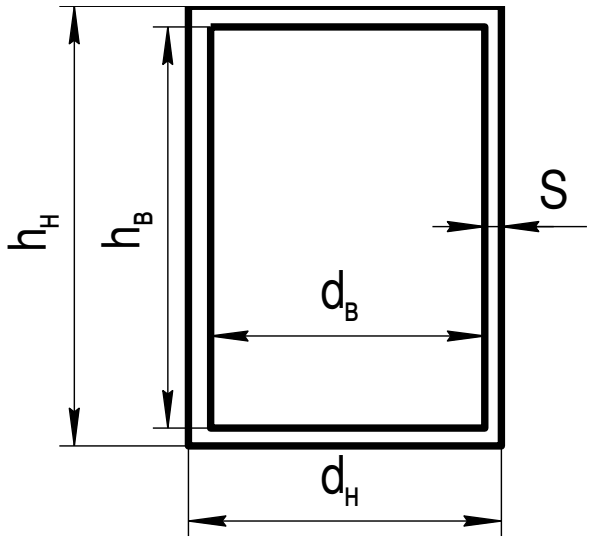
Рассмотрим расчет прочности картонного барабана (рисунок 8.2).

Сжимающие усилия, Н, которые должен выдерживать барабан, рассчитывают по формуле

$$P_{сж.б} = \frac{K_з \cdot g \cdot Q \cdot (H - h_н)}{h_н}\,, \tag{8.7}$$

где $h_н$ – наружная высота барабана, м;

Q – масса груза (массой тары пренебрегают), кг.



$d_в$, $d_н$ – внутренний и наружный диаметр барабана соответственно;
$h_в$, $h_н$ – внутренняя и наружная высота барабана соответственно;
S – толщина стенки барабана

Рисунок 8.2 – Картонный барабан

Массу груза, кг, в барабане определяют по формуле

$$Q = 0{,}25 \cdot \pi \cdot d_в^2 \cdot h_в \cdot \rho_0, \qquad (8.8)$$

где $d_в$ – внутренний диаметр барабана, м;
$h_в$ – внутренняя высота барабана, м;
$\rho_о$ – объемная масса груза (плотность), кг/м^3.

Подставляя формулу (8.8) в (8.7) и допуская $H >> h_н$ и $h_в \approx h_н$, получим

$$P_{сж.б} = 0{,}25 \cdot K_з \cdot g \cdot \pi \cdot d_в^2 \cdot \rho_0 \cdot H. \qquad (8.9)$$

Сопротивление сжатию барабана определяется по формуле

$$P_{сж.б}^{сопр} = K_{кл} \cdot \pi \cdot d_в \cdot \mu \cdot n, \qquad (8.10)$$

где $K_{кл}$ – коэффициент, учитывающий жесткость клеевого слоя;
μ – жесткость барабана по кольцу, Н/мм;
n – количество слоев картона.

Задачи

Пример решения задачи

Определить высоту складирования картонных коробок массой 28 кг, размерами 400 × 300 × 200 мм. Толщина картона 2,4 мм, марка картона Т3, продолжительность хранения в штабеле 28 суток.

Решение

Для того чтобы коробка, находящаяся в нижнем ряду штабеля, не деформировалась под весом верхних коробок, ее сопротивление сжатию $P_{сж}^{сопр}$ должно быть больше или равно сжимающему усилию верхних коробок $P_{сж}$. Максимальную высоту складирования можно определить из условия $P_{сж}^{сопр} = P_{сж}$, $P_т = 3$ Н/мм (см. таблицу 8.1), $К_з = 1,6$.

Высоту складирования получим из формулы (8.5):

$$H = \frac{h \cdot P_{сж}}{(К_з \cdot g \cdot Q) + h}. \qquad . \qquad (8.11)$$

Сжимающее усилие – по формуле (8.6):

$$P_{сж} = P_{сж}^{сопр} = 2,55 \cdot 3 \cdot \sqrt{2,4 \cdot 1400} = 443 \text{ Н/мм}.$$

Высота складирования

$$H = 200 \cdot 443/(28 \cdot 9,8 \cdot 1,6) + 200 = 400 \text{ мм} = 0,4 \text{ м}.$$

Количество коробок в штабеле

$$n_я = \frac{400}{200} = 2 \text{ коробки}.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 8.1

Определить массу груза и сжимающее усилие на барабан, если толщина дна барабана 4 мм, крышки и стенки – 3 мм. Наружный диаметр барабана равен 320 мм, наружная высота 360 мм, плотность груза 0,72 т/м^3 (720 кг/м^3). Барабаны находятся в штабелях 10 суток, высота штабеля 3 м.

Задача 8.2

Определить внутренний диаметр барабана, если плотность груза 0,85 т/м^3 (850 кг/м^3), жесткость картона по кольцу 1,2 Н/мм ($1,2 \cdot 10^3$ Н/м), коэффициент жесткости клеевого слоя $К_{кл} = 1,1$, высота штабеля 2,8 м, количество слоев картона n = 3, время хранения барабанов в штабеле 20 суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Владение методами и практикой лабораторного и практического анализа эксплуатационных материалов позволит решать вопросы их рационального применения при эксплуатации и ремонте автомобильного транспорта, а также наземных транспортно-технологических средств с учетом качественных показателей самих материалов и условий работы машин.

Вместе с тем следует отметить, что рассмотренные в практикуме лабораторные и практические занятия посвящены исследованию эксплуатационных свойств топлива, масел и пластичных смазок, получаемых из нефти. В настоящее время быстро развиваются и внедряются новые технологии производства эксплуатационных материалов на другой основе (например, из растительных масел, биомассы и др.), а также новые методы анализа их эксплуатационных свойств (как, например, электронный экспресс-анализ и др.). Поэтому по мере широкого внедрения данных технологий и методов необходимым будет вносить изменения в тематику и содержание лабораторных работ, что потребует обновления как методик, так и лабораторного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: учеб. для вузов / Л.С. Васильева. – М.: Наука-Пресс, 2003. – 421 с.
2. Кузнецов А.В. Топливо и смазочные материалы / А.В. Кузнецов. – М.: КолосС, 2004. – 199 с.
3. Пономарев В.М. Эксплуатационные материалы для автомобильного транспорта: учебное пособие / В.М. Пономарев. – Чайковский: Изд-во ЧТИ ИжГТУ, 2003. – 84 с.
4. Москвин Е.В. Эксплуатационные материалы: учебное пособие / Е.В. Москвин. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2005. – 204 с.
5. Васильева Л.С. Топлива, смазочные материалы и специальные жидкости: Показатели качества. Классификации. Ассортимент. Лабораторные работы: учебное пособие / Л.С. Васильева, Ю.В. Панов, А.А. Хазиев. – М.: Наука-Пресс, 2005. – 120 с.
6. Каня В.А. Автомобильные эксплуатационные материалы: курс лекций / В.А. Каня. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 192 с.
7. Стребков С.В. Применение топлива, смазочных материалов и технических жидкостей в агропромышленном комплексе: учебное пособие / С.В. Стребков, В.В. Стрельцов. – Белгород: Белгородская ГСХА, 1999. – 404 с.
8. Лышко Г.П. Топливо и смазочные материалы / Г.П. Лышко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
9. Итинская Н.И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям / Н.И. Итинская, Н.А. Кузнецов. – М.: Колос, 1982. – 208 с.
10. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Топливо, смазочные материалы и технические жидкости» / Сост. Е.М. Пироженко, А.М. Антипенко, Н.В. Гончарова, Л.И. Басенко. – Зерноград-Харьков: АЧИМСХ, 1986. – 63 с.
11. Определение качества моторных и трансмиссионных масел: методические указания к лабораторным работам / Н.В. Гончарова, В.И. Атанова. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2005. – 22 с.
12. Эксплуатационные материалы и экономия топливно-энергетических ресурсов: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов по специальности 230100 / В.П. Гилета, Б.А. Красильников, Х.М. Рахимянов. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 71 с.
13. Эксплуатационные материалы: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов по специальности 150200 / Сост. И.К. Никифоров, под ред. А.И. Федотова. – Улан-Удэ: ВСГТУ, 2001. – 12 с.
14. Эксплуатационные материалы: методические указания к выполнению лабораторных работ / Сост. В.И. Костенко. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 12 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Справочные материалы

Таблица А.1 – Значения средних температурных поправок нефтепродуктов

Плотность, кг/м^3	Температурная поправка γ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot °\text{C}}$	Плотность, кг/м^3	Температурная поправка γ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot °\text{C}}$
700–709	0,897	850–859	0,699
710–719	0,884	860–869	0,686
720–729	0,870	870–879	0,673
730–739	0,857	880–889	0,660
740–749	0,884	890–899	0,647
750–759	0,831	900–909	0,633
760–769	0,818	910–919	0,620
770–779	0,805	920–929	0,607
780–789	0,792	930–939	0,594
790–799	0,778	940–949	0,581
800–809	0,765	950–959	0,567
810–819	0,752	960–969	0,554
820–829	0,738	970–979	0,541
830–839	0,725	980–989	0,528
840–849	0,712	990–1000	0,515

Таблица А.2 – Перевод кинематической вязкости в условную

Санти-стоксы	Условные градусы	Санти-стоксы	Условные градусы	Санти-стоксы	Условные градусы
1,00	1,00	17,00	2,60	33,00	4,59
2,00	1,10	18,00	2,72	34,00	4,72
3,00	1,20	19,00	2,83	35,00	4.85
4,00	1,29	20,00	2,95	36,00	4,98
5,00	1,39	21,00	3,07	37,00	5,11
6,00	1,48	22,00	3,19	38,00	5,24
7,00	1,57	23,00	3,31	39,00	5,37
8,00	1,67	24,00	3,43	40,00	5,50
9,00	1,76	25,00	3,56	45,00	6,16
10,00	1,86	26,00	3,68	50,00	6,81
11,00	1,96	27,00	3,81	55,00	7,47
12,00	2,05	28,00	3,95	60,00	8,13
13,00	2,15	29,00	4,07	65,00	8,80
14,00	2,26	30,00	4,20	70,00	9,48
15,00	2,37	31,00	4,33	75,00	10,15
16,00	2,48	32,00	4,46		

Таблица А.3 – Бензины автомобильные. Общие технические требования. (ГОСТ Р 51313–99)

Показатель	Тип бензина			
	I	II	III	IV
Октановое число, не менее, определенное:				
исследовательским методом	80	91	95	98
моторным методом	76	–	–	–
Концентрация свинца, г/дм^3, не более, в бензине:				
неэтилированном	0,013	0,013	0,013	0,013
этилированном	0,17	–	–	–
Давление насыщенных паров, кПа	35–100	35–100	35–100	35–100
Фракционный состав				
Температура перегонки 90% бензина, ºС, не выше	190	190	190	190
Температура конца кипения, ºС, не выше	215	215	215	215
Остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5
Массовая доля серы, %, не более	0,1	0,05	0,05	0,05
Объемная доля бензола, %, не более	5	5	5	5

Таблица А.4 – Характеристика автомобильных бензинов (по ГОСТ 2084–77)

Показатель	А-76		АИ-91	АИ-93	АИ-95
	неэтили-рованный	этилиро-ванный	неэтилированные		
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
	Детонационная стойкость				
Октановое число, не менее, определенное:					
моторным методом	76	76	82,5	85	85
исследовательским методом	Не нормируется		91	93	95
Массовое содержание свинца, г/дм^3, не более	0,013	0,17	0,013	0,013	0,013
	Фракционный состав				
Температура начала перегонки бензина, °С, не ниже:					
летние сорта	35	35	35	35	30
зимние сорта		Не нормируется			

Окончание таблицы А.4

1	2	3	4	5	6
Температура перегонки 10% бензина, °С, не выше:					
летние сорта	70	70	70	70	75
зимние сорта	55	55	55	55	55
Температура перегонки 50% бензина, °С, не выше:					
летние сорта	115	115	115	115	120
зимние сорта	100	100	100	100	105
Температура перегонки 90% бензина, °С, не выше:					
летние сорта	180	180	180	180	180
зимние сорта	160	160	160	160	160
Температура конца кипения бензина, °С, не выше:					
летние сорта	195	195	205	205	205
зимние сорта	185	185	195	195	195
Остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Остаток и потери, %, не более	4	4	4	4	4
Давление насыщенных паров бензина, кПа:					
летнего сорта, не более	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
зимнего сорта	66,7–93,3	66,7–93,3	66,7–93,3	66,7–93,3	66,7–93,3
Кислотность, мг КОН в 100 $см^3$, не более	1,0	3,0	3,0	0,8	2,0
Содержание фактических смол, мг/100 $см^3$, не более:					
на месте производства	5	5	5	5	5
на месте потребления	10	10	10	10	10
Индукционный период на месте производства бензина, мин, не менее	1200	1200	900	1200	900
Массовая доля серы, %, не более	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Примечания: 1. Бензины выдерживают испытание на медной пластинке и не содержат водорастворимых кислот, щелочей, механических примесей и воды.
2. Плотность при 20 ºС не нормируется. Её обязательно надо определять.
3. Цвет этилированного бензина марки А-76 – желтый.

Таблица А.5 – Характеристика автомобильных бензинов (по ГОСТ 55105–97 – разработан с целью повышения качества бензина до уровня европейских стандартов)

Показатель	«Нормаль-80»	«Регуляр-91»	«Премиум-95»	«Супер-98»
Октановое число, не менее, определенное:				
моторным методом	76	82,5	85	88
исследовательским	80	91	95	98
Содержание свинца, г/дм^3, не более	0,01	0,01	0,01	0,01
Содержание марганца, мг/дм^3, не более	50	18	–	–
Содержание фактических смол, мг/100 дм^3, не более	5	5	5	5
Индукционный период бензина, не менее	360	360	360	360
Массовая доля серы, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,05
Объемная доля бензола, %, не более	5	5	5	5
Примечание. Все бензины выдерживают испытание на медной пластинке.				

Таблица А.6 – Характеристика дизельного топлива разных марок (по ГОСТ 305–82)

Показатель	Л	З	А
Цетановое число, не менее	45	45	45
Температура перегонки, ºС, не выше:			
50% топлива	280	280	255
90% топлива	360	340	330
Кинематическая вязкость при 20 ºС, мм^2/с (сСт)	3–6	1,8–5	1,5–4
Температура застывания, ºС, не выше:			
для умеренной климатической зоны	-10	-35	–
для холодной зоны	–	-45	-55
Температура помутнения, ºС, не выше:			
для умеренной климатической зоны	-5	-25	–
для холодной зоны	–	-35	–
Температура вспышки в закрытом тигле для дизелей общего назначения, ºС, не ниже	40	35	30
Массовая доля серы, %, не более:			
в топливе вида I	0,2	0,2	0,2
в топливе вида II	0,5	0,5	0,4
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Содержание фактических смол, мг/100 см^3 топлива, не более	40	30	30

Окончание таблицы А.6

Показатель	Л	З	А
Кислотность, мг КОН/100см^3 топлива, не более	5	5	5
Коксуемость 10%-го остатка, %, не более	0,2	0,3	0,3
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3
Плотность при 20 ºС, кг/м^3, не более	860	840	830
Примечания: 1. Дизельные топлива не содержат водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды. 2. Все топлива выдерживают испытание на медной пластинке.			

Таблица А.7 – Основные показатели качества моторных масел, предназначенных для бензиновых двигателей (ГОСТ 10541–78)

Показатели	М-6з/12$Г_1$	М-5з/10$Г_1$	М-4з/6$В_1$	М-8В	М-6з/10В
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Вязкость кинематическая, мм^2/с при температуре:					
100 °С	≥12	10–11	5,5–6,5	7,5–8,5	9,5–10,5
0 °С	–	–	–	≤1200	–
-18 °С	≤10400	Не нормируется	1100-2600	Не нормируется	≤9000
-30 °С	–	–	≤11000	–	–
Индекс вязкости, не менее	115	120	125	93	120
Массовая доля, %, не более:					
механических примесей	0,015	0,015	0,02	0,015	0,02
воды	Следы				
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не ниже	210	200	165	207	190
застывания, не выше	-30	-38	-42	-25	-30
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м^2, не более	Отсутствие	Не нормируется	5,0	10,0	4,0
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	0,5	–	1,0	–	0,5
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	7,5	5,0	5,5	4,2	5,3
Плотность при 20 °С, кг/м^3, не более	900	900	880	905	890
Массовая доля активных элементов, %, не менее:					
кальция	0,23	0,20	–	0,16	–
цинка	0,10	0,12	–	0,09	–
фосфора	–	–	–	0,09	–

Таблица А.8 – Основные показатели качества моторных масел для дизельных двигателей

Показатели	М-8$В_2$	М-10$В_2$	М-8$Г_2$	М-10$Г_2$	М-8$Г_2$К	М-10$Г_2$К	М-8$Г_2$У
Вязкость кинематическая, мм^2/с, при температуре:							
100 °С	8 ±0,5	11 ± 0,5	8 ±0,5	11 ±0,5	8 ±0,5	11 ± 0,5	8,0-9,0
0 °С, не более	1200	–	1200	–	1200	–	–
-12 °С, не более	–	–	–	–	–	–	4000
-18 °С, не более	–	–	–	–	–	–	–
Индекс вязкости, не менее	85	85	85	85	95	90	95
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	3,5	3,5	6,0	6,0	6,0	6,0	7,5
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не ниже	200	205	200	205	210	220	210
застывания, не выше	-25	-15	-25	-15	-30	-18	-30
Плотность при 20 °С, кг/м^3, не более	905	905	905	905	905	900	905
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,015	0,015	–	–	–	–	–
Массовая доля активных элементов, %, не менее:							
кальция	0,08	0,08	0,15	0,15	0,19	0,19	0,3
бария	0,18	0,18	0,45	0,45	–	–	–
цинка	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,1
фосфора	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05

Окончание таблицы А.8

Показатели	М-10$Г_2$У	М-8ДМ	М-10ДМ	М-14ДМ	М-6з/14ДМ	М-5з/10ДМ
Вязкость кинематическая, $мм^2/с$, при температуре:						
100 °С	11,0-12,0	8,0-8,5	≥ 11,4	14,0-15,0	14,0-15,0	9,5-11,5
0 °С, не более	–	–	–	–	–	–
-12 °С, не более	–	4000	–	–	–	–
-18 °С, не более	–	–	–	–	10400	6000
Индекс вязкости, не менее	90	102	90	90	120	115
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	7,5	8,5	8,2	8,0	9,0	9,0
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не ниже	225	195	220	230	210	200
застывания, не выше	-15	-30	-18	-15	-30	-40
Плотность при 20 °С, $кг/м^3$, не более	905	897	905	–	–	–
Массовая доля механических примесей, %, не более	–	0,02	0,025	0,02	0,02	0,015
Массовая доля активных элементов, %, не менее:						
кальция	0,3	–	0,15	0,35	0,35	–
бария	–	–	–	–	–	–
цинка	0,1	–	0,04	0,07	0,09	–
фосфора	0,05	–	–	–	–	–

Таблица А.9 – Плотность и температура замерзания смесей технического этиленгликоля и воды

Концентрация этиленгликоля, %	Плотность, кг/м^3	Температура замерзания, °С	Концентрация этиленгликоля, %	Плотность, кг/м^3	Температура замерзания, °С
26,4	1034,0	–10	65,3	1085,5	–65
27,2	1037,6	–12	65,6	1086,0	–66
29,6	1041,0	–14	66,0	1086,3	–67
32,0	1044,3	–16	66,3	1086,6	–68
34,2	1048,0	–18	68,5	1088,8	–66
36,4	1050,6	–20	69,6	1090,0	–64
38,4	1053,3	–22	70,8	1091,0	–62
40,4	1056,0	–24	72,1	1092,3	–60
42,2	1058,6	–26	73,3	1093,7	–58
44,0	1060,6	–28	74,5	1094,7	–56
45,6	1062,7	–30	75,8	1096,0	–54
47,0	1064,3	–32	77,0	1097,3	–52
48,2	1066,3	–34	78,4	1098,3	–50
49,6	1068,0	–36	79,6	1099,7	–48
51,0	1069,6	–38	81,2	1100,7	–46
52,6	1071,3	–40	82,5	1102,3	–44
53,6	1072,6	–42	83,9	1103,3	–42
54,6	1074,0	–44	85,4	1104,3	–40
55,6	1075,3	–46	86,9	1105,4	–38
56,8	1076,6	–48	88,4	1106,6	–36
58,0	1078,0	–50	90,0	1107,7	–30
59,1	1079,0	–52	91,5	1108,7	–36
60,2	1080,3	–54	93,0	1109,6	–34
61,2	1081,3	–56	94,4	1110,3	–32
62,2	1082,3	–58	95,0	1110,5	–28
63,1	1083,3	–60	95,5	1110,7	–27
64,0	1084,3	–62	96,4	1111,0	–24
64,8	1085,0	–64	97,0	1111,6	–22
			97,8	1112,0	–20

Таблица А.10 – Основные физические характеристики этиленгликоля и воды

Характеристики	Вода	Этиленгликоль
Молярная масса	18,01	62,07
Плотность при 20 °С, кг/см^3	998,2	1113
Температура замерзания, °С	0	–12
Температура кипения при 0,1 МПа, °С	100	197,7
Теплоемкость при 20 °С, кДж/(кг °С)	4,184	2,422
Коэффициент теплопроводности, кДж/(ч·м·°С)	2,179	0,955
Вязкость при 20 °С, мм^2/с	1,0	19–20
Теплота испарения, кДж/кг	2,258	0,800
Коэффициент объемного расширения (в диапазоне от 0 до 100 °С)	0,00046	0,00062

Таблица А.11 – Показатели качества антифризов по ГОСТ 28084–89

Наименование показателей	Норма для жидкости		
	ОЖ-К	ОЖ-65	ОЖ-40
1	2	3	4
1. Внешний вид	Прозрачная однородная окрашенная жидкость без механических примесей		
2. Плотность, г/см^3	1,100–1,150	1,085–1,100	1,065–1,085
4. Температура начала кристаллизации, °С, 5. не выше	Минус 35 °С при разбавлении дистиллированной водой в объемном соотношении 1:1	Минус 65 °С	Минус 40 °С
6. Фракционные данные: температура начала перегонки, °С, не ниже	100	100	100
массовая доля жидкости, перегоняемой до достижения температуры 150 °С, %, не более	5	40	50

Окончание таблицы А.11

1	2	3	4
5. Коррозионное воздействие на металлы, г/(м^2·сут), не более:			
медь, латунь, сталь, чугун, алюминий	0,1 при разбавлении солевым раствором в объемном соотношении 1:1	0,1	0,1
припой	0,2 при разбавлении солевым раствором в объемном соотношении 1:1	0,2	0,2
6. Вспениваемость: объем пены, см^3, не более	30 при разбавлении раствором хлористого цинка в объемном соотношении 1:1	30	30
устойчивость пены, с, не более	5 при разбавлении раствором хлористого цинка в объемном соотношении 1:1	3	3
7. Набухание резин, %, не более	5 при разбавлении дистиллированной водой в объемном соотношении 1:1	5	4
8. Водородный показатель (pH)	7,5–11,0 при разбавлении дистиллированной водой в объемном соотношении 1:1	7,5–11,0	7,5–11,0
9. Щелочность, не менее	10	10	10

Таблица А.12 – Основные показатели и область применения пластичных антифрикционных смазок

Наименование смазки, стандарт изготовления	Показатель					Температурный предел применимости		Область и особенности применения
	Цвет	Температура каплепадения	Вязкость при 0 °С, Па·с	Предел прочности на сдвиг при 50 °С, Па	Пенетрация при 25 °С с перемешиванием	нижний	верхний	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Солидол синтетический ГОСТ 4366-76	Коричневый	–	100	98	310–350	–50	65	Солидол синтетический и жировой – универсальные взаимозаменяемые смазки для деталей и узлов тракторов, комбайнов, сельскохозяйственных машин и оборудования животноводческих ферм, станочного и производственного оборудования, открытых зубчатых, цепных передач и т.д. Обладают хорошей водостойкостью
Пресс-солидол С		–	200	196	260–310	–50	65	
Солидол С								
Солидол жировой ГОСТ 1033–79	От светлого до коричневого	75	100	98	не нормируется	–25	65	Пресс-солидол С и Ж рекомендуются для заправки в узлы трения при помощи ручных солидолонагнетателей при температуре ниже –20 °С
Солидол Ж		75	250	196		–25	65	

Продолжение таблицы А.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Смазка автомобильная ГОСТ 9432–60 (ЯНЗ-2)	От светло-желтого до темно-коричневого	150	200	180	не нормируется	–15	100	Тугоплавкая смазка для смазывания подшипников качения, водяного насоса, карданных соединений, электродвигателей и др., водостойкость низкая
Смазка жировая 1–13 ГОСТ 1631–61	От светло-коричневого до коричневого	120	500	147	не нормируется	–25	90	Так же, что и для смазки ЯНЗ-2, низкая водостойкость
Универсальная тугоплавкая смазка консталин ГОСТ 1957–73: конста-лин-1 конста-лин-2	От светло-желтого до темно-коричневого	130 150	– –	– –	225–275 175–225	0 0	110 110	Так же, что и для смазки ЯНЗ-2 и 1–13, низкая водостойкость
Смазка графитная ГОСТ 3333–80	От темно-коричневого до черного	77	–	–	250	–20	65	Смазывание открытых шестерен и рессор автомобилей, строительных и других машин, подвески тракторов, тросов, резьб домкратов и других тяжелонагруженных узлов при высоких скоростях скольжения

Окончание таблицы А.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Смазка ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267–74	От светло-желтого до светло-коричневого	175	11999 при -50 °С	245–490	не нормируется	–60	90	Смазывание подшипников качения и скольжения, шарниров, направляющих станков, подвижных сопряжений, зубчатых и червячных передач в приборах, в узлах трения электрооборудования автомобилей и тракторов
Литол-24 ГОСТ 2150–75	От светло-желтого до коричневого	180	2800	440	220–250	–40	120	Универсальная смазка для смазывания узлов трения автомобилей и тракторов, где рекомендуются солидолы, констелины, 1–13 и ЯНЗ-2
Смазка № 158 ТУ 38–101–320–72	Темно-синий	125	–	300	не нормируется	–40	100	Смазка подшипников генераторов, автомобилей и тракторов, электродвигателей, работающих с невысоким усилием сдвига

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

Ответ к задаче 1.1: Общая жесткость 3,64 мг-экв/л, щелочность 1,457 мг-экв/л. Вода средней жесткости, перед использованием ее нужно умягчить.

Ответ к задаче 1.2: Общая жесткость 6,81 мг-экв/л, карбонатная жесткость 3,77 мг-экв/л. Вода средней жесткости.

Ответ к задаче 2.1: 91,5 кг.

Ответ к задаче 2.2: Количество воздуха 334 кг.

Ответ к задаче 3.1: $Q_{низ}$ = 10251,7 ккал/кг, а $Q_{раб.смеси}$ = 661,4 ккал/кг.

Ответ к задаче 3.2: $Q_{гор.смеси}$ = 10255,1 кДж/кг.

Ответ к задаче 3.3: $Q_{гор.смеси}$ = 4909,12 ккал.

Ответ к задаче 4.1: $L_{действ}$ = 281 кг.

Ответ к задаче 4.2: $L_{действ}$ = 303,1 кг.

Ответ к задаче 4.3: $Q_{выс}$ = 10524,3 ккал/кг, $Q_{низ}$ = 9926,6 ккал/кг, $L_{действ}$ = 18,3 кг/кг, цетановое число равно 50 единицам.

Ответ к задаче 5.1: Газ сжиженный – пропан технический, $L_{теор}$ = 20,23 м^3/м^3, $Q_{низ}^{сух\ газ}$ = 14014 ккал/м^3.

Ответ к задаче 5.2: $Q_{низ}^{сух\ газ}$ = 1410 ккал/нм^3; $L_{теор}^{газ}$ = 1,09 м^3/м^3. Газ низкокалорийный генераторный (смешанный).

Ответ к задаче 5.3: Газ природный; $Q_{низ}^{сух\ газ}$ = 41203 ккал/м^3; $L_{теор}^{газ}$ = 8,75 м^3/м^3.

Ответ к задаче 6.1: A^p = 6,76 %; C^p = 44,6 %, H^p = 3,72 %, O^p = 21,11 %, S^p = 0,81 %.

Ответ к задаче 6.2: $Q_{выс}^p$ = 3779 ккал/кг; $Q_{низ}^p$ = 3644 ккал/кг.

Ответ к задаче 6.3: $W^p = 30,3\%$; $C^p = 32,31\%$; $H^p = 4,25\%$, $S^p = 0,42\%$; $O^p = 22,1\%$; $A^p = 10,62\%$; $Q^p_{низ} = 2907$ ккал/кг.

Ответ к задаче 6.4: 1451 ккал/кг.

Ответ к задаче 6.5: $Q^p_{низ}$ при W=33% составило 2652 ккал/кг; а $Q^{p1}_{низ}$ при W=56% – 1742 ккал/кг.

Ответ к задаче 6.6: $Q^p_{низ}$ при W=42% составило 2586 ккал/кг; а $Q^{p1}_{низ}$ при W=20% – 3580 ккал/кг. Теплота сгорания изменилась примерно на 1000 ккал/кг.

Ответ к задаче 6.7: $Q^p_{низ} = 6184$ ккал/кг; $L_{теор} = 8,88$ кг/кг.

Ответ к задаче 6.8: Теплота сгорания увеличилась на 1090,5 ккал/кг.

Ответ к задаче 7.1: $\nu_0 = 1200$ сСт; $\nu_{-10} = 3500$ сСт.

Ответ к задаче 7.2: Вязкостно-температурная кривая более пологая у первого масла, следовательно, оно более пригодно для эксплуатации в зимнее время. ИВ первого масла около 30, второго – 85.

Ответ к задаче 7.3: Моторное масло марки М-$5_з$/10-$Г_1$.

Ответ к задаче 8.1: Масса груза $Q = 19,7$ кг.

Ответ к задаче 8.2: Внутренний диаметр барабана $d_в = 424,5$ мм.

Учебное издание

Каплунов Алексей Николаевич
кандидат технических наук, доцент

Шевырев Леонид Юрьевич
кандидат технических наук, доцент

Аванесян Андрей Михайлович
преподаватель 1 категории
Донского технико-технологического колледжа

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Практикум

Редактор Н.П. Лучинкина
Верстка Н.В. Гвоздик
Художественный редактор С.П. Вдовикина

Подписано в печать 12.05.2025 г.
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 7,0. Тираж 50 экз. Заказ № 9.

Отдел информационных технологий и издательской деятельности
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Советская, 15.