# ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ» РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

### В.П. ШКАЛИКОВА

# СОВРЕМЕННЫЕ ТРАДИЦИОННЫЕ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВС И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Учебное пособие

### Введение

Прошлое и начало нынешнего столетия характеризуются глобальной зависимостью человечества от запаса углеводородных топлив (энергоносителей), таких как нефть, природный газ, каменный уголь, торф и другие виды сырья, которые могут служить источником производства энергии для нужд народного хозяйства.

Все ресурсы углеводородов делятся на возобновляемые и невозобновляемые. На рис. 1.1 представлена схема основных связей в большой системе «энергетика» [5]. Эта схема является примерным энергобалансом, включающим баланс добычи, переработки, транспортирования, преобразования, распределения и потребления всех видов энергетических ресурсов и энергии в народном хозяйстве, осуществимых в настоящее время. Однако к невозобновляемым источникам сырья следует также отнести: метан подземных вод, газогидраты, космические ресурсы углеводородов (метан в атмосфере внешних планет) [5].

Нетрадиционное возобновляемое сырье представляет собой органическое вещество сточных вод и сельскохозяйственных отходов (биогаз). Освоение нетрадиционных видов минерального сырья является межведомственной проблемой, так как нефтедобывающая промышленность является лишь поставщиком первичного сырья, добываемого из недр: нефти, нефтяного попутного газа, пластовых вод. Перечисленные виды энергетических ресурсов дают представление о реальных ресурсах планеты, доступных для использования на современных энергетических установках.

Топливно-энергетический комплекс (ТЭК) является общеэнергетической системой энергетики, представляющей совокупность энергетических ресурсов всех видов, предприятий по добыче и их производству, транспортированию, преобразованию, распределению и использованию, обеспечивающей снабжение потребителей различными видами энергии (электрической, тепловой, механической) [5].

Однако производство топлив для ДВС (топливный баланс) определяется системой показателей, отражающих общий объем производства и потребления всех видов топливных ресурсов (нефть с газовым конденсатом, природный и попутный газ, уголь, торф, сланцы, дрова и прочие виды топлива).

В настоящее время производство моторных топлив из нефти превышает 50% всей добычи нефти. Доля светлых нефтепродуктов при ее переработке достигает 95–98% (США) и 70% (Россия). Кроме того, 50% дизельной фракции с пределами отгонки 120–240°С отбирается на производство топлив для реактивной авиации.

В связи с бурным ростом автомобильной промышленности обеспечение двигателей нефтяным топливом (бензинами и дизельным топливом) становится все более

проблематичным. Однако все автотракторные ДВС, производимые в России и во всем мире, ориентированы на эксплуатацию на традиционном нефтяном топливе. Расширение ресурсов нефтяных топлив для ДВС существующих конструкций связано с применением альтернативного топлива разного вида и вырабатываемого не только из нефти и газа, но и получаемого в разных производствах нефтехимической промышленности как побочные продукты, способные сгорать в условиях работы ДВС, как бензиновых двигателей, так и дизелей.

В данной работе рассмотрены все известные топлива, а также <u>альтернативн</u>ые топлива, вырабатываемые из природного газа, попутного газа и из метанола — при дальнейшей его переработке для получения простых и сложных спиртов и эфиров, а также продукты, произведенные в других химических процессах и получившие известность по литературным данным.

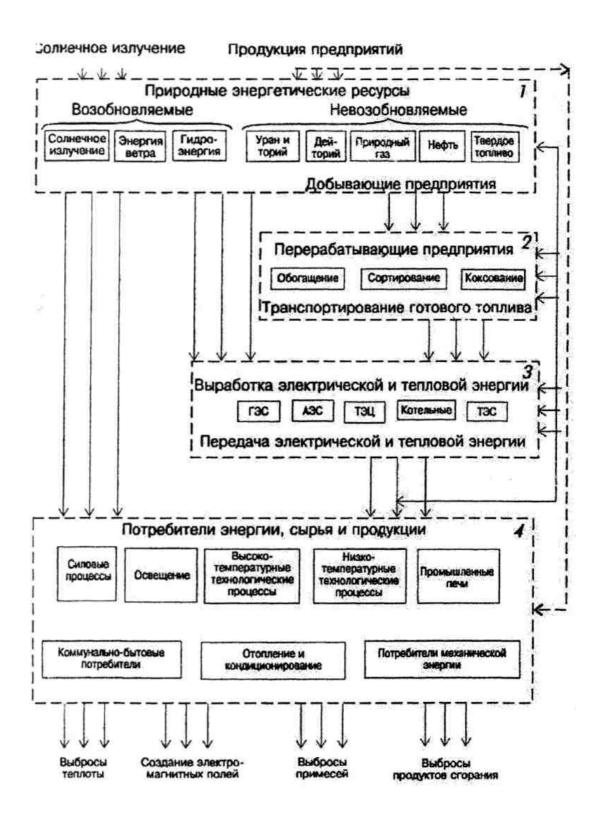


Рис.1.1. Схема основных связей в большой системе «энергетика» [5]

<u>Альтернативн</u>ые топлива, рассматриваемые в данном пособии, при сравнении их с показателями качества традиционных топлив анализируются на предмет полной или частичной их замены в ДВС существующих конструкций. По сравнительному анализу

дается предполагаемое протекание рабочего процесса, его влияние на экономичность и эффективность работы двигателя, токсичность, а также дымность, если это дизель.

Кроме того, анализируется способ подачи <u>альтернативн</u>ого топлива в двигатель, если компоненты <u>смесевого топлива</u>, состоящего из <u>традиционного</u> и <u>альтернативн</u>ого топлив, не смешиваются совсем или только частично. Ряд других характеристик, например связанных с пуском ДВС, также рассматриваются как для летних, так и для зимних сортов топлив. Для более полного анализа в главе 1 кратко освещаются свойства нефтяных топлив, их производство и <u>Показатели качества топлив</u>.

Международная ассоциация по стандартизации (ИСО) представляет классификацию нефтяных топлив класса F пяти групп (таблица ИСО).

В таблице ИСО представлена классификация нефтяных топлив класса F по ГОСТ 28577.0-90 (ИСО 8216-0-86). В зависимости от типа топлива в класс F включены нефтепродукты пяти групп: G, L, D, R, C. Продукты обозначены символом, состоящим из нескольких букв. Например, ИСО-F-DST2, где ИСО обозначает «Международная ассоциация по стандартизации»; F — класс для топлив; аббревиатура DST означает категорию топлива; цифра 2 указывает на особое свойство топлива. ИСО-F-DST2 можно записать кратко:

Таблица 1.1

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

Классификация нефтяных топлив (класс F) [4, с.9-10]

По ИСО определяют следующие свойства моторных топлив:

- 1. Фракционный состав бензинов ГОСТ 2177-99 (ИСО 3405-88).
- 2. Давление насыщенных паров по методу Рейда (ГОСТ 1756-2000; ИСО 3007-99).
  - 3. Определение фактических смол в топливе (ГОСТ 1567-97; ИСО 6246-95).
  - 4. Испытания на медной пластинке (ГОСТ 6321-92; ИСО 2160).
  - 5. Коксуемость дизельного топлива (ГОСТ 19932-99; ИСО 6615).
- 6. Температура помутнения, начало кристаллизации (ГОСТ 5066-91; ИСО 3013-74).

#### Глава 1

## Нефть и методы ее переработки

### 1.1. Состав и свойства нефти

Основным источником для производства традиционных топлив и смазочных материалов является нефть. От свойств нефти, ее состава и методов переработки зависят эксплуатационные свойства моторных топлив и масел.

Нефть представляет собой маслянистую жидкость, состоящую из трех классов углеводородов различного строения, разнообразных физических и химических свойств, с резким специфическим запахом, как правило, темно-коричне-вого цвета. Плотность нефти колеблется в различных месторождениях примерно от 730 до 1000 кг/м³. Температура застывания зависит от количества тяжелых углеводородов и их молекулярного состава: чем эти показатели больше, тем выше температура застывания и температура кипения, а также плотность и вязкость. Теплота сгорания зависит от соотношения в нефти водорода и углерода (H:C); чем выше соотношение H:C, тем больше теплота сгорания, а в среднем она составляет 43,2–45,7 МДж/кг. По основным элементам состав нефти следующий: 85–87% углерода и 12–14% водорода. Примеси в нефти: кислородосодержащие соединения — 0,1–0,3%; сера и сульфидные соединения — 0,01–5(7)%; азотистые соединения — 0,2–1,7% и другие элементы в незначительных количествах.

В состав нефти входят углеводороды трех классов: парафиновые (алканы), нафтеновые (цикланы), ароматические (арены). В процессе переработки нефти образуются непредельные углеводороды, иногда в больших количествах, они нежелательны в топливе, так как при сгорании образуют нагар на деталях двигателя и топливной аппаратуры дизелей, что ухудшает эксплуатационные характеристики двигателя.

Подробное рассмотрение свойств всех классов углеводородов необходимо, так как их свойства влияют на рабочий процесс двигателя. Рассмотрение свойств альтернативных топлив при замене традиционного топлива требуется для анализа предполагаемого рабочего процесса при работе в двигателе существующей конструкции на новом топливе.

Парафиновые углеводороды имеют формулу  $C_nH_{2n+2}$ , и все газы от метана до бутана относятся к этому классу углеводородов. Углеводороды с содержанием углерода в молекуле от 5 до 15, т.е. от  $C_5H_{12}$  до  $C_{15}H_{32}$  — жидкости, а с 16 атомов углеводорода и выше — твердые вещества, растворенные, как и газы, в жидкой

части нефти. Парафиновые углеводороды имеют цепочное строение (нормальные парафины), на концах которого располагаются метильные группы ( $CH_3$ ), наиболее стойкие при окислении данного углеводорода. Например, н-бутан ( $C_4H_{10}$ ) имеет нормальную цепочку  $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ .

Изомерные парафины имеют ту же химическую формулу, но другое пространственное расположение атомов, и поэтому разные физические и химические свойства.

Изобутан,

$$C_4H_{10} \rightarrow CH_3 - CH - CH_3.$$

|
 $CH_3$ 

Изомерия является основной причиной огромного числа органических соединений. Изомеры одинаковой химической формулы имеют более низкие температуры кипения и плавления. В присутствии кислорода при увеличении температуры их реакционная способность повышается медленнее, а при температурах более 200–250°C они устойчивее

к окислению, чем Н-парафины. Это обстоятельство влияет на их детонационную устойчивость и делает их присутствие в высокооктавном бензине желательным, так как воспламенение их происходит при более высокой температуре принудительно от искры свечи зажигания. Н-парафины при тех же температурах уже начали бы окисляться, создавая очаги детонационной неустойчивости.

В дизельном топливе для высокооборотных дизелей более желательны нпарафины с числом атомов углерода от 14 до 20, так как они легко окисляются и снижают при этом период задержки воспламенения (ПЗВ) при повышенных степенях сжатия, т.е. имеют высокое цетановое число, обеспечивая надежную самовоспламеняемость паров дизельного топлива и плавное нарастание давления по углу поворота коленчатого вала (dp/dф). Однако в зимних сортах дизельного топлива н-парафины не желательны, так как у них высокие температуры плавления (застывания).

Наиболее высокое содержание н-парафинов (до 40–60%) находится во фракциях, выкипающих до 150°С (газовый бензин), который добавляется в моторное топливо для улучшения запуска двигателя и всегда входит в состав пусковых жидкостей.

При нормальных условиях парафиновые углеводороды слабо реагируют с кислородом воздуха, не способны к реакциям присоединения, а только к реакциям замещения. Моторные топлива и масла с повышенным содержанием н-парафинов обладают высокой стабильностью. Температура кипения, плотность,

вязкость парафиновых углеводородов повышаются с увеличением молекулярной массы, но она не велика по сравнению с другими углеводородами одинаковой молекулярной массы и меньше зависит от температуры.

Нафтеновые углеводороды (цикланы) имеют циклическое строение с пятью (циклопентан) и шестью (циклогексан) атомами углерода в цикле общей формулы  $C_nH_{2n}$ :

#### моноциклопентан моноциклогексан

Изомеры нафтеновых углеводородов могут иметь парафиновые цепочки разной длины и расположения; чем длиннее такая цепочка, тем больше способность цепочки приближаться к свойствам парафиновых углеводородов, таким как температура застывания, повышение цетанового числа и др. Наличие цикла в молекуле нафтенов обусловливает их химическую стойкость к окислению.

Бициклические углеводороды, состоящие из двух монопентанов или моноцикланов, и их изомеры находятся в более тяжелых дизельных и масляных фракциях.

Температура кипения нафтеновых углеводородов с пятичленным моноциклом ниже температуры кипения нафтенового углеводорода с шестичленным моноциклом. Изомеризация также снижает температуру кипения.

Нафтеновые моноциклические углеводороды по своим химическим свойствам соответствуют условиям работы в бензиновом двигателе с принудительным зажиганием. Они отвечают требованиям, предъявляемым к дизельным топливам зимних и арктических сортов вследствие более низкой температуры плавления, чем у парафиновых углеводородов, и достаточной химической активности при высоких температурах такта сжатия дизеля.

Ароматические углеводороды формулы  $C_nH_{2n-6}$  имеют в своей молекуле бензольное кольцо  $C_6H_6$ , в котором между атомами углерода чередуются двойные и одинарные связи (бензол):

В легких фракциях нефти содержатся монобензольные кольца с одной или несколькими боковыми цепями; количество и расположение их образуют изомеры.

бициклические более тяжелых фракциях нефти содержатся И полициклические ароматические соединения типа нафталина, антрацена производных. Во всех фракциях, идущих в производство моторных топлив, эти ароматические углеводороды не применяются вследствие большой химической устойчивости. Они недоокисляются и переходят в нагары, что особенно плохо отражается на работе дизеля, так как эти нагары, отлагаясь на игле форсунки, вызывают ее зависание и подтекание топлива в камеру сгорания дизеля. Нагар на стенках сопловых отверстий форсунки искривляет топливный факел, влияя на неполноту сгорания топлива, что увеличивает расход топлива в дизеле и неустойчивую работу его.

В бензиновом двигателе моноциклические углеводороды с короткими боковыми цепями из-за их термической устойчивости повышают детонационную стойкость бензина вследствие увеличения октанового числа и воспламеняются только в момент действия свечи зажигания. В дизелях же эти ароматические углеводороды тормозят предпламенные реакции окисления, т.е. затрудняется самовоспламенение.

Расширение ресурсов дизельных топлив не позволяет использовать в них только парафиновые и нафтеновые гомологи. Образующийся в процессе каталитического крекинга солярового дистиллята вторичный продукт легкий газойль каталитического крекинга добавляется в моторное летнее дизельное топливо в количестве до 25% по объему. Такое дизельное топливо марки Л-0,5-40 рекомендуется использовать в двигателях грузовых машин, так как ароматические углеводороды имеют более высокие значения вязкости, плотности, температуры кипения, что затрудняет смесеобразование в дизеле. Это влияет на испаряемость порции впрыснутого через форсунки топлива, т.е. на «мелкость»

и вследствие этого увеличиваются период задержки воспламенения и эффективность рабочего цикла дизеля.

Для улучшения сгорания ароматических углеводородов в дизеле к топливу добавляют присадки на основе металлов K, Mg, Fe, Ca, Cu и другие.

В России из промоторов воспламенения для низкоцетановых топлив применяют органические нитраты, такие как изопропилнитрат и циклогексилнитрат. Действие данных промоторов воспламенения эффективно при низких цетановых числах [11, с.110].

Монобензольное кольцо (бензол), вступая в реакцию замещения, образует химически активные вещества: фенол ( $C_6H_5OH$ ), нитробензол ( $C_6H_5NO_2$ ), дифенил ( $C_6H_5$  —  $C_6H_5$ ), анилин ( $C_6H_5NH_2$ ), влияющие на коррозионную стойкость деталей двигателя. Чтобы

уменьшить коррозионную агрессивность данных веществ, ограничивают содержание бензола в бензиновых двигателях.

Ароматические углеводороды слабо реагируют на повышение температуры в дизеле при окислении. Для полного их сгорания нужны более высокие температуры и длительное время протекания процесса сгорания. В существующих конструкциях дизелей они чаще переходят в нагар вследствие недоокисления.

Во вторичных процессах образуется большое количество непредельных углеводородов, которые также переходят в нагар. Это явление часто вызывает неполадки в топливной аппаратуре дизеля (зависание игл форсунок, закоксовывание отверстий распылителей форсунок).

Непредельные углеводороды удаляют из топлива гидроочисткой.

В качестве агрессивных примесей в нефтях присутствуют элементарная сера, сероводород, меркаптановая сера, их строго ограничивают в топливах гидроочисткой; сульфидные соединения менее агрессивны, но влияют на увеличение токсичности отработавших газов, и их также удаляют из состава топлива гидроочисткой.

Кислородсодержащие вещества (нафтеновые кислоты) удаляются из топлива щелочной очисткой с последующей промывкой нефтепродукта водой.

Все присадки вводятся в топливо только после его очистки.

### 1.2. Методы переработки нефти

В связи с ростом автотракторного парка ДВС для обеспечения его моторными топливами и смазочными материалами необходимо расходовать более 90% добытой нефти на производство эксплуатационных материалов.

Надвигающийся кризис нефтедобычи потребовал в целях экономии нефтяных ресурсов применять более глубокие методы переработки нефти. Увеличение выхода светлых нефтепродуктов в настоящее время достигает 98% в США и около 70% в России.

На рис. 1.2 представлена принципиальная схема полной переработки нефти с утилизацией отходящих газов [11, с.11].

Нефть после извлечения из недр подвергается обезвоживанию, из нее удаляются соли органических (нафтеновых) кислот и растворенные в ней газы.

Первичным процессом переработки нефти на нефтепродукты является прямая перегонка нефти с разделением ее на фракции по температурам кипения (физический способ разделения нефти).

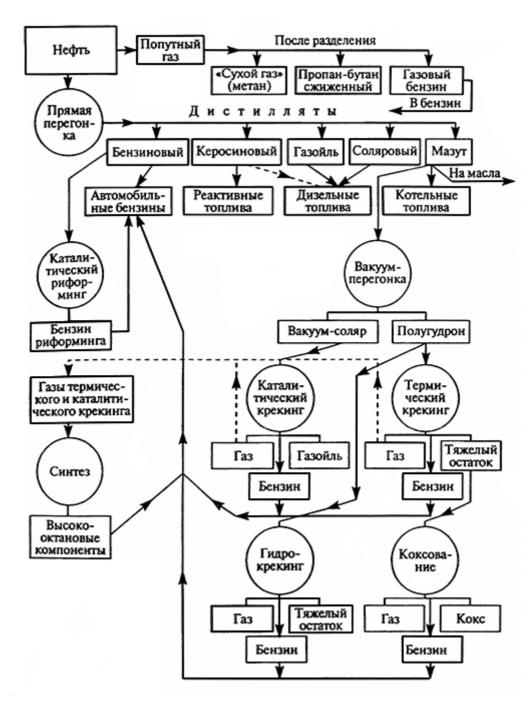


Рис. 1.2. Принципиальная схема полной переработки нефти с утилизацией отходящих газов [11, с. 11]

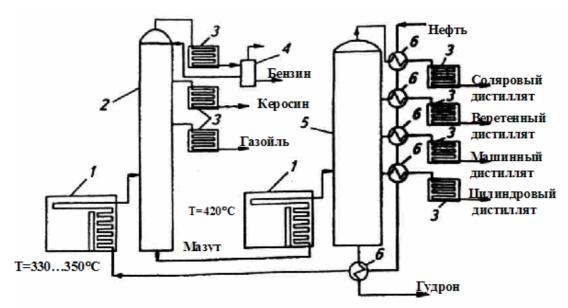


Рис. 1.3. Схема установки для прямой перегонки нефти [11, с. 12]

Схема установки для прямой перегонки нефти представлена на рис. 1.3. Нефть под давлением подается насосами в трубчатую печь 1, где она нагревается до температуры 350 °C, предварительно отбирая тепло в теплообменниках 6, снижающих температуру отходящих дистиллятов. Вместе с парами нагретая нефть подается в среднюю часть ректификационной колонны 2, где она вследствие снижения давления дополнительно испаряется. Колонна 2 состоит из набора плоских тарелок с многочисленными отверстиями. Если температура паров углеводородов равна или ниже температуры тарелки, то они конденсируются и стекают вниз, несконденсировавшиеся пары поднимаются вверх, пока их температура не сравняется с температурой тарелки, и так до самого верха колонны. Сконденсировавшаяся жидкость с тарелок отводится по температурам кипения от 35 до 205 °C (бензиновые фракции) через теплообменники и погружные холодильники 3; пары бензина отделяются в газоотделители 4; от 120 до 240 °C – керосиновые фракции (реактивное топливо); от 160 до 380°C – газойль (дизельные фракции). Внизу колонны собирается мазут. В зависимости от программы завода мазут может быть топливом для тепловых электростанций либо он снова нагревается в печи 1до 430 °C и подается в вакуумную ректификационную колонну, где разделяется по температурам кипения на соляровый дистиллят и масляные фракции: веретенный дистиллят, машинный дистиллят, цилиндровый дистиллят. Начиная с веретенного дистиллята, все дистилляты участвуют в приготовлении моторного масла (минерального) для ДВС. Внизу колонны собирается гудрон или полугудрон, который после очистки от смолистых веществ идет на приготовление остаточного высоковязкого масла (рафината и экстракта) для тяжелых установок стационарных и судовых дизелей.

Все тяжелые остатки после перегонки нефти могут быть подвергнуты гидрокрекингу, коксованию, пиролизу и другим процессам после их очистки от смолистых веществ и под давлением 20 МПа на катализаторах происходит образование светлых нефтепродуктов (бензинов, дизельного топлива). Тяжелые остатки нефти могут быть подвергнуты или коксованию, или пиролизу, или гидрокрекингу с получением светлых нефтепродуктов разного качества.

Бензин прямой перегонки на алюмоплатиновых катализаторах в процессе риформинга (платформинга) превращается в бензин с высокими октановыми числами.

Все нефтеперерабатывающие заводы начинают свою программу с первичной прямой переработки нефти при нормальном давлении и вакуумной переработке нефти при давлении 6–13 кПа. Дальнейшие вторичные процессы более углубленного разделения фракций на светлые нефтепродукты (бензин, дизельное топливо) осуществляются в специальных реакторах на катализаторах. В реакторах происходит химическое преобразование бензинового дистиллята, содержащего парафиновые углеводороды, в их изомеры; при отщеплении атомов водорода от парафиновых углеводородов образуются циклические нафтеновые углеводороды, и, наконец, моноотщепление атомов водорода от нафтеновых моноциклов приводит к образованию наиболее детонационно-устойчивых моноциклических ароматических углеводородов. Далее топливные дистилляты вторичных процессов подвергаются очистке от примесей серы, азота, кислых кислородсодержащих соединений.

#### Глава 2

### Современные автомобильные бензины

Бензиновый двигатель – это поршневой двигатель с внешним смесеобразованием и воспламенением от свечи зажигания. Главные качества бензина – его антидетонационное свойство и хорошая испаряемость.

Двигатели для легковых автомобилей от микро- до экстраклассов являются основными потребителями нефтяного топлива.

По прогнозам специалистов, к 2010 г. число автомобилей может достигнуть 1 млн экземпляров. Автомобильный парк России за последнее десятилетие увеличился в 1,7 раза, а доля иномарок в нем в 2000 г. достигла 15% и продолжает возрастать. Суммарное мировое потребление моторных топлив составляет около 1,75 млрд t/rod; на автомобильные бензины приходится более 800 млн t/rod [3].

Надежда на то, что автомобильное топливо сможет в ближайшее время вытеснить хотя бы малую часть нефтяных бензинов с рынка эксплуатации легковых автомобилей, не оправдалась. Причина заключается в том, что замена на <u>альтернативн</u>ое топливо хотя бы части бензина требует строительства заводов по их производству, а значит вложения огромных экономических средств и совершенствования конструкций как бензиновых, так и дизельных двигателей.

Что касается применения газообразного топлива в двигателях, то это вызывает трудности с его хранением как в газообразном, так и в жидкостном состоянии на борту транспортного средства. Из-за неразвитости инфраструктуры газонаполнительных станций двигатели, как дизели, так и бензиновые, оборудуются двойной системой

питания, что также усложняет их техническое обслуживание на автотранспортных предприятиях вследствие взрывоопасной утечки газов.

Сохраняется уверенность, что жидкое нефтяное топливо будет оставаться основным для ДВС всех назначений.

## 2.1. Современные автомобильные бензины из нефти

Структура автомобильного парка России определяет ассортимент и качество производимых бензинов, технические возможности нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, а также удовлетворяет экологическим требованиям, предъявляемым к составу отработавших газов (ОГ) современных двигателей.

Для существующих конструкций бензиновых двигателей показатели качества по ГОСТ 2084-77 представлены в таблице 2.1.

Особенно сильное загрязнение воздушного бассейна происходит в крупных мегаполисах, поэтому повышаются требования к качеству автомобильного бензина, а система выхлопа автомобиля оснащается обязательной установкой системы каталитической нейтрализации ОГ.

В нефтеперерабатывающей промышленности производство бензинов из нефти составляет более 50% объема данной отрасли, а практически весь легкий газовый конденсат идет на приготовление бензиновых фракций прямой перегонки и производство высокооктановых бензинов вторичных процессов.

Таблица 2.1

Показатели качества топлив автомобильных бензинов (ГОСТ 2084—77)

Поморожни	A-7	АИ-91	АИ-93	АИ-95	
Показатель	неэтилированный	этилированный	неэти	илирова	анные
Дето	онационная 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/дм³, не более	0,013	0,17	0,013	0,013	0,013

<u>Фракционный состав</u>								
Температура начала перегонки бензина,°С, не ниже:								
летние сорта	35	35	35	35	30			
зимние сорта	Не нормируется							
Температура перегонки 10% бензина,°С, не выше:								
летние сорта	70	70	70	70	75			
зимние сорта	55	55	55	55	55			

Продолжение табл.2.1

	A-7	АИ-91	АИ-93	АИ-95	
Показатель	неэтилированны й	этилированны й	неэти	ілиров	анные
Температура перегонки 50% бензина, °C, не выше:					
летние сорта	115	115	115	115	120
зимние сорта	100	100	100	100	105
Температура перегонки 90% бензина, °C, не выше:					
летние сорта	180	180	180	180	180
зимние сорта	160	160	160	160	160
Температура конца кипения бензина, °C, 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
зимние сорта	-	-	-	-	-

# Окончание табл.2.1

Показатель	Δ-76	АИ-91	АИ-93	ΔИ-95	
Hokusu Chb	A 70	771 71	AFI 33	AFI 33	

	неэтилированный	этилированный	неэтилированнь		
Кислотность, мг КОН в $100 \text{ см}^3$ , 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	900	900	1200	900
Массовая доля серы, %, не более	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

### Примечания:

- 1. Бензины всех марок выдерживают испытание на медной пластинке и не содержат водорастворимых кислот, щелочей, механических примесей и воды.
  - 2. Плотность при 20°С не нормируется. Ее обязательно надо определять.
    - 3. Цвет этилированного бензина марки А-76 желтый.

Повышение эффективности и экономичности бензиновых двигателей связано с усложнением их конструкций, вследствие повышения степени сжатия в цилиндре, частоты вращения и применения впрыска бензина вместо карбюрации, использование короткоходных шатунов и ряд других мероприятий. Обеспечение эффективности и экономичности работы бензиновых двигателей напрямую связано с составом бензина и применением продуктов вторичных процессов переработки нефти.

Наибольшим октановым числом среди классов углеводородов обладают ароматические углеводороды. Однако, как упоминалось выше, наличие бензольного кольца в ароматическом углеводороде требует более высокой температуры для его расщепления, которая достигается повышением степени сжатия двигателя или работе двигателя на полной нагрузке. В условиях городской езды это не осуществимо, так как интенсивность движения машин и наличие большого числа светофоров не позволяют выходить на данный режим работы двигателя.

Нефтеперерабатывающие заводы при производстве высокооктановых бензинов заменяют часть ароматических углеводородов оксигенатными топливами, производимыми

из простых спиртов, метилового СН₃ОН и этилового С₂Н₅ОН на катализаторах.

Ароматические углеводороды переходят в нагар и снижают качество нормального окисления, поэтому допускают их применение в составе бензина в количестве не более 40% и только моноциклического строения (с одним бензольным кольцом) с короткими боковыми цепями. Есть тенденция полностью их заменить оксигенатными топливами.

Высоким октановым числом обладают изомеры парафиновых углеводородов с числом атомов углерода в молеку-

ле не более 10–12. эталонным топливом при определении октановых чисел бензинов является изооктан формулы  $C_8H_{18}$ , имеющий 100 октавных условных единиц и н-гептан формулы  $C_7H_{16}$  нормального строения с октановым числом ноль октановых условных единиц.

В автомобильные бензины входят такие высокооктановые продукты вторичных процессов, как каталитический крекинг (бензины А-76, АИ-80, АИ-92), каталитический риформинг (платформинг) с более высокими показателями октановых чисел для бензинов АИ-95 и АИ-98. однако все высокооктановые бензины в пределах температур в камере сгорания от 50 до 100°С имеют сильное снижение детонационной стойкости, так как в данном интервале температур отсутствуют ароматические углеводороды, имеющие высокие октановые числа, но выкипающие при более высоких температурах. Поэтому в

данном интервале температур, чтобы соблюсти стабильность сгорания бензина без детонации, применяют углеводородные антидетонаторы типа метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) в количестве 7% об., а также этилтретбутиловый эфир (ЭТБЭ) и этилтретамиловый эфир (ЭТАЭ) в количестве до 8% об. и другие оксигенатные топлива.

На рис. 2.1 представлена схема переработки нефти для получения автомобильных бензинов с улучшенными свойствами, где в качестве антидетонатора применяют метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) и метилтретамиловый эфир вместо тетраэтилсвинца  $Pb(C_2H_5)_4$ .

Грузовые автомобили с внешним смесеобразованием работают только на газообразном топливе.

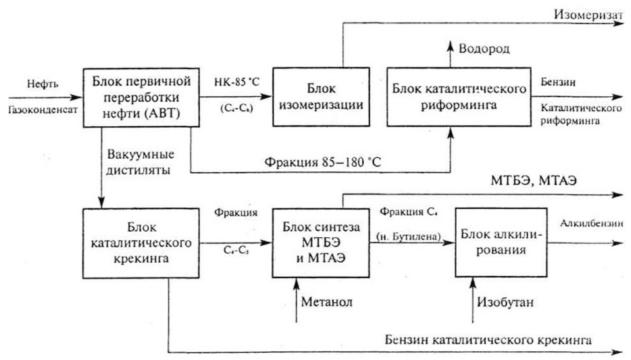


Рис. 2.1. Схема переработки нефти для получения автомобильных бензинов [3]

Ниже перечислены требования, предъявляемые к автомобильным бензинам.

Бензины должны:

- хорошо испаряться и образовывать горючую смесь с воздухом необходимого состава на всех режимах работы двигателя и в любых климатических условиях;
- иметь по возможности высокую теплоту сгорания и сгорать с нормальной скоростью без возникновения детонации на всех режимах работы двигателя и в любых климатических условиях;
- иметь минимальную склонность к образованию отложений как в топливной системе, так и в цилиндро-поршневой группе;
- продукты сгорания не должны быть токсичными и коррозионно-агрессивными;
- обеспечивать быстрый запуск двигателя без применения пусковых устройств и специальных жидкостей в средней полосе России и обладать хорошими низкотемпературными свойствами;
- не содержать механических примесей и воды.

#### 2.2. Краткие сведения о работе бензинового двигателя

Бензиновый двигатель работает по циклу Отто:

- 1) подача бензина осуществляется на такте впуска, как через карбюратор, так и впрыском через эжектор;
- 2) прогрев, испарение и перемешивание паров бензина с воздухом осуществляются на такте впуска, продолжаются на такте сжатия;
- 3) топливно-воздушная смесь воспламеняется принудительно в конце такта сжатия искрой, проскакивающей между центральным и боковым электродами свечи зажигания, создавая очаг воспламенения бензиновых паров;
- 4) пламя распространяется по всей камере сгорания от электродов свечи зажигания до стенок камеры сгорания. Полное сгорание продолжается в пределах 50–60 градусов поворота коленчатого вала вблизи верхней мертвой точки (ВМТ) и примерно 25–30 градусов до и после ВМТ;

5) от ВМТ до открытия выпускного клапана продолжается рабочий ход, когда энергия горящих газов через давление на поршень цилиндра двигателя передается потребите-лю – в данном случае на привод колес, если он предназначен для легкового автомобиля.

<u>Показатели качества топлив</u> современных новых бензинов для легковых автомобилей, отвечающих предъявляемым к ним требованиям, представлены в таблице 2.2.

Технические требования к автобензинам по ГОСТ Р 51105-97 и ГОСТ Р 51866-2002 [3]

Таблица 2.2

	ГОСТ Р 51105—97				ΓΟCT P 51866—2002				
Показатель качества	Нор- маль 80	Регу- ляр 92	Премиум- 95	Супер -98	Регуляр Евро-92	Премиум Евро-95	Супер Евро-98		
Октановое число, не менее: моторный метод	76,0	83,0	85,0	88,0	85,0	85,0	88,0		
исследовательский метод	80,0	92,0	95,0	98,0	95,0	95,0	98,0		
Содержание свинца, г/дм³, не более		0,010			0,005				
Содержание фактических смол, мг/100 см³, не более		5,0			5,0				
Индукционный период бензина, не менее			360		360				
Массовая доля серы, %, не более			0,05		0,015				
Объемная доля бензола, %, не более			5		1				
Испытание на медной пластинке	Выдерживает, класс 1			Выдерживает, класс 1 Класс 1					
Внешний вид	Чистый, прозрачный		Чистый, прозрачный						
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	700-750	725-780	725-780	700-750 725-780 725-780 725-780 720-775					

Примечание. все бензины неэтилированные. Дополнительное нормирование октанового числа по исследовательскому методу обеспечивает более высокое их качество. Фактическое значение бензина А-76, вырабатываемого по ГОСТ 2084—77, по исследовательскому методу находится в пределах АИ (74—82), что ниже в ряде случаев установленной нормы по ГОСТ Р 51105—97: АИ-80.

Бензины «Премиум-95» и «Супер-98» полностью отвечают европейским требованиям и предназначены в основном для импортных автомобилей.

Следует отметить, что в данных ГОСТах не указан фракционный состав бензинов, поскольку они предназначены для работы в двигателях с впрыском бензина, где не требуется четкое разграничение систем, как в карбюраторе, отвечающих за пуск, холостой ход, прогрев, ускорение и полную нагрузку работы двигателя. При впрыске бензина в двигатель за его надежную работу отвечают электронные системы управления впрыском, реагирующие на показание датчиков систем двигателя, что позволяет более точно устанавливать расход топлива, температурный режим в системе охлаждения, угол открытия дросселя, угол опережения зажигания, расход воздуха и другие параметры эксплуатации.

Однако фракционный состав топлива позволяет судить об испаряемости бензина, которая служит определяющей характеристикой его использования в разных климатических условиях и сезонах года. Неиспарившийся тяжелый по фракционному составу бензин оседает на стенках камеры сгорания и стекает через зазоры поршневых компрессионных колец, смывая со стенок цилиндра масляную пленку и тем самым способствуя увеличению трения в цилиндропоршневой группе и снижению моторесурса бензинового двигателя. Наиболее тяжелые фракции неиспарившегося бензина могут переходить в нагар на поршневых кольцах, увеличивая зазоры между цилиндром и кольцами. Вследствие этого происходит прорыв горючих газов из камеры сгорания в масляный картер, загрязняя моторное масло и снижая эффективность работы системы смазки. Прорыв горючих газов уменьшает количество топлива, участвующего в процессе сгорания, что влияет на увеличение расхода топлива в двигателе, т.е. отрицательно сказывается на его экономичности.

Косвенно об испаряемости можно судить и по плотности бензина при 15°C. Например, интервал плотности 700–750 можно расшифровать так: бензин с плотностью почти близкой 700 кг/м³, обладает более легким фракционным составом и может применяться в двигателях, оборудованных карбюратором, в зимнее время эксплуатации при температурах окружающего воздуха ниже минус 15°C, а бензин с плотностью, близкой к 750 кг/м³, как более тяжелый по фракционному составу предназначен для эксплуатации в двигателях с карбюратором в южных районах и летом для средней полосы России и в двигателях, оборудованных системой впрыска.

Марки бензинов Евро-92, Евро-95 и Евро-98 имеют по ГОСТ Р 51866-2002 плотность в пределах 720–775 кг/м³ при 15 °C, т.е. несколько меньшую как для зимних, так и для летних условий эксплуатации двигателей с впрыском бензина для иномарок, ввозимых в Россию.

Высокооктановые ароматические углеводороды каталитического крекинга и каталитического риформинга — основных технологических процессов производства высокооктавных компонентов из нефти, ограничивают их количество в производстве бензинов АИ-95 и АИ-98 вследствие повышенного нагарообразования в цилиндре бензинового двигателя. Это привело к их ограничению до 40% в составе данных бензинов. По данным таблицы 2.2, содержание свинца снизилось в 2 раза (с 0,010 до 0, 0015 г/дм³) во всех бензинах, произведенных по ГОСТ Р 51866-2002, что уменьшает токсичность ОГ указанных бензинов. Данное обстоятельство вызвано появлением нового антидетонатора без содержания свинца.

В последние 10–15 лет процесс каталитического крекинга заметно усовершенствовался, так как появилась установка для предварительного и более глубокого освобождения вакуумного газойля от серы и сернистых соединений путем гидроочистки в присутствии водорода в блоке с производством метилтретбутилового эфира (МТБЭ), имеющего октановое число по исследовательскому методу 108 единиц, что позволит полностью исключить применение тетраэтилсвинца как антидетонатора. С 2002 г. все нефтеперерабатывающие заводы России перешли на производство исключительно неэтилированных бензинов, т.е. без тетраэтилсвинца и с ограничением содержания серы.

В марте 2003 г. Президент РФ подписал Федеральный закон «О запрете производства и оборота этилированного бензина в Российской Федерации с 01.06.2003 г.».

«Применение неэтилированных автомобильных бензинов, вырабатываемых по ГОСТ Р 51105-97, позволяет обеспечивать выполнение автомобилями норм Евро-2 на выбросы с отработавшими газами, а бензинов, вырабатываемых по ГОСТ Р 51866-2002, — норм Евро-3» [3,c.9].

Технология производства бензинов АИ-98 (ТУ 38.401-58-122-95) для автомобилей, отвечающих требованиям Евро-3 и Евро-4, должна гарантировать соблюдение норм на содержание серы, ароматических и олефиновых углеводородов и бензола (табл. 2.3).

Таблица 2.3

# Требования Европейского экономического сообщества к автомобильным бензинам [3]

Показатель	Евро-2	Евро-3 2004	Евро-4 2005
Содержание бензола, макс.,%	5,0	1,0	1,0

Содержание серы, макс.	0,05%	150 чнм	50 чнм	
Содержание ароматических углеводородов, макс.,%	_	42	35	
Содержание олефиновых углеводородов, макс.,%	_	18	18	
Содержание кислорода, макс.,%	_	2,3	2,7	
<u>Фракционный состав</u> , %: до 100°С перегоняется, не менее до 150°С перегоняется, не менее		46 75	46 75	
Давление насыщенных паров, кПа, не более	_	60	60	
Наличие моющих присадок	_	Обязательно		

*Примечание.* Чнм — частей на миллион; 1 чнм =  $1/10^6$ .

Таблица 2.4

автобензинов [3]

Данные, касающиеся изменения норм по выбросам токсичных веществ с ОГ автомобилей и требований к качеству бензинов, представлены в таблице 2.4.

Изменение норм по выбросам автомобилей и требований к качеству

Нормы	по выбро	осам автомобилей	Требования к качеству автобензинов						
	Год	ввода	Год ввода						
	Европа	Россия	Европа	Россия					
Евро-1	1993	1999	1993	1997					
Евро-2	1996	2002	EN/228.93	ГОСТ Р 51105-97					
Евро-3	2000	2004 (проект)	2000 EN/228.99	2002 ГОСТ Р 51866-2002					
Евро-4	2005	2008 (концепция)	2005 правило 98/70/ЕС	Не определен ГОСТ Р 51105-97 с изм					

Насущной задачей перестройки нефтеперерабатывающего комплекса России является создание и внедрение новых процессов, обеспечивающих повышение экономических и эксплуатационных требований, предъявляемых к двигателям автомобилей. Главное требование — исключить из состава бензина антидетонатор на основе тетраэтилсвинца с заменой его на оксигенатное топливо, а именно — на МТБЭ. Данный эфир, имеющий 108 единиц октанового числа, сгорает полностью вследствие содержания в нем около 18,20% кислорода, участвующего в сгорании бензина. При этом гидроочистка снизила в бензине

до минимума количество серы и сернистых продуктов, увеличивающих при сгорании выбросы токсичных продуктов с отработавшими газами. Это был первый пример применения <u>альтернативн</u>ого топлива, МТБЭ, при разработке ГОСТ S1866-2002 на бензин в качестве антидетонатора, выработанного из природного газа.

В таблице 2.5 представлены характеристики бензинов с улучшенными экологическими показателями: с уменьшенным содержанием свинца до 0,010 против 0,013 г/дм³ по ГОСТ 2084-77, меньшим содержанием бензола в пределах 3–5%, с содержанием серы, не превышающим 0,050%, а по ГОСТ 2084-77 допускалось содержание серы 0,10%. По испаряемости и фракционному составу бензины разделены на

5 климатических зон с более жесткими требованиями по уменьшению содержания бензола и ароматических углеводородов, чтобы снизить коррозионную агрессивность к деталям двигателя, нагарообразование в камере сгорания и на поршневых кольцах.

Характеристики бензинов с улучшенными экологическими показателями

Таблица 2.5

	ту :	38.401	· <b>58-17</b>	ТУ 38.301-25-41-97		
Показатель	АИ-80	АИ-92	АИ-95	АИ-98	ЯрМарка	ЯрМарка
	ЭК	ЭК	ЭК	ЭК	92E	92E
<u>Октановое число,</u> не менее:						
моторный метод	76,0	83,0	85,0	88,0	83,0	85,0
исследовательский метод	80,0	92,0	95,0	98,0	92,0	95,0
Содержание свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
<u>Фракционный состав</u> : объем испарившегося бензина, %, при температуре:						
70°C	10-50	15–50	15–50	15–50	15–50	15–50
100°C	35–70	40-70	40-70	40-70	40-70	40–70
180°C	>85	>85	>85	>85	>85	>85
Содержание фактических смол, мг/100 см <sup>3</sup> , на месте производства, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Объемная доля, %, не более, ароматических углеводородов,	_	_	_	_	45	45
в том числе бензола	3	3	5	5	3	3

Индукционный период бензина на месте производства, мин, не менее	360	360	360	360	360	360
Массовая доля серы, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Плотность при 20°C, кг/м³, не более	780	780	780	780	780	780

Следует отметить, что при сгорании бензола образуются полициклические ароматические углеводороды, в том числе бенз-а-пирены, обладающие канцерогенными свойствами. Облегченный фракционный состав бензинов при отводе тепла на испарение топлива снижает температуру в камере сгорания, что уменьшает образование оксидов азота ( $NO_x$ ), как наиболее токсичных веществ по сравнению с оксидами углерода (CO).

Высокооктавные бензины содержат также меньшее количество смолистых веществ и имеют более высокую химическую стабильность. Добавка к бензинам моющей присад-ки позволяет снизить токсичность отработавших газов, повысить надежность и долговечность работы бензинового двигателя.

Повышение октанового числа на каждую единицу снижает расход топлива на 1%, т.е. при применении автобензина АИ-92 взамен АИ-80 экономия может составить около 12%, но не взамен бензина АИ-76, так как двигатель при работе на модифицированном АИ-76 будет перегреваться и могут прогореть клапаны и выхлопная труба.

Климатические условия России весьма разнообразны и применять бензин с одинаковой испаряемостью практически невозможно. В связи с этим обстоятельством бензины, вырабатываемые по ГОСТ 2084-77, подразделяют на зимние и летние сорта с указанием календарного периода их эксплуатации: соответственно с 1 октября по 1 апреля и с 1 апреля по 1 октября.

Бензины, вырабатываемые по ГОСТ Р 51105-97 (табл. 2.6), по предложению ОАО «АвтоВаз» подразделяют на 5 классов испаряемости, отличающихся друг от друга индексом паровой пробки (ИПП), рассчитанной по давлению насыщенных паров (ДНП, кПа) и испарению объема бензина (%) при температуре 70°С (И 70) по формуле:

 $И\Pi\Pi = 10 (ДH\Pi) + 7(И 70).$ 

Индекс испаряемости (ИПП) не должен превышать значений, указанных в таблице 2.6.

Бензины, вырабатываемые по ГОСТ Р 51866-2002, подразделяются на 10 классов (табл. 2.7), а индекс паровой пробки не должен превышать максимального значения (ИПП), указанного в таблице 2.7.

Таблица 2.6 **Характеристики испаряемости бензинов всех марок [3]** 

	ГОСТ Р 51105—97								
Показатель	•			КЛАСС					
		2	3		4	5			
Давление насыщенных паров бензина, кПа	35—70	45—80	55—90	60-	<b>-</b> 95	80—100			
<u>Фракционный состав</u> : температура начала перегонки, °C, не ниже	35 35 Не нормируется			a .					
Пределы перегонки, °С, не выше:									
10%	75	70	65	$\epsilon$	60	55			
50%	120	115	110	1	05	100			
100%	190	185	180	1	70	160			
Конец кипения, °С, не выше			21!	5					
Объемная доля остатка в колбе,%			2						
Остаток потери,%				4					
Объем испарившегося бензина, %, при температур	oe:								
70°C		15—45	15—45	15—47	15—50	15—50			
100°C		35—65	40—70	40—70	40—70	40—70			
180°C		85	85	85	85	85			
Индекс испаряемости, не более		900	1000	1100	1200	1300			

Таблица 2.7

# Характеристики испаряемости бензинов, изготовленных по ГОСТ Р 51866-2002

		Г	OCT P 51	866—2	002			
Показатель	КЛАСС							
	A	В	С и С1	DиD1	ЕиЕ1	FuF1		
Давление насыщенных паров (ДНП), кПа:								

не менее	45	45	50	60	65	70
не более	60	70	80	95	100	
Фракционный состав:						
объемная доля испа-рившегося бензина, %, при температуре:						
70°C (И 70)	20—48	20—38	22—50	22—50	22—50	22—50
100°C (И 100)	46—71	46—71	46—71	46—71	46—71	46—71
Максимальный индекс паровой пробки (ИПП)						
ИПП = = 10 ДНП + + 7(И 70)	-	-	1050	1150	1200	1250

Паровые пробки образуются в топливной системе при эксплуатации в условиях повышенных температур окружающей среды, особенно при остановке автомобиля после длительной езды. Образующиеся паровые пробки в системе подачи, когда под капотом автомобиля более 70°С, не позволяют топливному насосу беспрепятственно подавать топливо в цилиндр двигателя. С этой целью следует вести расчет максимального индекса паровой пробки сообразно условиям предполагаемой эксплуатации двигателя на местности и заправляться соответствующим бензином необходимого класса испаряемости.

Двигатели грузовых автомобилей производственных объединений ЗиЛ и ГАЗ после принятия решения о дизелизации грузового транспорта были переоборудованы двойными системами питания, обеспечивающими их работу как на газе, так и на бензине. В качестве газового топлива применяется сжатый природный газ (метан), хранящийся в газовых баллонах под давлением 20 МПа, поэтому такие грузовые автомобили получили название газобаллонных. Данное решение было принято в целях расширения ресурсов бензина прямой перегонки, являющегося сырьем для получения высокооктавных бензиновых компонентов в процессе риформинга (платформинга).

Двигатель газобаллонного автомобиля ЗиЛ-461610 имеет двойную систему питания. Газовая система состоит из комплекта газовых баллонов, связанных последовательно между собою двухступенчатым редуктором, снижающим давление газа МΠа значений, близких к атмосферному давлению, OT ДО дозирующего экономайзерного устройства, подающего необходимое количество газа в переходниксмеситель, установленный на верхнем фланце бензинового карбюратора и имеющий две самостоятельные системы холостого хода для работы на газе или бензине. При частоте вращения коленчатого вала двигателя до 1000–1200 мин<sup>-1</sup> клапан, установленный на входе в карбюратор-смеситель, закрыт, и двигатель работает только на бензине. По мере открытия дроссельных заслонок указанный клапан открывается, газ поступает в карбюратор-смеситель через кольцевую щель и смешивается с воздухом, поступающим из

воздушного фильтра. Электромагнитный клапан на фильтре тонкой очистки бензина отключает подачу бензина в карбюратор во время работы двигателя на газе [12].

Сжатый природный газ и сжиженный нефтяной газ явились первыми альтернативными топливами для бензиновых двигателей. Топливные системы газобаллонных двигателей практически унифицированы и отличаются количеством баллонов и некоторыми регулировочными параметрами. Перевод бензиновых двигателей на газовое топливо может быть осуществлен путем установки несложной топливной аппаратуры на существующих конструкциях бензиновых двигателей, но при этом снижается эффективность работы двигателя примерно на 20% вследствие меньшего энергетического потенциала газа.

Грузоподъемность газобаллонного автомобиля уменьшается вследствие увеличившейся массы комплекта баллонов с метаном, поскольку они выполнены из низколегированной стали, а масса каждого баллона составляет 90 кг.

#### Глава 3

#### Современные дизельные топлива из нефти

Дизельные топлива представляют собой смесь углеводородов дистиллятных (средних) фракций прямой перегонки нефти большей плотности и вязкости по сравнению с бензином.

Дизель – поршневой двигатель с внутренним смесеобразованием и способностью к самовоспламенению.

Внутреннее смесеобразование осуществляется впрыском дизельного топлива насосом высокого давления (ТНВД) в конце такта сжатия воздуха. За время периода задержки воспламенения цикловая подача топлива успевает прогреться, испариться, перемешаться с кислородом воздуха и создать очаги воспламенения, где коэффициент избытка воздуха (а) имеет значения 0,8–0,9, при котором скорость распространения пламени по камере сгорания достигает максимума.

Ниже перечислены специфические требования, предъявляемые к дизельным топливам. Дизельное топливо должно:

- бесперебойно поступать в цилиндры в любых климатических условиях;
- обеспечивать хорошее распыливание и смесеобразование в камере сгорания двигателя;

- легко самовоспламеняться и сгорать с достаточно хорошей скоростью без образования нагаров и отложений в двигателе и меньшей дымностью ОГ;
- не образовывать коррозионно-агрессивных и вредных веществ, альдегидов, полициклических углеводородов и других токсичных соединений;
- осуществлять запуск в любых климатических условиях.

Топлива для высокооборотных дизелей грузовых автомобилей изготавливаются из газойля прямой перегонки нефти с добавлением дистиллятных фракций после процессов гидроочистки и депарафинизации с присадкой до 1% масс. изопропилнитрата, повышающего цетановое число дизельного топлива до стандартного значения (ГОСТ 305-82).

В таблице 3.1 представлены <u>Показатели качества топлив</u> дизельных топлив, изготовленных по ГОСТ 305-82. Нефтеперерабатывающие заводы вырабатывают дизельное топливо трех марок:  $\Pi$  – летнее, 3 – зимнее, A – арктическое.

Таблица 3.1 **Характеристики дизельного топлива (ГОСТ 305—82)** 

Показатель	Л	3	A
<u>Цетановое число</u> , не менее	45	45	45
Температура перегонки, °С, не выше:			
50% топлива	280	280	255
90% топлива	360	340	330
Кинематическая вязкость при 20°C, мм²/с (сСт)	3—6	1,8—5	1,5—4
Температура застывания, °С, не выше:			
для умеренной климатической зоны	-10	-10	-
для холодной зоны	-	-45	-55
Температура помутнения, °С, не выше:			
для умеренной климатической зоны	-5	-25	-
для холодной зоны	-	-35	_
Температура вспышки в закрытом тигле для дизелей общего назначения, °C, 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 см³ топлива, не более	40	30	30
Кислотность, мг КОН/100 см³ 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°С, кг/м³, 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.

Топлива этих марок различаются в основном низкотемпературными свойствами, вязкостью и испаряемостью. По содержанию серы топлива делятся на два вида: I-c содержанием серы менее 0,2%, II-c содержанием серы 0,2- 0,5%.

в умеренной климатической зоне при температурах не ниже -20 °C; и зимнее топливо с температурой застывания не ниже -45 °C применяется в холодной климатической зоне при температурах окружающего воздуха -30 °C; A - арктическое, применяется при температуре -50 °C и обозначается A-0,4.

Переход с зимних марок топлива на летние осущест-вляется в период наступившей или ожидаемой по долгосрочному прогнозу устойчивой положительной температуры. Летние марки топлива в южных районах используют всесезонно [4, с. 69].

По ТУ 38.101889-81 (табл. 3.2) вырабатывают зимнее дизельное топливо с депрессорной присадкой марки ДЗп, которое получают на базе летнего топлива с температурой помутнения -5 °C.

Таблица 3.2

Характеристики дизельных топлив зимних марок с депрессорными присадками

	Нормы для марок					
Показатель	ДЗп	Д3п-15/- 25	ДЗп-35/- 45			
	ту 38.101889—81	ТУ 38.401-58-36-9				
<u>Цетановое число</u> , не менее	45	45	40			
<u>Фракционный состав</u>						
Температура перегонки, °С, не выше:						
50% топлива	280	280	280			
90% топлива (конец перегонки)	360	360	340			
Кинематическая вязкость для дизелей общего назначения при 20°C, мм²/с	3—6	1,8—6	1,5—5			
Температура, °С, не выше:						
застывания	-30	-35	-55			
помутнения	-5	-15	-35			
предельная фильтрации	-15	-25	-45			
Температура вспышки в закрытом тигле для дизелей общего назначения, °C, не ниже	40	40	35			
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	-	-			
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5	5	5			
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01			
Коксуемость 10%-го остатка, не более	0,3	0,2	0,2			
Коэффициент фильтруемости топлива с присадкой, не более	3	3	3			
Плотность при 20°С, кг/м³, не более	860	860	840			

*Примечание.* Топлива всех марок не содержат сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей, воды и выдерживают испытание на медной пластинке.

Добавка присадки в сотых долях процента позволяет снизить предельную температуру фльтруемости до -15 °C. Для районов с холодным климатом по ТУ 38.401-58-36–92 (табл. 3.3) вырабатывают дизельное топливо с депрессорной присадкой марки ДЗп-15/-25 (базовое топливо с тем-пературой помутнения -15°C, товарное топливо – с предельной температурой фильтрации -25°C [4, с. 69-70].

Таблица 3.3 **Характеристики экологически чистого дизельного топлива (ТУ 38.1011348–90)** 

Показатель	длэч-в	длэч	дзэч
<u>Цетановое число,</u>	45	45	40
не менее	73	CT.	70
Фракционный состав			
Температура перегонки, °С, не выше:			
50% топлива	280	280	280
90% топлива (конец перегонки)	360	360	340
Кинематическая вязкость при 20°C, мм²/с	3–6	3–6	1,8-5
Температура, °С, не выше:			
застывания	-10	-15	-35
предельная фильтрации	<b>-</b> 5	-5	-25
Температура вспышки в закрытом тигле для дизелей общего назначения, °C, не ниже	62	62	40
Массовая доля серы, %, не более:			
в топливе вида I	0,05	0,05	0,05
в топливе вида II	0,1	0,1	0,1
Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5	5	5
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксуемость 10%-го остатка, не более	0,2	0,2	0,2
Плотность при 20°С, кг/м³, не более	860	860	840
Содержание ароматических углеводородов, %, не более	20		10

#### примесей и воды.

По ТУ 38.1011348-90 (табл. 3.3) предусмотрен выпуск экологически чистого дизельного топлива: двух марок летнего (ДЛЭЧ-В и ДЛЭЧ) и одной марки зимнего (ДЗЭЧ). Содержание серы у этих топлив снижено до 0.05% (вид I) и до 0.1% (вид II). Введена норма по содержанию ароматических углеводородов: для марки ДЛЭЧ-В — не более 20%, для марки ДЗЭЧ — не более 10% [4, с. 71].

По ТУ 38.401-58-170-96 (табл. 3.4) выпускают дизельные топлива с улучшенными экологическими свойствами (городские) марок: ДЭК-Л, ДЭКп-Л, ДЭКп-3 ( $-20^{\circ}$ C).

Таблица 3.4

# Характеристики дизельного топлива с улучшенными экологическими свойствами – городского (ТУ 38.401-58-170-96)

	Нормы для марок				
Показатель	дэк-л	дэк-з	ДЭКп-Л		ДЭКп-3 (-20°C)
<u>Цетановое число</u> , не менее	49	45	49	45	45
Фракционный состав					
Температура перегонки, °С, не выше:					
50% топлива	280	280	280	280	280
90% топлива (конец перегонки)	360	340	360	360	360
Кинематическая вяз-кость при 20°C, мм²/с	3—6	1,8—5	3—6	1,8—6	1,8—6
Температура, °C, не выше:					
застывания	-10	-35	-10	-25	-35
предельная фильтра-ции	-5	-25	-5	-15	-25
Температура вспышки (для дизелей общего назначения), определяемая в закрытом тигле, °C, не ниже	40	35	40	35	35
Массовая доля серы, %, не более:					
в топливе вида I	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
в топливе вида II	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более:	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Кислотность, мг КОН/100 см³ топлива, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04
Коксуемость 10%-го остатка, не более	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Коэффициент фильтруемости (до введения присадки в топливо), не более	2	2	2	2	2
Плотность при 20°С, кг/м³, не более	860	860	860	860	860

*Примечание.* Топлива всех марок не содержат сероводорода, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей, воды и выдерживают испытание на медной пластинке.

Эти топлива отличаются от экологически чистого в основном наличием присадок (летом – антидымной, зимой – антидымной и депрессорной), в результате чего дымность и токсичность отработавших газов снижаются на 30–50% [4]. Разработанные ТУ 38.401-58-296—2001 «Топливо дизельное автомобильное» соответствуют требованиям европейских норм EN 590—2000. Установлены жесткие требования на содержание серы и на цетановое число (не менее 51). При этом нормируются четыре новых показателя качества: цетановый индекс, смазывающая способность, содержание полициклических ароматических углеводородов, окислительная стабильность. Предусмотрена дифференциация дизельных топлив по низкотемпературным свойствам. Так, для умеренного климата выпускают шесть сортов топлив с предельной температурой фильтрации от 5 до минус 20 °C [4].

Повышение качества конструкций дизелей должно быть адекватным требованиям, предъявляемым топливам.

Ярославский моторный завод (ЯМЗ) объявил о проектировании нового дизеля, отвечающего условиям Евро-4, выпуск которого обещают наладить в 2009 г. Подробности о технических характеристиках дизеля не объявлены, но известно только, что это будет двигатель V-образная восьмерка с наддувом. Топливо, отвечающее требованиям Евро-4, очевидно, будет «Топливо дизельное автомобильное», изготовленное по ТУ 38.401-58-296—2001 и соответствующее европейским нормам EN 590—2000.

Улучшение показателей качества дизельных топлив ГОСТ 305–82 до европейского уровня предлагает российская фирма «ДИТО» по разработанной ею технологии. Модуль «ДИТО» поставляется на автомобильные предприятия, топливные склады и нефтебазы. Дизельное топливо, отработанное на модуле «ДИТО», практически не имеет в своем составе механических примесей, воды; из него удалена большая часть полициклических ароматических углеводородов, что способствует меньшему нагарообразованию, более полному сгоранию топлива и снижению его расхода, а также увеличивается срок службы фильтров тонкой очистки, плунжеров топливного насоса высокого давления и форсунок, снижаются дымность и токсичность ОГ. Депрессорная

присадка, введенная в летнее Л топливо, снижает температуру застывания до минус 32—34 °C, а температуру фильтруемости через фильтр тонкой очистки — до минус 26 °C.

Перевод грузовых автомобилей с бензиновых карбюраторных двигателей на дизельные двигатели был связан с тем обстоятельством, что дизельное топливо более экономично по расходу топлива на единицу мощности, менее токсично и дешевле по стоимости, чем бензин. Дизельные топлива в основной своей части состоят из газойлевой фракции прямой перегонки нефти, и после очистки от примесей серы являются полноценными топливами, обеспечивающими все эксплуатационные требования, предъявляемые к дизелям.

Самый большой недостаток дизельного топлива состоит в повышенной дымности ОГ при работе дизеля на полных нагрузках или режимах работы двигателя, близких к номиналу. Однако частицы сажи могут адсорбировать токсичные вещества вплоть до канцерогенов при неполном сгорании топлива, имеющего в своем составе полициклические соединения.

Поскольку выбросы токсичных веществ с отработавшими газами бензиновых двигателей и не содержат сажи, но концентрация альдегидов, бенз-а-пирена, оксидов азота в них значительно больше, чем в отработавших газах дизеля (табл. 3.5).

Состав отработавших газов автотракторных двигателей [4, с. 74]

K	Состав, % масс.				
Компонент	бензиновый двигатель	дизель	тики токсичности		
Азот	74—77	74—78	-		
Кислород	0,3—8,0	2,0—18	-		
Водяной пар	3,55	0,5—4,0	-		
Диоксид углерода	5,0—12	1,0—10,0	Малотоксичен		
Оксид углерода	1,0—10,0	0,01—0,50	Токсичен		
Оксиды азота	0,10—0,50	0,001—0,40	Токсичен		
Несгоревшие углеводороды	0,01—0,10	0,010—0,50	Токсичен		
Альдегиды	0,0—0,2	0,010—0,009	Токсичен		
Сажа, г/м³	0,0—0,040	0,0—1,10	Токсичен		
Бенз-а-пирен, г/м³	0,00002	0,00001	Канцероген		

Глава 4

Таблица 3.5

#### **Альтернативные топлива**

### 4.1. Альтернативные топлива для дизелей и бензиновых двигателей

В связи с дизелизацией грузового автомобильного транспорта и увеличением производства дизелей для тракторов, используемых в различных отраслях народного хозяйства России, нарастает проблема обеспечения соответствующим топливом огромного количества дизельных двигателей.

Главным сырьем для производства дизельного топлива является нефть, из которой в процессе прямой перегонки получают газойль, являющийся основным компонентом дизельного топлива.

В качестве добавки в дизельное топливо применяют, например, бензин прямой перегонки для облегчения его фракционного состава при получении дизельного топлива расширенного фракционного состава (РФС). Тяжелые фракции добавляют для получения топлива утяжеленного фракционного состава (УФС).

Однако в последнее время применяют все большее количество разнообразных добавок в дизельное топливо, при этом используют продукты переработки природного газа по известному технологическому процессу Фишера — Тропша [6], такие как легкие синтетические парафиновые углеводороды (ЛСПУ), диметилэфир (ДМЭ) и др. (табл. 4.1).

Процесс ведется при высокой температуре и давлении на катализаторах по схеме: метан  $\rightarrow$  синтез-газ  $\rightarrow$  синтетическое топливо.

Физико-химические и эксплуатационные свойства топлив для дизельных двигателей [3]

Свойства	Ед. измерения	Нефт. диз. топливо	Диз.топливо Фишера — Тропша	Диметоксиметан	дмэ	Метанол	ЛСПУ
Формула	_	C <sub>10,8</sub> H <sub>18,7</sub>	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	CH₃OCH₂OCH₃	CH₃ OCH₃	CH₃ OH	$C_nH_{2n+2}$
Мол. масса	-	148,6	190	76,1	46,07	32,04	106,25
Содержание серы	ppm	Ниже 500	Ниже 5	Ниже 5	Ниже 5	Ниже 5	Ниже 5
Содержание ароматических у/в	% масс.	25	0,3	Отс.	Отс.	Отс.	0,3
Содержание кислорода	% масс.	Следы	Следы	42,1	34,7	49,9	Следы
Давление насыщенных паров	При 38°С, атм кПа	0,0069 0,7038	Ниже 0,006 0,612	0,87 88,74	8,0 816	0,304 31,11	-
Температура кипения	°C при 1 атм	180 — 370	150 — 380	41,7	Минус 24,8	65,5	375,5
Температура самовоспламенения	°C	220	200	237	235	464	102
Теплотворная способность	МДж/кг	42,5	43,9	23,26	24,8	20,0	45,015
Цетановое число		40 — 55	Больше 74	28	55 — 60	2	60,5
Вязкость	При 40°C	2,0 — 3,5	3,56	0,33	0,25	0,573	1,31
Плотность	Кг/л при 15°C	0,8 — 0,84	0,7845	0,8668	0,6612	0,7961	0,690
Оптическая плотность	%	17 — 28	-	-	0	0	0

Таблица 4.2

Таблица 4.1

# Сравнительные характеристики некоторых оксигенатов [2]

Νō	Показатель	Базовы	Мета	Эта-	ипс	<i>н</i> -бу-	изо-	втор	трет-	МТБ	MTA	ЭТБЭ	дип	мвпэ
п. п.		й	-нол	нол		тано	бута	-	бута-нол	Э	Э		Э	

		бензин					-нол	бута- нол						
1	Плотность при 20°С, кг/м³	710-770	791,4	789,3	789	810	802	806	787,7	746	770	770	726	766
2	Температура кипения, °С	35-205	64,5	78,4	82,4	117,5	108,1	99,5	82,5	55	86,3	73	68	89,9
3	Температура застывания, °C	Ниже -60	-97,8	- 114,1	-89,5	-79,9	-108	- 114,7	25,5	-108	-	-	-86,2	-
4	Массовая доля кислорода, %	-	49,9	34,7	26,6	21,6	21,6	21,6	21,6	18,2	15,7	15,7	15,7	15,7
5	Теп-лота, кДж/кг													
	• испарения	180-306	1183	839,3	672	591,2	578,4	562,4	535,4	337	326	315	314	-
	• сгорания	43500	19950	2772 0	3330 0	33000	32808	32827	32949	35160	36000	3939 2	39356	-
6	Давление насыщенных па-ров при 38°С, кПа	45-100	35	17	13	8,4	8,5	9,7	14	61	22	20,7	47	17
7	Растворимост ь в воде при 20°C,%	Не раст-	Не о	гранич	нено	5,7	11,1	12,5	Не ограничен о	1,3	0,6	-	-	1,2
8	ОЧ — октановое число по:													
	исслед. методу	85-98	111	108	117	99,6	108	110	106	118	112	118	110	94
	моторному методу	72-85	94	92	95	94	96	98	95	102	99	105	100	80
9	ПДК — предельно допустимая концентраци я паров бензина в воздухе, %, мг/м³	100	3	5	10	10	10	10	7	15	15	15	11	11

# Примечания.

- 1. материалы сборника научных трудов ОАО ВНИИГаз «Научно-технический прогресс в технологии переработки газа и конденсата». М.: ОАО ВНИИГаз, 2003. С. 155-166.
- 2. В приведенных таблицах 4.1 и 4.2 имеются разночтения, связанные с точностью или способом измерений.

Синтез-газ является промежуточным продуктом, из которого можно получить спиртовое топливо: метанол и этанол, а также изопропиловый спирт (ИПС), бутанол и втор-бутанол, трет-бутанол. Все оксигенаты: метилтретбутиловый эфир (МТБЭ), метилтретамиловый эфир (МТАЭ), этилтретбутиловый эфир (ЭТБЭ), диизопропиловый эфир (ДИПЭ), метилвторпропиловый эфир (МВПЭ) являются хорошими добавками к базовому бензину (табл. 4.2).

Все они обладают высоким октановым числом, повышенной испаряемостью, но меньшей теплотой сгорания. Однако их <u>Показатели качества топлив</u> соответствуют эксплуатационным характеристикам бензина и могут использоваться как заменители бензина. Но вследствие пониженной теплоты сгорания возникает необходимость подавать их в большем количестве для достижения мощности, одинаковой с мощностью двигателя при его работе на бензине. Однако в настоящее время эти оксигенаты используют как антидетонаторы. Для дизеля это топливо не может быть альтернативой дизельному топливу, хотя его можно использовать подачей на такте впуска, поскольку из-за высоких октановых чисел эти оксигенаты не будут детонировать и плохо самовоспламеняться. Для их воспламенения, очевидно, следует применять впрыск запального дизельного топлива в конце такта сжатия либо инициировать воспламенение свечой зажигания, но для этого требуется эксперимент.

Из природного газа (метана) в процессе Фишера—Тропша образуются легкие синтетические парафиновые углеводороды (ЛСПУ), которые растворяются в дизельном топливе без проблем в любых соотношениях [8, 9].

Показатели качества топлив ЛСПУ представлены в таблице 4.1. Испытания ЛСПУ как добавки к дизельному топливу проводились на кафедре теплотехники и тепловых двигателей РУДН, где получены положительные результаты, защищенные авторскими свидетельствами [13]. Этот «Способ работы дизеля». Это позволило подавать маловязкое легкое синтетическое топливо в двигатель, минуя насос высокого давления, чтобы защитить его от износов.

Был также разработан «Способ организации рабочего процесса» при добавке ЛСПУ к утяжеленным топливам, что также дало положительный результат.

Работа дизеля 4Ч 11/12,5 на тяжелых топливах, легком газойле каталитического крекинга (ЛГКК) и топливе УФС с добавкой 30% ЛСПУ, по сравнению с дизельным топливом Л-0,5, показала, что расход топлива 70% УФС + 30% ЛСПУ был меньше, чем расход топлива 70% ЛГКК + 30% ЛСПУ и меньше стандартного дизельного топлива Л-0,5 (рис. 4.1).

Выброс оксида углерода при добавке ЛСПУ к тяжелым топливам по сравнению с дизельным топливом был больше (рис. 4.2). Это может быть объяснено тем обстоятельством, что большая испаряемость добавки ЛСПУ по сравнению с традиционным дизельным топливом приводила к снижению температуры в камере сгорания, что, в свою очередь, тормозило окисление тяжелого топлива. Выброс оксидов азота был меньше у топлива УФС с добавкой ЛСПУ, чем у стандартного топлива, поскольку для образования оксидов азота требуются более высокие температуры, а тяжелая часть УФС, состоящая из н-парафинов, окислялась лучше.

Максимальный выброс  $NO_x$  у топлива ЛГКК с добавкой ЛСПУ объясняется тем, что ЛГКК на 90% состоит из ароматических углеводородов, которые окисляются тяжелее, чем парафины, и при более высоких температурах, что приводит к повышенному выбросу оксидов азота. Дымность отработавших газов наименьшая у топлива 70% УФС + 30% ЛСПУ и наибольшая – у стандартного топлива Л-0,5 (рис. 4.3).

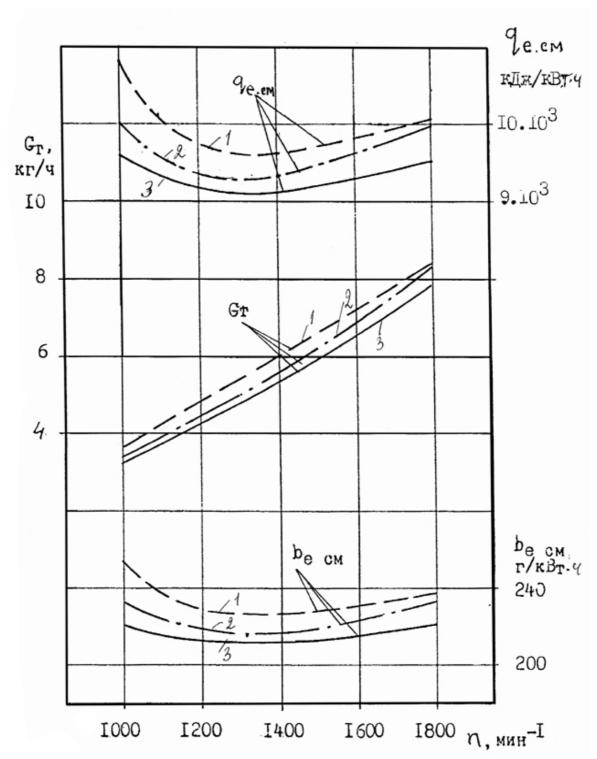


Рис. 4.1. Зависимость показателей  $q_{e\,cm}$  ,  $G_T$  ,  $b_{e\,cm}$  от частоты вращения коленчатого вала дизеля типа 4Ч 11/12,5

1 – дизельное топливо Л-0,5,

2 – 70% ЛГКК + 30% ЛСПУ

3 - 70% УФС + 30% ЛСПУ

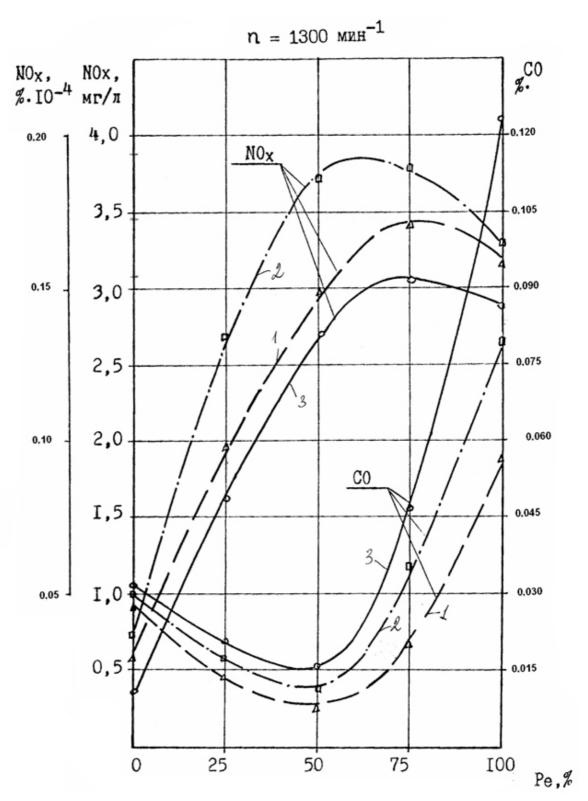


Рис. 4.2. Изменение выбросов СО и NO<sub>х</sub> дизеля 4Ч 11/12,5

1 – дизельное топливо Л-0,5,

- 2 70% ЛГКК + 30% ЛСПУ
- 3 70% УФС + 30% ЛСПУ

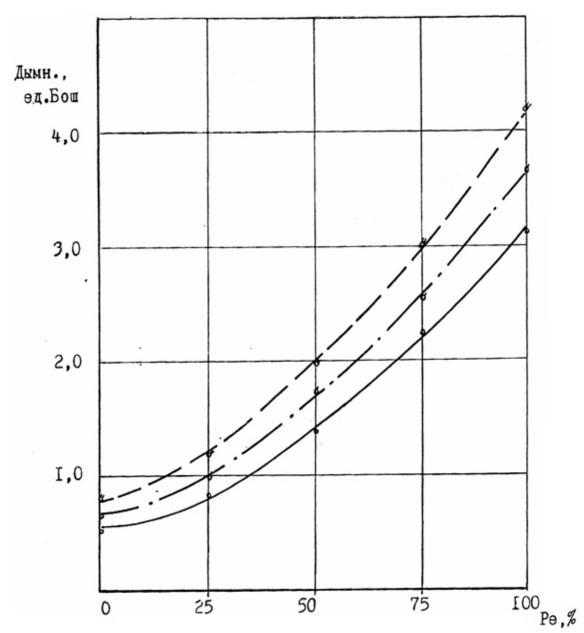


Рис. 4.3. Дымность ОГ дизеля 4Ч 11/12,5 (частота вращения равна 1300 /мин)

1 – дизельное топливо Л-0,5,

- 2 70% ЛГКК + 30% ЛСПУ
- 3 70% УФС + 30% ЛСПУ

В заключение следует отметить, что топливо ЛСПУ можно применять как добавку к обычному топливу Л-0,5 в больших количествах, чем было проведено в опыте, поскольку они являются стимуляторами самовоспламенения, снижают расход топлива

даже при добавке к тяжелым топливам, а выброс оксидов углерода можно уменьшить с помощью дожигателя.

Что касается легких топлив типа эфиров и спиртов (оксигенатных топлив), то в дизель их следует подавать на впуске до 90%, а дизельное топливо в количестве 10-20% впрыскивать в конце такта сжатия как запальное топливо.

На полный перевод ДВС на <u>альтернативн</u>ое топливо будут влиять следующие обстоятельства:

- как долго будет продолжаться добыча нефти в количестве, достаточном для производства традиционных топлив для бензиновых двигателей и дизелей;
- как велика должна быть добавка <u>альтернативн</u>ого топлива в традиционное, чтобы обеспечить нормальную работу автотракторных двигателей внутреннего сгорания, не изменяя их конструкцию, а допуская только изменение конструкции топливной системы;
- какие <u>Показатели качества топлив</u> <u>альтернативн</u>ого топлива могут вызвать усложнение работы двигателя, как бензинового, так и дизеля, и методы их преодоления.

Если <u>альтернативн</u>ое топливо хорошо растворяется в традиционном и раствор сохраняет стабильность в условиях эксплуатации, то конструкция самого двигателя и системы его питания может не меняться. при этом объем топливного бака должен обеспечивать работу двигателя на одной заправке при одинаковой энергоплотности смесевого топлива. Объем топливного бака для работы на смесевом <u>альтернативном</u> топливе проверяется расчетом по энергоплотности, зависящей от теплоты сгорания (энергопотенциала смесевого топлива, кДж/кг) и плотности смесевого топлива, кг/м³.

Пример расчета энергоплотности смесевого жидкого топлива:

$$Q_{cm} = H_{ucm} \cdot d_{cm}$$
, кДж/л,

где  $Q_{CM}$  — <u>энергоплотность</u> <u>смесевого топлива</u>;

$$Q_{u c M} = H_{u T D T} \cdot d_{T D T} \cdot V_{T D T} + H_{u a M T} \cdot d_{a M T} \cdot V_{a M T}, кДж/л,$$

где  $H_{u \, \text{тр} \, \text{т}} - \underline{\text{теплота сгорания}}$  <u>традиционного топлива</u>, кДж/л;

 $H_{u \, an \, \tau} - \underline{\text{теплота сгорания}} \, \underline{\text{альтернативн}}$ ого топлива, кДж/л;

 $d_{TDT}$  – плотность <u>традиционного топлива</u> при 20°C, кг/л;

 $d_{an\,\tau}$  – плотность <u>альтернативн</u>ого топлива при 20°С, кг/л;

 $V_{\tau p \ \tau}$  — объемная доля традиционного топлива в единице объема <u>смесевого</u> топлива;

 $V_{\text{ал T}}$  – объемная доля <u>альтернативн</u>ого топлива в единице объема <u>смесевого</u> топлива.

Все жидкие легкие <u>альтернативн</u>ые топлива с повышенной теплотой парообразования целесообразно подавать на впуске с воздухом, как в бензиновом двигателе, так и в дизеле. Если понижение температуры в камере сгорания и цилиндре двигателя будет равно или больше, чем при работе двигателя на бензине, то преждевременной детонации не наступит даже в дизеле при его повышенных степенях сжатия. При незначительном понижении температуры в камере сгорания при высоких степенях сжатия, как в дизеле, может возникнуть необходимость раздельной подачи топлив.

В бензиновом двигателе с впрыском топлива не возникает жесткая зависимость <u>альтернативн</u>ого топлива от понижения температуры при такте впуска, поскольку сам процесс впрыска менее требователен к температурным условиям в цилиндре.

Добавка <u>альтернативн</u>ого топлива к традиционному позволяет расширить ресурсы как бензинов, так и дизельных топлив. Оценка расширения ресурсов традиционных топлив производится по количеству добавки к нефтяному топливу <u>альтернативн</u>ого топлива при эксплуатации ДВС существующих конструкций на смесевых топливах. Расчет необходимых показателей качества смесевых топлив производится по закону аддитивности, которому подчиняются все необходимые показатели (характеристики), кроме вязкости.

В таблице 4.3 представлены физико-химические и эксплуатационные свойства альтернативных топлив в сравнении с традиционными нефтяными топливами [5].

Разнообразие <u>альтернативн</u>ых топлив в данной таблице позволяет оценивать их свойства как топлив для бензиновых двигателей и дизелей. Однако, как показано ранее, все углеводородные топлива, получаемые из природного газа, могут быть применены в двигателе, но использование некоторых из них, например, метанола, вызывают затруднения. Следует отметить, что метанол содержит в своем составе около 50% кислорода и обладает очень высокой теплотой испарения 1183 кДж/кг, а <u>теплота</u> <u>сгорания</u> обезвоженного метанола составляет всего 22315 кДж/кг, необезвоженный

метанол имеет теплоту сгорания 19600 кДж/кг, т.е. более чем в 2 раза меньше, чем у бензина. Наличие в нем большого количества кислорода делает его химически агрессивным ко всем металлам. Высокая теплота испарения снижает температуру в камере сгорания столь значительно, что применять его затруднительно для работы бензинового двигателя, особенно при пуске. Поэтому в бензин добавляют его только как антидетонатор в количестве не более 3%.

Таблица 4.3 Физико-химические и эксплуатационные свойства <u>альтернативн</u>ых топлив в сравнении с традиционными нефтяными топливами [5]

	-	тяные ілива			Сжижен		одный аз	Вод	ород	Аммиа	Ацетилен		
Показатель	бензин ы	Дизельн ые топлива		Этано л	-ный нефтяно й газ	газооб - разны й	жидки	газооб - разны й	жидки й	к жидки й	(газо- образный )		
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,710— 0,760	0,820— 0,870	0,795	0,790	0,542	0,68·10	0,420	0,09·10	0,007	0,680	1,173 г/л		
Температура, °C: кипения	35—195	180—360	64,7	78,0	-42	-1	-162		-252,76		-83,8		
застывания	-60 — -80	-10 — -60	-97,8	-114,6	-187	-1	.82	-259,21		-259,21		-78	-
Давление насы- щенных паров при 38°С, кПа	65—92	0,3—0,35	12,6	17	160	-	-	-	-	-	_		
Теплота испаре- ния, кДж/кг	289— 306	210—250	1173	920	412	5	11		-		-		
Стехиометрическ ий коэфф., (кг возд./кг топлива) кг/кг	14,5— 15,0	14,1—14,3	6,51	9,06	15,2	16,8-	-17,4	34	1,8	6,15	13,14		
Температура горения, °С	2063	2016	1912	1962	1876	17	'92	21	.76	1683	2327		
Энергоемкость, МДж/кг	44,0	43,43 — 43,51	19,98	26,9	46,0	48,94-	-50,15	1:	20	18,65	47,82		
Энергоплотность	32,56	36,55	15,88	21,25	24,93	(33,27	20,92	10,8*	8,52	12,65	66,05*		

, МДж/л						— 34,1)*					
Теплота сгорания стехиометрическ ой смеси:											
кДж/м³; H <sub>u</sub> /(1+aL <sub>o</sub> )	2782— 2811	2715— 2790	2770	2785	2840	2740-	-2749	3381		2605	3320
кДж/мг; H <sub>u</sub> / (1+al₀)	3524— 3553	3405— 3418	3783	3838	3520	3121-	-3126	2992		2874	3830
Границы устойчивой работы двигателя по а	0,7—1,1	0,9—5,0	0,7— 1,4	0,7— 1,25	0,7—1,2	0,7-	-1,3	0,6— 5,0		0,9— 1,2	1,3—2,5
Октановое число:											
моторный метод	66—85	-	88— 94	92	90—94	100-	-105	30—40		110	-
исследоват. метод	75—95	-	103— 111	108	93—113	110-	-115	45—90		130	-
Цетановое число						-	-	_	-	-	-
Пожаро- и взрывоопаснос ть			C	средняя	1			высока		низкая	высокая
ПДК, мг/м³	100	300	5	1000	1800	-	-	-	-	20	-
Условия хранения на автомобиле (давление, температура		нормальн	ње		1,6 МПа	20—40 МПа	-165°C	20—40 МПа	-255°C	0,6— 0,7 МПа	1,5—2,5 МПа**

<sup>\*</sup> В МДж/м³.

<sup>\*\*</sup> При наличии флегматизирующих компонентов.

Однако метанол является сырьем в процессе промышленного синтеза диметилэфира (ДМЭ) — хорошего топлива для дизеля. Процесс идет по экзотермической реакции дегидратации метанола: при температуре 300—400 °C и давлении 1 МПа:

$$2CH_3OH \rightarrow CH_3OCH_3 + H_2O$$
.

Однако себестоимость чистого ДМЭ в 2 раза выше себестоимости метанола, поэтому в настоящее время реализованы в промышленном масштабе установки синтеза ДМЭ и метанола из синтез-газа с последующим их разделением процессом ректификации. Затруднения применения ДМЭ в дизеле связаны с тем, что он кипит при температуре минус 24,8 °C и может применяться как газ подачей на впуске либо через клапан регулирования начального давления в дизельной топливной системе.

## 4.2. Расчет смесевых альтернативных топлив для ДВС

Все смесевые <u>альтернативн</u>ые топлива по своим показателям качества, кроме вязкости, в количественном отношении подчиняются закону аддитивности независимо от способа их подачи в двигатель.

Определение показателей качества смесевых топлив, содержащих в долях единицы количество  $g_1$  — традицион-ного топлива и  $g_2$  — <u>альтернативн</u>ого топлива, т. е.  $g_1 + g_2 = 1$ ; если смесевое топливо состоит из n-го числа добавок, тогда  $g_1 + g_2 + ... + g_n = 1$ , а <u>Показатели качества топлив</u> соответствуют показателю качества каждой добавки.

1. Определение энергоемкости (теплоты сгорания), H<sub>u см</sub>, кДж/кг, <u>смесевого</u> топлива:

$$H_{u cm} = H_{u 1} \cdot g_1 + H_{u 2} \cdot g_2 + ... + H_{u n} \cdot g_n$$

где  $H_{u\,1}$ ,  $H_{u\,2}$ ,...,  $H_{u\,n}$  — энергоемкости <u>альтернативн</u>ых топлив, кДж/кг;

 $g_1, g_2,..., g_n$  — массовое количество (в долях единицы) каждого компонента смесевого топлива.

2. Определение октанового числа (ОЧИ)см смесевых бензинов:

$$(OYII)_{CM} = (OYII)_1 \cdot V_1 + (OYII)_2 \cdot V_2 + (OYII)_n \cdot V_n$$

где  $(OЧИ)_{cM}$ ,  $(OЧИ)_1$ ,...,  $(OЧИ)_n$  — октановые числа по исследовательскому методу компонентов смесевого топлива;

 $V_1, V_2, ..., V_n$  — объемы компонентов <u>смесевого топлива</u>.

3. Определение цетанового числа смесевых дизельных топлив (ЦЧ)см:

$$(\Box Y)_{CM} = (\Box Y)_1 \cdot V_1 + (\Box Y)_2 \cdot V_2 + (\Box Y)_n \cdot V_n$$

где (ЦЧ) $_{\text{см}}$ , (ЦЧ) $_{\text{1}}$ ,..., (ЦЧ) $_{\text{п}}$  — цетановые числа смесевого и компонентов смесевого дизельного топлива;

 $V_1, V_2, ..., V_n$  — объемные доли компонентов смесевого дизельного топлива.

4. Определение плотности смесевого топлива (d<sub>см</sub>) при 20 °C, кг/м³:

$$d_{CM} = d_1 \cdot g_1 + d_2 \cdot g_2 + ... d_n \cdot g_n, \kappa \Gamma / M^3,$$

где  $d_1, d_2, ..., d_n$  — плотности компонентов смесевого топлива, кг/м<sup>3</sup>;

 $g_1, g_2, ..., g_n$  — массовые доли компонентов <u>смесевого топлива</u>.

5. Определение стехиометрического количества воздуха (кг) для окисления одного килограмма топлива, кг/кг:

$$l_{0 \text{ cm}} = l_{01} \cdot g_1 + l_{02} \cdot g_2 + ... + l_{0n} \cdot g_n$$

где  $l_0$  1,  $l_0$  2,...,  $l_0$  п — стехиометрические количества воздуха, кг, компонентов смесевого топлива для окисления соответственно  $g_1$ ,  $g_2$ ,...,  $g_n$  — массовых долей компонентов смесевого топлива.

Закону аддитивности подчиняются также теплота парообразования, температура кипения, теплоемкость жидкости и пара, молекулярная масса, элементный состав и некоторые другие показатели.

Если известна химическая формула вещества, предлагаемого как альтернативное топливо или добавка к традиционному топливу для расширения его ресурса, должны быть известны такие первоначальные показатели, как октановое число, определенное по исследовательскому методу, цетановое число, вязкость, которые должны быть определены в лабораторных условиях и рассчитать их не представляется возможным.

Теплоту сгорания, теплоту испарения, теплоемкость углеводородного топлива можно измерить в лабораторных условиях, но в случае необходимости их можно рассчитать по следующим формулам, зная элементный состав топлива [10]:

1. Теплота сгорания (низшая) определяется по формуле Менделеева:

где C, H, S, O, W — соответственно количество в долях единицы углерода, водорода, серы, кислорода, воды; 33913, 125604, 10886 — соответственно <u>теплота</u> сгорания углерода, водорода, серы в кДж/кr; 2512 — теплота конденсации водяных паров, кДж/кr.

2. Теплоемкость топлива: жидкой фазы  $C_t$ , кДж/кг · К, и паровой фазы  $C_p$ , кДж/кг · К, рассчитываются по следующим формулам:

$$\begin{split} &C_t = 4,1868 \; [0,7072 - 0,318 \; d_4^{15} + t_{cp} \; (0,00147 - 0,00055 \; d_4^{15}) \; \cdot \\ &\cdot \; (0,067 \cdot \; K^1 \; + 0,35)] \; , \\ &d_4^{15} = d_4^{20} - \gamma \; (t-20), \end{split}$$

где  $d_4^{15}$  — относительная плотность по воде для топлива при температуре 15 °C;  $d_4^{20}$  — относительная плотность по воде для топлива при температуре 20 °C;  $t_{cp}$  =  $t_{50\%}$  — средняя температура отгонки нефтяного топлива, °C.

$$C_p = 4.1868\{[(4.0 - d_4^{15}) / 6450] (1.8 t_c + 702)(0.146 K^1 - 0.41)\},$$

где  $K^1$  — характеризующий фактор нефтяного топлива;  $K^1=1,216\sqrt[3]{T_{cp}}/d_4^{15}$ , где  $T_{co}=t_{co}+273$ , К.

3. Определение теплоты испарения:

$$r = K_1 (T_{cp} / M) 4,1868, кДж/кг,$$

где  $K_1 = 8,75 + 4,571 \text{ Ig } T_{cp}$  — коэффициент Кистяковского;

М — молекулярная масса;

$$\mathsf{M} = (7 \cdot \mathsf{K}^1 - 21,5) + (0,76 - 0,04 \cdot \mathsf{K}^1) \, \mathsf{t_{cp}} \, + \\ \\ + (0,0003 \cdot \mathsf{K}^1 - 0,00245) \, \mathsf{t^2_{cp}},$$
 где  $\mathsf{K}^1$  — характеризующий фактор,  $\mathsf{K}^1 = 1,216 \sqrt[3]{T_{cp}} \, / \, d_4^{15}$  .

Особое внимание следует обратить на количество кислорода в <u>альтернативн</u>ом топливе, большое количество кислорода может вызвать коррозионную агрессивность.

#### Глава 5

# Анализ показателей качества <u>альтернативн</u>ых топлив и метод оценки их пригодности для применения в существующих конструкциях ДВС

Кислородосодержащие соединения, к которым относятся простые и сложные спирты, простые и сложные эфиры, называемые оксигенатными <u>альтернативн</u>ыми топливами, находят широкое применение в качестве добавок к высокооктановым неэтилированным бензинам.

За рубежом, в таких странах, как США, Германия, Франция, Канада, Швеция и других, широко испытывают и применяют в качестве добавок метанол, этанол, изобутанол, метилтретбутиловый эфир, метилтретамиловый эфир, вторичный изобутанол и другие оксигенатные соединения и их смеси в качестве антидетонационных добавок. В России этими добавками пользуются в меньшей степени.

В бензинах, соответствующих требованиям Евро-3 и Евро-4, снижают содержание ароматических углеводородов, как образующих повышенное нагарообразование. Евро-3 допускает содержание ароматических углеводородов до 42%, Евро-4 – до 35%; в России Евро-3 допускает содержание данных углеводородов до 45%, что касается Евро-4, то в России разработка бензинов, соответствующих требованиям Евро-4, находится в стадии проекта. Агрессивным ароматическим углеводородом является бензол (С<sub>6</sub>Н<sub>6</sub>), Евро-4 ограничивает его содержание одним процентом; в России – 3%. Бензол при сгорании образует полициклические канцерогенные соединения, в том числе и бенз(а)пирен.

Следует отметить, что хотя оксигенатные топлива не образуют большого количества токсичных веществ при сгорании, но сам метанол вредно воздействует на организм человека, вызывая быструю утомляемость, токсична и его метильная группа. за рубежом и в России из метанола предпочитают получать эфиры, которые менее вредны для здоровья человека. К таким эфирам относится метилтретбутиловый эфир (МТБЭ).

Основными преимуществами оксигенатных топлив являются их растворимость в бензинах, полное сгорание и способность расширить ресурсы моторных топлив за счет сырья ненефтяного происхождения. Кроме того, наличие кислорода в молекуле оксигенатного топлива позволяет снизить вредные выбросы по оксиду углерода (СО) на 30%, а по несгоревшим углеводородам — на 15%, однако в 2—4 раза увеличиваются выбросы альдегидов (RCHO). Ограничение содержания ароматических углеводородов в составе смесевого топлива позволит снизить образование альдегидов, так как углеводородный радикал R может являться группой  $C_6H_5$ , т.е. осколком молекулы бензола, и служит причиной их появления в ОГ.

Применение высокооктановых кислородосодержащих компонентов позволяет:

- повысить степень сжатия двигателя, а следовательно, эффективность его работы, так как <u>теплота испарения</u> у оксигенатов в 1,5–3 раза выше, чем у бензина, что вызовет сильное понижение температуры в камере сгорания и цилиндре двигателя;
- снизить содержание в бензине высокооктановых ароматических углеводородов, являющихся источником полициклических канцерогенных ароматических соединений;
- улучшить противообледенительные свойства;
- снизить нагарообразование в двигателе;
- отказаться от применения токсичного антидетонатора тетраэтилсвинца.

Однако спиртобензольные топлива имеют следующие недостатки:

- расслаивание спиртобензольных смесей в присутствии воды;
- повышенная коррозионная агрессивность спиртобензольных смесей по отношению к ряду конструкционных материалов;
- меньшая <u>теплота сгорания</u>, вызывающая повышенный расход топлива для обеспечения одинаковой мощности при эксплуатации двигателя;
- трудности с воспламенением топливно-воздушной смеси;
- необходимость вводить дополнительно стабилизаторы топливной смеси от расслоения;

• применять модификаторы трения в моторном масле.

В таблице 5.1 представлены наиболее важные показатели оксигенатных топлив в сравнении с традиционными топливами, бензинами и дизельными топливами.

Анализ данных таблицы 5.1 показывает, что антидетонационные свойства всех оксигенатных топлив выше, чем у бензинов. Теплота сгорания (кДж/кг) ниже, чем у бензина, что вызывает увеличение объема топливного бака пропорционально отношению энергоплотностей:

объем бака с метанолом 
$$V_{\text{мет}} = V_{\text{бенз}} \cdot Q_{\text{бенз}} / Q_{\text{мет}} = 2,084 \ V_{\text{бенз}}$$
 объем бака с этанолом  $V_{\text{эт}} = V_{\text{бенз}} \cdot Q_{\text{бенз}} / Q_{\text{эт}} = 1,51 \ V_{\text{бенз}}$  объем бака с изобутанолом  $V_{\text{из6}} = V_{\text{бенз}} \cdot Q_{\text{бенз}} / Q_{\text{из6}} = 1,23 \ V_{\text{бенз}}$  объем бака с H-бутанолом  $V_{\text{бут}} = V_{\text{бенз}} \cdot Q_{\text{бенз}} / Q_{\text{бут}} = 1,25 \ V_{\text{бенз}}$  объем бака с МТБЭ  $V_{\text{МТБЭ}} = V_{\text{бенз}} \cdot Q_{\text{бенз}} / Q_{\text{МТБЭ}} = 1,25 \ V_{\text{бенз}}$  объем бака с МТАЭ  $V_{\text{МТАЭ}} = V_{\text{бенз}} \cdot Q_{\text{бенз}} / Q_{\text{МТБЭ}} = 1,10 \ V_{\text{бенз}}$ 

Таблица 5.1

# Сравнительные физико-химические и энергетические показатели кислородосодержащих компонентов моторных топлив

	Нефтяны	е топлива	Morus	Метил-					
Показатели	Бензин авто- мобиль- ный	Дизель- ное топливо	Метил- трет-бути- ловый эфир (МТБЭ)	метил- третами- ловый эфир (МТАЭ)	Мета- нол	Этанол	Изо- бута- нол	н-бута- нол	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	710—760	820—870	740—750	770	790	794	802	810	
Октановое число:									
моторный метод	80—88	_	101—110	99—101	94—95	92—94	96	94	
исследовательский метод	75—95	-	117—125	108—112	110— 112	108— 110	107— 109	99—100	
<u>Цетановое число</u>	8—14	45—55	2	-	3	8	-	_	
Температура, °C:									
кипения	85—195	180—360	48—55	86,3	64,7	78,37	108	117,5	
застывания	ниже — 60	-10, -55	-180	-	-97,8	-114,6	-108	-79,9	
Давление насы- щенных паров, кПа	65—92	0,3—0,35	55,1	10,3	12,6	17	63,9	63,4	

теплота испарения, кДж/кг	289—306	210—250	337	326	1156— 1173	913— 920	-	-	
------------------------------	---------	---------	-----	-----	---------------	-------------	---	---	--

#### Окончание табл. 5.1

	Нефтяны	е топлива	Метил-	NA					
Показатели	Бензин авто- мобиль- ный	Дизель- ное топливо	трет-бути- ловый эфир (МТБЭ)	Метил- третами- ловый эфир (МТАЭ)	Мета- нол	Этанол	Изо- бута- нол	н-бута нол	
<u>Теплота сгорания,</u> кДж/кг	43495	42500	35160	39392	19950	27720	32808	33000	
Предельно-допустимая концентрация паров, мг/м³	100	300	130	-	5	1000	-	10	
Растворимость в воде, % масс.	не раст	воримы	1,4	0,6	неогра	ниченно	11,1	5,7	
Содержание кислорода, %	-	-	18,2	15,7	50	34,7	21,6	21,6	
Энергоплотность, Q, кг/л	33056	36850	26370	30332	15860	21899	26903	26466	

*Примечание.* в разных литературных источниках значения октановых чисел перечисленных компонентов варьируются, что связано с различием методик определения и степенью чистоты продуктов.

Согласно расчетам энергоплотностей наиболее близка к энергоплотности бензина  $Q_{\text{МТАЭ}}$ , т.е. всего на 10% уступает бензину. Кроме того, из всех оксигенатов, представленных в таблице 5.1, наименьшей растворимостью в воде обладает МТАЭ, а теплота его испарения больше примерно на 6,5%, чем у бензина, т.е. при пуске снижение температуры в камере сгорания будет незначительно меньше, чем у бензина.

Следует отметить, что сложные спирты (изобутанол и н-бутанол) имеют энергоплотность, как у МТБЭ, но уступают энергоплотности МТАЭ в пределах 11%. Как заменители бензина МТАЭ, МТБЭ, изобутанол и н-бутанол больше соответствуют в порядке убывания показателям качества бензинов, что не повлечет за собой значительных изменений показателей рабочего процесса при работе двигателя на этих альтернативных топливах. Содержание кислорода у заменителей бензина меньше всего у эфиров МТАЭ и МТБЭ (15,7 и 18,2% масс. соответственно), что не потребует защиты от коррозии деталей двигателя, но, возможно, будет нужна присадка модификаторов трения в моторное масло.

Еще одно положительное свойство у МТАЭ – он растворяется в воде в пределах 0,6% масс., МТБЭ – в пределах 1,4% масс. Что касается метанола и этанола, то они в воде растворяются неограниченно. За рубежом и в России метанол и этанол применяются в меньшей степени как вынужденная добавка к бензиновому топливу для расширения его ресурсов, особенно это касается метанола.

## 5.1. Сравнение показателей качества метанола и этанола

Чистый метанол имеет высокие антидетонационные Показатели качества топлив, высокую теплоту испарения (выше, чем у этанола), но обладает большей ядовитостью. Для человека опасны даже малые дозы жидкого метанола при попадании внутрь (смертельная доза 30 мл), но ядовиты и его пары. Однако при сгорании почти не образуются токсичные вещества. Наличие огромной сырьевой базы и отработанной технологии производства метанола дают возможность для расширения ресурсов бензина за счет добавок высокооктанового компонента из метанола. В настоящее время оптимальная концентрация метанола в бензине составляет 5–20%, что вполне удовлетворяет эксплуатационным требованиям, предъявляемым к бензинам, и обеспечивает большую экономичность двигателя. Стабильность бензометанольных смесей обеспечивается применением стабилизаторов (состоящих из смеси пропанола с бутанолом), которые вводятся перед заправкой (см. табл. 5.1).

Этанольные добавки в бензины нашли широкое использование в странах Латинской Америки и южных штатах США.

За рубежом применяют в бензиновых двигателях смеси 10–20% этанола в бензине (газохол). Высокая концентрация этанола объясняется благоприятными климатическими условиями для выращивания растительного сырья с целью получения этанола.

Согласно стандарту ASTM, разработанному национальной комиссией США по спиртовым топливам, газохол с 10% этанола характеризуется следующими показателями качества:

Плотность, кг/л 0,73-0,66

Температура кипения, °C 25–210

Теплота сгорания, МДж/кг 41,9

Давление насыщенных паров, кПа 55–110

Вязкость при 40 °C, мм<sup>2</sup>/с 0,6.

Приведенные данные показывают, что по большинству показателей газохол соответствует бензину, если будет обеспечено содержание в нем воды не выше допустимых норм (см. табл. 5.1).

Высокие антидетонационные качества определяют преимущественное его использование в бензиновых двигателях с принудительным зажиганием.

Повышенная антидетонационная стойкость простых спиртов дает возможность увеличить степень сжатия на 2—3 ед., чтобы более полно использовать антидетонационную стойкость спиртового топлива. Кроме того, повышенная теплота испарения и низкое давление насыщенных паров будут влиять на понижение температуры в камере сгорания и цилиндре двигателя. Для определения понижения температуры в цилиндре двигателя ( $\Delta t$ , °C) вследствие испарения метанола следует в расчете принять отвод тепла от горючей смеси на единицу массы (Q', кQж/кr), равной подводу тепла на испарение (r) такой же единицы массы, т.е Q' = r. Полное испарение жидкого топлива рассчитывается по формуле:

$$r = G_{CM} \cdot C_{CM} (t_0 - t_1), кДж/кг,$$

где  $G_{\text{см}} = 1 + a l_0$  — масса топливно-воздушной смеси, кг;

 $C_{\rm m}$  — теплоемкость топливно-воздушной смеси, кДж/кг ·К.

Ho 
$$C_{CM}(1 + a I_0) = a I_0 C_B + C_T$$

где  $C_{\scriptscriptstyle B}$  и  $C_{\scriptscriptstyle T}$  — теплоемкости соответственно воздуха и топлива, кДж/кг 'К;  ${\it h}_{\scriptscriptstyle C}$  — стехиометрическое количество воздуха для окисления 1 кг топлива, кг/кг.

Тогда  $\Delta t = r / (a l_0 C_B + C_T)$ , т. е. с увеличением коэффициента избытка воздуха а и снижением количества воздуха ( $l_0$ ) для окисления 1 кг топлива понижение температуры ( $\Delta t$ ) горючей смеси увеличивается [10, с. 46].

Для метанола: r = 1158 кДж/кг;

$$I_0 = 1/23 (8/3 \cdot C + 8 \cdot H - 0), \kappa \Gamma / \kappa \Gamma,$$

где C, H и O — соответственно процентные доли углерода, водорода и кислорода в топливе (метаноле).

Теплоемкость топлива (метанола) определяется по формуле:

$$C_t = 4,1868 [0,7072 - 0,318 \cdot d_{15} + t_{KMII} (0,00147 - 0,00055 \cdot d_{15}) \times d_{15}$$

$$\times$$
 (0,067 K' + 0,35)], кДж/кг · К [10, с. 43],

$$d_{15} = d_{20} - \gamma (15 - 20),$$

где  $d_{15}$  и  $d_{20}$  — плотности метанола при 15 и 20°С;

ү — поправка изменения плотности на каждый градус изменения температуры;

$$T_{KM\Pi} = 273 + t_{KM\Pi}, K;$$

$$C_t = 3,7824$$
, кДж/кг 'К;

 $\Delta t = 112,38$ °С — понижение температуры в цилиндре;

 $t_1 = t_0 - \Delta t = -92,40 \ ^{\circ}\text{C}$  — температура в цилиндре после испарения метанола. Понижение температуры в цилиндре столь значительно, что затрудняет пуск, прогрев и работу двигателя на метаноле.

Перевод бензинового двигателя на работу на метаноле или этаноле потребует увеличить объем топливного бака (V) пропорционально отношению энергетических плотностей бензина и спиртового топлива (см. табл. 5.1).

#### Энергоплотность метанола:

$$Q_{MET} = H_{MMET} \cdot d^{20}_{MET}$$
, кДж/л,

где  $H_{\text{и мет}}$  — <u>теплота сгорания</u> метанола, кДж/кг;

 $d^{20}_{MET}$  — плотность метанола, кг/л;

$$Q_{MET} = 19950 \cdot 0,790 = 15860,5 кДж/л;$$

$$Q_{\,\text{эт}} = H_{\,\text{и}\,\text{эт}} \cdot d_{\,\text{эт}} = 27720 \cdot 0,790 = 21900, кДж/л;$$

$$V_{MET} = V_{6eH3} \cdot Q_{6eH3} / Q_{MET} = 2,084 V_{6eH3}, \pi;$$

$$V_{\mbox{\tiny ЭТ}} = V_{\mbox{\tiny бенз}} \cdot Q_{\mbox{\tiny бенз}}$$
 /  $Q_{\mbox{\tiny ЭТ}} = 1,51 \ V_{\mbox{\tiny бенз}},$  л.

Если обеспечить нормальную работу дизеля на метаноле, то

$$V_{MET} = V_{DT} \cdot Q_{DT} / Q_{MET} = (42500 / 15860,5) V_{DT} = 2,68 \cdot V_{DT}, \pi.$$

Расчеты показывают, что работа двигателя на метаноле как бензинового, так и дизеля требует увеличения объема бака в 1,5—2,7 раза больше, чем на традиционном топливе.

#### 5.2. Применение спиртов в дизелях

Применение спиртовых топлив в дизелях связано с низкой самовоспламеняемостью вследствие малых цетановых чисел, высокой температурой воспламенения, плохим смазыванием прецизионных пар насоса высокого давления (ТНВД) и иглы форсунки, неустойчивой композицией спиртодизельного топлива, снижением температуры в КС.

Фирма МАН (Германия) провела комплекс работ по созданию дизеля, работающего на метаноле на автобусах К-200. устойчивость смеси метанолодизельного топлива достигалась вводом стабилизаторов, роль которых выполняли поверхностно-активные вещества. Фирма «Фольксваген» разработала спиртодизельное топливо состава: 70% дизельного топлива, 25% этанола и 5% стабилизатора.

Для обеспечения надежной эксплуатации дизелей на спиртодизельном топливе рекомендуется в состав топлива вводить присадки:

- алкилнитраты для улучшения воспламеняемости спиртов;
- касторовое масло (до 1%) для улучшения смазывающих свойств;
- специальные смазочные масла с присадками, снижающими износ прецизионных пар в дизеле.

При использовании оксигенатных топлив в дизелях их можно применить, подавая в двигатель на впуске с воздухом. Для этого следует определить понижение температуры в камере сгорания и цилиндре от испарения топлива и отвода тепла от топливно-воздушной смеси.

Для метанола понижение температуры в дизеле составило минус 92,38 °C, т. е. детонация при высоких степенях сжатия дизеля не возникает. Самовоспламенение смесевого топлива обеспечивается запальным топливом. Для при-

мера дается расчет понижения температуры в камере сго-рания и цилиндре дизеля при подаче диметоксиметана ( $CH_3OCH_2OCH_3$ ) на впуске в дизель вместе с воздухом (см. табл. 4.1 на с. 53):

$$\Delta t = r / (a l_0 \cdot C_B + C_t) = 349 / (1.7,323.1 + 1,81716) = 9,14016 °C;$$

 $\Delta t = t_0 - t_1$ ;  $t_1 = 20 - 9,14016 = 10,86$  °C — температура в цилиндре после испарения диметоксиметана.

Расчет параметров, входящих в формулу Δt:

$$I_0 = 1/23(8/3 \text{ C} + 8 \cdot \text{H} - \text{O}), \ \kappa \Gamma / \kappa \Gamma; \ \text{M} = 76; \ \text{C} = 47,368\%; \ \text{H} = 10,526\%; \ \text{O} = 42,105\%; \ \text{r} = 4,1868 \cdot \text{K}_1(\text{T}_{cp} / \text{M}) = 349, \ \kappa \text{Дж/к}\Gamma, \ \text{где T}_{cp} = \text{T}_{\kappa \text{M}} = \text{t}_{\kappa \text{M}} + 273 = 314,7 \ \text{K}; \ \text{K}_1 = 8,75 + 4,571 \cdot \text{lg T}_{cp} = 20,128; \ \text{d}_{15} = \text{d}_{20} - \text{Y} \ (15 - 20) = 0,8702; \ \text{C}_t = 4,1868[0,7072 - 0,318 \cdot \text{d}_{15} + \text{t}_{cp}(0,00147 - 0,00055 \cdot \text{d}_{15})(0,067 \cdot \text{K'} + 0,35)], \ \kappa \text{Дж/к}\Gamma \cdot \text{K}; \ \text{K'} = 1,216^3 \sqrt{\text{T}_{cp}} \ / \ \text{d}_{15} = 3,505; \ \text{C}_t = 1,81716, \ \kappa \text{Дж/к}\Gamma \cdot \text{K}.$$

# 5.3. Расчет отклонений показателей качества при применении <u>альтернативн</u>ого топлива в бензиновом двигателе

Основные характеристики кислородосодержащих компонентов автомобильных бензинов представлены в таблице 5.2.

Расчет ведется для существующих конструкций бензиновых двигателей с принудительным воспламенением по следующей программе (рис. 5.1).

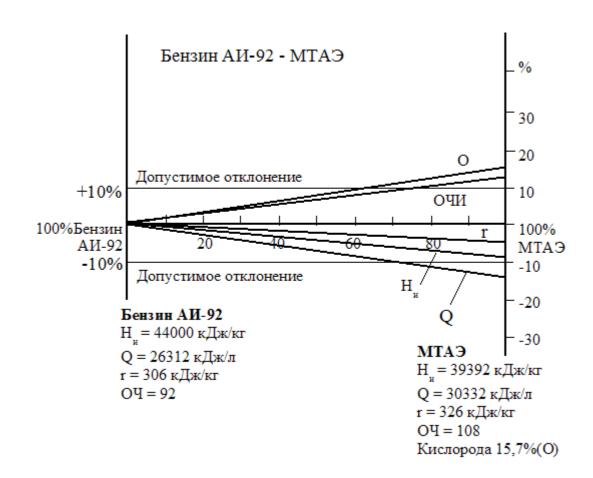


Рис. 5.1. Расчет показателей качества МТАЭ как топлива для бензинового двигателя

Таблица 5.2

# Основные характеристики кислородосодержащих компонентов автомобильных бензинов

Название показателей	Базовый автомо- бильный бензин	Мета- нол	Этанол	Изо- про- панол	Н-бута- нол	Изо- бута- нол	Втор- бута- нол	Трет- бута- нол	МТБЭ	ЭТБЭ	МТАЭ	дипэ
Плотность, кДж/л при 20°C	0.710— 0.770	0.790	0.794	0.780	0.810	0.802	0.806	0.786	0.746	0,748	0.770	0.770
Октановое число (моторный метод)	72—85	94	93	95	94	96	98	95	100	102	96	98
Октановое число (иссле- довательский метод)	75—95	111	108	117	100	108	110	106	125	114	108	112

Температура кипения. °С	30—215	64.7	78.4	82.4	117.5	108	99.5	83	55	72	86.3	68
Температура застывания. °C	-60-80	-97.8	-114,6	-89.5	-79.9	-108	-115	-26	-108	-	-	-
<u>теплота</u> <u>испарения</u> . кДж/кг	180—306	1158	913	666	-	-	562	536	337	-	326	-
Энергоплотность, кДж/л	34320	15760	22010	25974	26730	26312	26459	25898	26229	26928	30332	30304
Массовая <u>теплота</u> <u>сгорания</u> . кДж/кг	44000	19950	27720	33300	33000	32808	32827	32949	35160	36000	39392	39356
Массовая доля кислорода,%	-	50	34.7	26.6	21.6	21.6	21.6	21,6	18,2	15.7	15,7	15,7
ПДК паров, кг/м3	100	5	1000	980	10	-	150	100	130	_	-	-
Давление насыщенных паров при 38°С. кПа	65—92	12.6	17	40.5	63.4	63.9	72.9	105	55.1	66,2	10.3	30
Растворимость в воде при 20°C, %	нераство- римый	неогра- нич.	неогра- нич.	-	5.7	ил	12.5	неогра- нич.	1.3	-	0,6	-
Растворимость воды при 20°C. % масс.	нераство- римый	неогра- ним.	-	16.4	40	неогра- нич.	-	-	-	-		
Максимальная допустимая объемная доля в бензине. %	100	3	10	7	сораст- ворители метанола	9	7	15	15	15	15	_

**Пример 1.** Из табл. 5.2 выбирается <u>альтернативн</u>ое топливо и его основные <u>Показатели качества топлив</u> Показатели качества топлив сравниваются с показателями качества бензина. В примере дается расчет отклонений МТАЭ бензина АИ-92 в топливе бензин + метилтретамиловый эфир (см. рис. 5.1).

Все расчеты производятся по формулам:

$$[{\sf H}_{\sf и\, (бен)}\, - \,{\sf H}_{\sf и\, (MTAЭ)}]\,\cdot\,100$$
 /  ${\sf H}_{\sf и\, (бен)}\, - \,$  отклонение  $-\,10,47\%$  теплоты сгорания;

$$H_{\text{и (бен)}} = 44000 \ \text{кДж/кг;} \ H_{\text{и (МТАЭ)}} = 39392 \ \text{кДж/кг;}$$

$${\rm [Q_{\, {\rm 6eH}}-Q_{\, {\rm MTA}}]:100\:/\:Q_{\, {\rm 6eH}}-}$$
 отклонение энергоплотности — 15,27%;

 $Q_{6eH}=26312\ кДж/л;\ Q_{MTA9}=30332\ кДж/л;$   $[r_{6eH}-r_{MTA9}]\cdot 100\ /\ r_{6eH}-$  отклонение теплоты испарения — 6,54%;  $r_{6eH}=306\ кДж/л;\ r_{MTA9}=326\ кДж/л;$   $[OЧ_{6eH}-OЧ_{MTA9}]\cdot 100\ /\ OЧ_{6eH}-$  отклонение ОЧ по исследовательскому методу — 13%;  $OЧ_{6eH}=92;\ OЧ_{MTA9}=108;$  количество кислорода  $(O_{6eH}-O_{MTA9})\cdot 100\ /\ O_{6eH}=15,7\%;$   $O_{6eH}=0;\ O_{MTA9}=15,7\%.$ 

Результаты отклонений (%) показателей качества МТАЭ от бензина АИ-92 отложены на правой шкале рис. 5.1.

Анализ показателей качества МТАЭ и их отклонение от показателей качества АИ-92 показали, что практически МТАЭ может заменить бензин целиком, объем (V) бака с топливом МТАЭ не требует увеличения, так как  $V_{\text{МТАЭ}} = V_{\text{бен}} \cdot Q_{\text{бен}} / Q_{\text{МТАЭ}} = 0,87 V_{\text{бен}}$ , т. е. в одинаковых условиях эксплуатации (одинаковая максимальная скорость автомобиля, одинаковое расстояние от заправки до заправки) запаса топлива МТАЭ достаточно, имея объем бензинового бака.

При теплоте испарения, незначительно превышающей теплоту испарения бензина, пуск бензинового двигателя не увеличится во времени, так как принудительное воспламенение создаст нормальные условия воспламенения. Некоторое повышение количества кислорода в топливе МТАЭ возможно улучшит сгорание топлива, но не вызовет коррозию ЦПГ.

**Пример 2.** Из табл. 5.2 и аналогично примеру 1 дается расчет отклонений вторбутанола (ВБ) как заменителя бензина АИ-92 и дизельного топлива.

Анализ отклонения теплоты испарения ВБ от теплоты испарения дизельного топлива составил 144%; цетанового числа — 93%; теплоты сгорания — 22,76%, что делает абсолютно невозможным для применения его в дизеле. В бензиновом двигателе допустимо его применение не более 9%, как добавки в бензин, хотя сильное понижение температуры в цилиндре двигателя не повлияет на температуру кипения (99,5%, см. табл. 5.2).

Пример 3. Пример расчета смесевого топлива для дизеля.

Задача: определить необходимую и достаточную добавку <u>альтернативн</u>ого топлива к дизельному, не нарушающую протекание рабочего процесса дизеля, особенно процесса самовоспламенения (рис. 5.2).

Расчет отклонений <u>альтернативн</u>ого топлива как до-бавки к дизельному топливу представлен в табл. 5.3 и на рис. 5.3.

<u>Альтернативное топливо</u> — это легкие синтетические парафиновые углеводороды из природного газа (ЛСПУ) и диметилэфир (ДМЭ) (см. табл. 5.3).

Таблица 5.3 **Физико-химические свойства ряда** <u>альтернативн</u>ых топлив

Свойства	дмэ	Пропан	Бутан	ЛСПУ	ДТ (3. ГОСТ 305—82)
Химическая формула	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub>	
Низшая <u>теплота сгорания</u> , МДж/кг	27,3	46,5	45,8	45,02	42,5
<u>Цетановое число</u>	55	18	22	60,5	47,3
Молекулярная масса	46,07	44,1	58,12	101,25	204,26
Плотность жидкой фазы при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	668	585	600	690,7	828
Плотность газ. фазы (норм. услов.), кг/м <sup>3</sup>	1,59	2,019	2,703		
Вязкость жидкой фазы, мм²/с	0,15	0,15	0,18	1,31	3,53
Давление насыщенных паров при 20 °C, бар.	5,1	8,4	2,1		0,069 при 38°C
Средняя температура кипения, °C	-24,9	-42,1	-0,5	102,5	280
Температура самовоспламенения, °С	235	470	400		380
теплота испарения, кДж/кг	410 при 20°C	344	358	319	238
Стехиометрическое число, кг/кг	9,1	15,8	15,6	14,82	14,13
Скорость звука при 20 °C, м/с	860	800	900	1100	1260
Энергоплотность, кДж/л	-	-	-	31050	35190

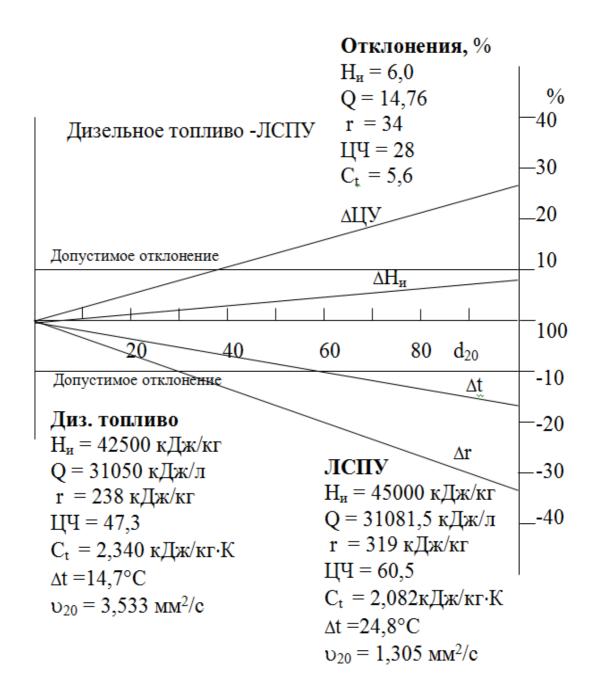


Рис. 5.2. Расчет отклонений при добавке ЛСПУ к дизельному топливу (смесь диз. топлива + 30% ЛСПУ)

Нормальное сгорание будет происходить при 30% добавке ЛСПУ, так как снижение температуры ( $\Delta t$ ,°C) в камере сгорания дизеля, зависящее в первую очередь от теплоты испарения, по расчетам после добавки к смесевому топливу составит 50% ЛСПУ, превышая допустимые отклонения.

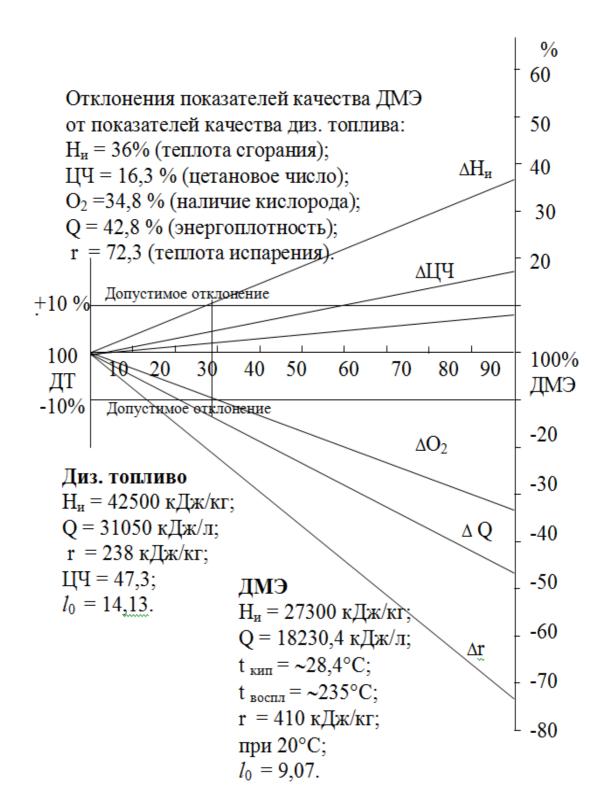


Рис. 5.3. Расчет отклонений при применении диметилэфира (ДМЭ) как добавки к дизельному топливу

На торможение процесса самовоспламенения в первую очередь влияет снижение температуры ( $\Delta T$ ) в камере сгорания дизеля вследствие отвода тепла от топливно-воздушной смеси за счет теплоты парообразования и в очагах самовоспламенения топлива, поэтому необходимо ограничить применение ЛСПУ в смесевом топливе не более 30%. В связи с тем, что температура понижается по

расчетам после добавки 40% ЛСПУ, оно применяется в смеси с дизельным топливом. Высокое <u>цетановое число</u> ЛСПУ компенсирует снижение температуры в камере сгорания, не превышая допустимого отклонения (см. рис. 5.3).

Снижение вязкости вызовет интенсивный износ прецизионных пар топливного насоса высокого давления и иглы форсунки; для увеличения вязкости в смесевое топливо необходимо добавить антифрикционную присадку для снижения износа (1% касторового масла).

Главное преимущество ЛСПУ — его растворимость в любых соотношениях с дизельным топливом.

При нормальных условиях диметилэфир (ДМЭ) — газ, так как он кипит при температуре минус 24,8  $^{\rm o}$ C, т. е. смешиваться с дизельным топливом не может, поэтому подача его в дизель должна быть раздельной. Это значит, что дизель должен быть оборудован двойной системой подачи.

Поскольку ДМЭ — газ, а температура его кипения отрицательная, то, очевидно, подавать его следует на впуске с воздухом.

ДМЭ в своем составе содержит 34,7% кислорода, т. е. недоокисления дизельного топлива не произойдет.

При хранении на транспортном средстве ДМЭ будет размещен в баллонах под небольшим давлением, как это происходит при применении смеси сжиженных газов (пропан-бутана). Высокое <u>цетановое число</u> (55—60 ед.) и по-ниженная температура самовоспламенения (23,5 °C) обес-печат нормальную работу дизеля на смесевом топливе (100% ДМЭ + 30% ДТ) на всех режимах работы.

При этом теплота сгорания составит:  $H_{\text{исм}} = 0.3 H_{\text{идт}} + H_{\text{идм}} = 40 050 кДж/кг, т. е. несмотря на меньшую теплоту сгорания смесевого топлива по сравнению с дизельным, смесевое топливо будет сгорать без нагарообразования, полностью и практически без дымности. Точная дозировка запального топлива определяется при первичных испытаниях смесевого топлива.$ 

Регулирование рабочего процесса будет осуществляться запальным топливом.

Топливный насос высокого давления (ТНВД) должен быть снабжен ограничителем перемещения рейки. поскольку высокое <u>цетановое число</u> принадлежит и ДМЭ и дизельному топливу, то запуск дизеля может осуществляться также на смесевом

топливе, но это должно определиться только при испытаниях дизеля на смесевом топливе.

## **Пример 4.** Общий анализ <u>альтернативн</u>ого топлива.

- 1. По предложенному из табл. 5.1, 5.2, 5.3 заданию по показателям качества <u>альтернативн</u>ого топлива студент определяет, к какому виду двигателей может быть применено данное топливо.
- 2. Обязательно вычисляются тепловые Показатели качества топлив: теплота сгорания ( $H_{\text{м}}$ , кДж/кг); энергоплотность (Q, кДж/л); теплота испарения (r, кДж/л); если необходимо теплоемкость ( $C_{\text{t}}$ , кДж/кг  $\cdot$ К;  $I_{\text{0}}$  расход воздуха ( $G_{\text{в}}$ ) на 1 кг топлива.
- 3. Если в таблицах отсутствует показатель молекулярной массы, его следует рассчитать по формулам, чтобы определить понижение температуры  $\Delta t$  за счет отвода тепла на испаряемость [10, с. 15, 43, 45, 46].
- 4. Построить график отклонений (%) <u>альтернативн</u>ого топлива от показателей качества стандартного топлива и определить допустимые границы отклонений плюсминус 10%.
- 5. Провести анализ отклонений показателей качества и дать рекомендации, как наиболее рационально использовать <u>альтернативн</u>ое топливо.
- 6. Выяснить, можно ли использовать данное <u>альтернативн</u>ое топливо в другом виде двигателя и каким образом.
- 7. Определить, какие трудности возникнут при эксплуатации данного <u>альтернативн</u>ого топлива.
  - 8. После выполнения работы представить ее к защите на семинаре.

Если не были известны некоторые показатели для <u>традиционного топлива</u> или его компонентов, то их можно вычислить по следующим формулам [10].

Теплотворная способность для углеводородного топ-лива, кДж/кг:

$$H_{\text{M}} = 33913 \cdot \text{C} + 125604 \cdot \text{H} + 10886 \text{ (S-O)} - 2512 \text{ (9} \cdot \text{H} + \text{W)},$$

где 33913, 125604+10886 — <u>теплота сгорания</u> соответственно углерода ©, водорода (H), серы (S) кДж/кг;

 $\mathsf{C},\,\mathsf{H},\,\mathsf{S},\,\mathsf{O}$  — массовые доли соответственно углерода, водорода, серы, кислорода;

2512 (9· H + W) — теплота конденсации паров воды;

 $I_0 = (1/0,23) \cdot [(8/3) \cdot C + 8H + 2S - O]$ , кг возд/кг топлива;

С, H, S, О — доли элементов в топливе.

Молекулярная масса нефтяного традиционного топ-лива:

$$M = (7 \cdot K' - 21.5) + (0.76 - 0.04 \cdot K') t_{cp} + (0.0003 \cdot K' - 0.00245) t_{cp}^{2}$$

где К — характеризующий фактор:  $K'=1,216^3\sqrt{T_{cp}/d_{15}}$ , где  $T_{cp}=t_{cp}+273$  K,  $t_{cp}=t_{50\%}$ ;  $d_{15}$  — плотность при 15°C.

Теплоемкость жидкой фазы ( $C_t$ ), кДж/кг $\cdot$  К при средней температуре кипения, кДж/кг $\cdot$  К:

$$C_t = 4,1868[0,7072 - 0,318 \cdot d_{15} + t_{cp}(0,00147 - 0,00055 \cdot d_{15})(0,067 \cdot K' + 0,35)],$$

где  $t_{cp}$  — средняя температура отгонки нефтяного топлива, °C;

d<sub>15</sub> — относительная плотность нефтепродукта при 15°C;

$$d_{15} = d_{20} - \gamma (t - 20);$$

d<sub>20</sub> — относительная плотность при 20°C;

t — температура 15°C;

 $\gamma$  — изменение относительной плотности нефтепродукта при изменении его температуры на 1°C.

Теплоемкость паровой фазы:

$$C_p$$
 = 4,1868{[(4,0 —  $d_{15}$ ) / 6450] (1,8 ·  $t_{cp}$  + 702)(0,146 · K` — 0,41)}, кДж/кг· K;

 $C_p$  — истинная теплоемкость паров топлива при средней температуре, кДж/кг · K;

$$K$$
 — характеризующий фактор;  $K$  =1,216 $^{3}$ √ $T_{cp}$ /  $d_{15}$ ;

 $d_{15}$  — относительная плотность при 15°C.

Теплота парообразования r, кДж/кг для углеводородных топлив рассчитывается по формуле Трутона и Кистяковского:

$$r = K_1(T_{cp}/M) \cdot 4,1868, кДж/кг;$$

$$K_1 = 8,75 + 4,571 \cdot \lg T_{cp}$$
;  $T_{cp} = t_{cp} + 273$ , K;

T<sub>ср</sub> — средняя температура кипения нефтепродукта, К;

$$T_{cp} = t_{cp} + 273;$$

М — молекулярная масса топлива;

 $\Delta t = r / (a \cdot I_0 \cdot C_B + C_t)$ , °С — понижение температуры при впрыске топлива в цилиндр.

Принять a = 1;  $C_B = 1 \ \kappa \Delta ж/кг \cdot K$ .

#### Темы письменных работ и устных ответов

- 1. Современные топлива для бензиновых двигателей.
- 2. Современные топлива для высокооборотных дизелей:
- а) топлива стандартные (ГОСТ 305—82);
- б) топлива расширенного фракционного состава (РФС).

- 3. Применение топлив утяжеленного состава:
- а) топлива утяжеленного фракционного состава (УФС);
- б) топлива с добавкой легкого газойля каталитического крекинга (ЛГКК) с наличием в нем гетероатомных соединений.
- 4. Проблема применения газообразного топлива для бензиновых двигателей: природного и сжиженного газа.
- 5. Проблемы применения газообразного топлива в дизелях.
- 6. Производство альтернативных топлив из метана и метанола.
- 7. Анализ особенностей применения простых спиртов (метанола, этанола) в топливах для ДВС.
- 8. Сложные спирты как топливо для бензиновых двигателей и дизелей.
- 9. Оксигенатные топлива для ДВС.
- 10. Диметиловый эфир как топливо для ДВС.
- 11. Водород как топливо для ДВС.
- 12. Применение легких синтетических парафиновых углеводоров в дизеле.
- 13. Примеры анализа влияния добавок спиртов к бензину и дизельному топливу на рабочий процесс бензинового двигателя и дизеля и на его токсичность.
- 14. Примеры анализа влияния добавок оксигенатных топлив к бензину дизельному топливу на рабочий процесс бензинового двигателя и дизеля.

# Темы рефератов (для остальных студентов)

- 1. Применение простых и сложных спиртов в бензиновом двигателе. Преимущества и недостатки спиртового топлива по сравнению с бензином.
- 2. Применение оксигенатных топлив в бензиновом двигателе. Влияние показателей качества оксигенатных топлив на токсичность отработавших газов и рабочий процесс двигателя по эффективности и экономичности.
- 3. О перспективе применения синтетического топлива из природного газа, каменного угля и другого сырья в двигателе внутреннего сгорания.
- 4. Применение диметилэфира как дизельного топлива.
- 5. Применение диметилтоксина как дизельного топлива.
- 6. Применение легких синтетических парафиновых углеводородов в качестве добавки к дизельному топливу.
- 7. Анализ систем двойной подачи топлив в дизель.

Темы рефератов (для продвинутых магистрантов, участвующих в студенческих научно-технических конференциях):

1. Применение простых и сложных спиртов в бензиновом двигателе. Преимущества и недостатки спиртового топлива по сравнению с бензином.

- 2. Применение оксигенатных топлив в бензиновом двигателе. Влияние показателей качества оксигенатных топлив на токсичность отработавших газов и рабочий процесс двигателя по эффективности и экономичности.
- 3. О перспективе применения синтетического топлива из природного газа, из каменного угля и другого сырья в двигателе внутреннего сгорания.
  - 4. Применение диметилэфира как дизельного топлива.
  - 5. Применение диметилтоксина как дизельного топлива.
- 6. Применение легких синтетических парафиновых углеводородов в качестве добавки к дизельному топливу.
  - 7. Анализ систем двойной подачи топлив в дизель.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ

# Темы лекций

- 1. Современная структура добычи и глубина переработки нефти по количеству производства светлых нефтепродуктов из одной тонны нефти. ГОСТы и технические условия (ТУ) производства бензинов и дизельного топлива. Эффективные методы переработки современных традиционных углеводородных топлив.
  - 2. Традиционные топлива для двигателей внутреннего сгорания:

**Бензины.** <u>Показатели качества топлив</u>. Анализ эксплуатационных характеристик. Предлагаемые заменители бензинов.

**Дизельное топливо** для автотракторных двигателей. <u>Показатели качества</u> топлив дизельных топлив. Предлагаемые заменители.

- 3. Применение природного газа (метана) в бензиновых двигателях. Преимущества и недостатки метана как топлива для бензиновых двигателей существующих конструкций.
- 4. Применение метана в дизеле. Трудности приспособления дизеля на работу на природном газе в существующих конструкциях дизелей.

- 5. Применение сжиженного нефтяного газа в бензиновом двигателе (пропанбутановая фракция). Преимущества и недостатки сжиженного газа как топлива для бензинового двигателя.
- 6. Применение сжиженного нефтяного газа в дизеле. Анализ трудностей приспособления дизеля на работу на сжиженном газе. Способы подачи сжиженного газа с применением системы регулирования начального давления.
- 7. Особенности применения газового конденсата как топлива для двигателей внутреннего сгорания.
- 8. Метанол и этанол как заменители бензинов. Современное производство метанола и этанола. Анализ показателей качества спиртового топлива и их влияния на рабочий процесс бензинового двигателя и токсичность отработавших газов. Особенности применения метанола и этанола в дизеле.
- 9. Оксигенатные топлива как заменители бензинов. Производство оксигенатных топлив (простых и сложных эфиров). Анализ показателей качества и их влияния на рабочий процесс бензинового двигателя и токсичность отработавших газов. Преимущества оксигенатных топлив по сравнению с метанолом и этанолом.
- 10. Водород как топливо для бензиновых двигателей и дизелей. Хранение водорода на борту транспортного средства. Методы подачи водорода в двигатель. Трудности производства и эксплуатации водорода для двигателей внутреннего сгорания.
- 11. Синтетическое топливо для дизелей и бензиновых двигателей. Преимущества и недостатки. Токсичность и дымность отработавших газов при работе двигателя на синтетическом топливе. Применение легких синтетических парафиновых углеводородов как топливо для дизелей [5].
- 12. Диметаксиметан как новое предлагаемое <u>альтернативн</u>ое топливо для дизелей. Особенности применения. Токсичность отработавших газов, дымность.
- 13. Диметиловый эфир как топливо для дизеля. Преимущества и недостатки. Стабильность горения. Выбросы токсичных веществ с отработавшими газами. Дымность.
- 14. Способы подачи в дизель <u>альтернативн</u>ых топлив, несмешиваемых с традиционным топливом (двойная система подачи, эмульгация, подача по системе регулирования начального давления в системе подачи и другие) [6, с. 1—6].

- 1. Топливо и энергетика России. Серия: Справочник специалиста топливно-энергетического комплекса. М.: Энергия, 2004. 596 с.
- 2. Оптимизация качества дизельного топлива с целью расширения его ресурсов / Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность. Серия: Обзоры по обеспечению комплексных программ. Выпуск № 2. М., 1988. 77 с.
- 3. *Емельянов В. Е.* Автомобильный бензин и другие виды топлива: свойства, ассортимент, применение / В. Е. Емельянов, И. Ф. Крылов. М.: Астрель: АСТ6 Профиздат, 2005. 207 с.
- 4. *Кузнецов А. В.* Топливо и смазочные материалы. М.: Колосс, 2007. 199 с. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
- 5. *Чулков П. В.* Моторные топлива: ресурсы, качество, заменители: Справочник. М.: Политехника, 1988. 416 с.
- 6. *Горбунов В. В., Шкаликова В. П.* Использование природного газа для производства жидкого моторного топлива для дизелей // Научно-технический сборник «Природный газ в качестве моторного топлива: РАО «Газпром». М.: Газпром, 1997. № 2. с. 7—17.
- 7. Григорьев Е. Г., Колубаев Б. Д., Ерохов Б. И. и др. Газобаллонные автомобили. М.: Политехника, 1989. 265 с.
- 8. Газарян Г. Т., Патрахальцев Н. Н., Шкаликова В. П. и др. Возможности расширения ресурсов дизельных топлив применением легких синтетических углеводородов в качестве добавки // Двигателестроение. 1986. № 12. с. 26—29.
- 9. Азев В. С., Патрахальцев Н. Н., Шкаликова В. П. и др. Особенности применения в автотракторном дизеле утяжеленных топлив с добавкой легких синтетических парафиновых углеводородов // Двигателестроение. 1990. № 6. с. 24, 33—36.
- 10. *Патрахальцев Н. Н., Шкаликова В. П.* Топлива, рабочие тела и их свойства. Задачи и решения: Учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2002. 67 с.: ил.
- 11. Данилов А. М. Присадки и добавки. Улучшение эколо-гических характеристик нефтяных топлив. М.: Химия, 1996. 232 с.
- 12. ГК СССР по делам изобретений и открытий, авт. свид. № 1113402 «Топливо для дизеля», зарегистрировано 15 мая 1984 г. Заявитель: Шкаликова В. П. (УДН им. Патриса Лумумбы).

13. ГК СССР по делам изобретений и открытий, авт. свид. № 1278474, зарегистрировано 22 августа 1986 г.

14. ГК СССР по делам изобретений и открытий, авт. свид.№ 1643770, зарегистрировано 22 декабря 1990 г. «Способ организации рабочего процесса».

# Коллекция интернет-ссылок

## Нефть и методы ее переработки

- Состав и свойства нефти
  - o www.uchmarket.ru/d 9381.htm
  - o www.bizbook.ru/book.html?top id=19
  - www.edu-zone.net/show/53437.html
  - o achem.ru/catalog.jsp?rubric=1
  - o <u>anchemistry.ru/ref/8kologi2eskimi\_svo1stvami.html</u>
- Методы переработки нефти
  - <u>festival.1september.ru/articles/101755/</u>
  - 77.234.201.94/referat/printref/id.21297\_1.html
  - www.neftemir.ru/modules/news/article.php?storyid=78
  - www.kommersant.ru/doc.aspx?DocsID=889583&print=true
  - stateynik.com/rd/13/index.php/13/page/u\_56971265/

### Современные автомобильные бензины

- Современные автомобильные бензины из нефти
  - www.neftesnab.info/pages/benzin/
  - www.autofag.ru/default.asp?Sect=128&Art=2136
  - www.bnp-azs.ru/resources/pressa/p\_2.pdf
  - www.apris.ru/papers/n11/mohnatkin ntp 4.doc
  - www.rbcdaily.ru/2008/03/04/tek/326640
  - x4vi6tsv.nm.ru/204987418.html
  - www.cntd.ru/noframe/free-ref-tech?d&nd=1200053501&nh=0
  - www.kupim.by/bynews-2-19.html
  - wiki.autoforum.su/Бензин
- Краткие сведения о работе бензинового двигателя
  - wiki.autoforum.su/Бензин
  - slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/a/a6/1011702.htm
  - autokadabra.ru/clubs/freestyle/BMWE34/9994/
  - tehnonik.ru/vneh.htm
  - www.physel.ru/content/view/326/26/

- www.tdiservice.ru/technology/fsi.php
- spiritofmaat.ru/mar2/engine.html
- www.generator-online.ru/articles/?id=16
- bibliotekar.ru/enc-Tehnika/68.htm

## • Современные дизельные топлива из нефти

- www.dizeloil.ru/newsdesk\_info.php/newsPath/3/newsdesk\_id/1
- www.mz-post.ru/articles/3/
- nxsi.ru/dizelnoe toplivo
- www.sq-dizel.ru/info7.php
- www.akm.ru/rus/conferences/080421/prez/chubenko.ppt
- www.armavir.ru/articles/auto/index.php?ELEMENT ID=592
- autorambler.ru/journal/events/10.07.2008/560879412
- www.mojbred.com/1560.html

#### Альтернативные топлива

- Альтернативные топлива для дизелей и бензиновых двига-телей
  - www.mojbred.com/1560.html
  - <u>stroy-technics.ru/article/alternativnye-topliva</u>
  - www.slovar.prometey.org/dictionary/d5/2082.html
  - www.inno.ru/project/15501/
  - www.rg.ru/2008/07/08/reg-chernoz/vot-takaia.html
  - <u>www.shell.com/home/content/ru-ru/news\_and\_library/news/2008/news080212\_airbus.html</u>
  - www.bosch-auto.com.ua/language1/news/press-realizes/alternativefuel/index.html
  - supertoplivo.ru/posts/15
  - prizrak.ws/viewtopic.php?id=737
  - www.cardriver.ru/node/19397
  - www.alfametal.ru/?id=toplivo
  - av.by/forum/viewtopic.php?t=14687
  - www.regnum.ru/news/962853.html
  - klerk.ru/more/?111644
  - www.free-lance.ru/users/Yarva/upload/f 47fcc642684b9.doc
  - www.bioethanol.ru/biodiesel/news/zhirnoe\_toplivo/
- Расчет показателей качества смесевых альтернативных топлив для ДВС
  - o elib.altstu.ru/elib/books/Files/Vestn 2000 02/11/11.htm
  - www.fuelalternative.com.ua
  - o www.liga.net/smi/show.html?id=176593
  - o ethanol.narod.ru/vkd news.htm
  - www.avtomash.ru/guravto/2006/20060201.htm

# Анализ показателей качества альтернативных топлив и метод оценки их пригодности для применения в существующих конструкциях ДВС

- Сравнение показателей качества метанола и этанола
  - www.infodez.ru/production/dodesept\_neokr/dodesept-neok-mu-010411.doc
  - www.science-award.siemens.ru/1350/1385/1414/
  - <u>autom.boom.ru/spirtus.htm</u>
  - medi.ru/doc/q2602.htm
  - www.autoparad.ru/arroundauto/review?id=3028595&categoryId=
  - www.additive.spb.ru/oxigen.html
  - www.park5.ru/articles/1/295/
  - www.ogbus.ru/authors/KarpovSA/KarpovSA\_2.pdf
  - edu.ibp-ran.ru/conference 2007 docs/section-2.doc
  - www.newchemistry.ru/letter.php?n\_id=223
  - rssmix.info/?Konoplya i gashish
  - www.phs-holod.ru/public/27.php
  - www.ntpo.com/patents fuel/fuel 2/fuel 96.shtml
  - www.polykhrest.od.ua/other/years\_articles1999\_134.php
  - toplivo.galactic.ru/list 1 5a.html
  - www.ruhealth.ru/Konyaki viski.doc
  - subscribe.ru/archive/media.news.press.epr/200206/29054340.html
  - www.referats.5-ka.ru/10/29766/1.html
  - www.pnp.ru/chapters/country/strana 6388.html
  - www.mediaglobe.ru/latest\_ct\_3/60/
  - www.bioethanol.ru/bioethanol/news/194/
  - www.expert.ru/printissues/ukraine/2006/25/proizvodstvo\_biotopliva/
  - mixport.ru/referat/referat/27247/
  - www.logistics.ru/9/8/i20 19920p1.htm
  - <u>firepower.com.ua/img/protokol144.doc</u>
- Применение спиртов в дизелях
  - bankrabot.com/work/work 55126.html?similar=1
  - www.agro-inform.ru/agr04-05/04/ur2.htm
  - zid.mov.su/forum/20-280-1
  - window.edu.ru/window\_catalog/pdf2txt?p\_id=21981&p\_page=5
  - forum.gaz21.org.ua/lofiversion/index.php/t665.html
  - energy.bmstu.ru/e02/100 Years/AlternFuelUsage.pdf
  - mixzona.ru/referat/referat/61360/
  - www.prisposoba.ru/articles/electrostation howto/
  - www.sci-lib.net/index.php?showtopic=3671&st=25&start=25
  - www.transport.ru/1/2/i31 590p0.htm
  - www.energy-saving.ru/index.php?page=report2006
  - lavrin.dp.ua/2007/10/17/rapsovoe maslo kak alternativa dizelnomu toplivu.html

- Расчет отклонений показателей качества при применении альтернативного топлива в бензиновом двигателе и дизеле
  - o <u>users.kpi.kharkov.ua/diesel/dvs nauka referat05.htm</u>
  - www.tayi.uz/kengash/avtoreferat/aftoreferat\_1.doc
  - www.novsu.ru/file/54336
  - o <u>avtoreferat.ukrlib.org/125.htm</u>
  - o www.abs.msk.ru/04.2008.htm
  - <u>reserve-energy.ru/cat-4/</u>
  - www.uvp.kiev.ua/info/6.doc
  - www.midkam.ru/avtodrive112.html
  - window.edu.ru/window catalog/redir?id=25300&file=nwpi399.pdf
  - www.navy.ru/science/se1.htm
  - <u>avtoreferat.ukrlib.org/124.htm</u>
  - www.ari.spb.ru/Conference2006/section 5.pdf
  - o referat.studentport.su/all.php?id=23
  - www.google.com/notebook/public/03268893842144167588/BDQe1QwoQ\_4Kpi4sj\_
  - o tgv.khstu.ru/downloads/pos\_ovb\_proc\_i\_apparat\_gas\_Vetoshkin\_2006.pdf
  - www.380v.ru/library/catalogues/2002/Catalogue-2002.pdf

## Описание системы контроля знаний.

Общие правила выполнения контрольных заданий (письменных работ). Максимальная оценка 40 баллов.

В письменной работе заданное альтернативное топливо сравнивается по показателям качества с двумя альтернативными топливами для выяснения возможности применения в бензиновом двигателе или дизеле.

При отсутствии данных, подтверждающих полную замену традиционного топлива на альтернативное, проводится расчет показателей качества смесевых топлив (традиционное топливо + альтернативное топливо), при этом добавка альтернативного топлива в случае растворимости компонентов смесевого топлива друг в друге составляет 10, 20, 30, 40, 50%. Показатели качества смесевых топлив, кроме вязкости, рассчитываются по закону аддитивности (пропорционально содержанию их в смесевом топливе).

В случае применения смесевых топлив в дизеле, не растворимых друг в друге, показатели качества их также рассчитываются по закону аддитивности, но подача их производится в двигатель по двойной системе питания, причем дизельное топливо подается в двигатель до начала подачи альтернативного за 10—15 градусов поворота коленчатого, так как оно служит запальным топливом. Основная масса альтернативного топлива с малыми показателями самовоспламенения поступает в дизель на такте впуска, если это газообразное топливо, или подается по самостоятельной системе питания

непосредственно в канал форсунки дизеля (система регулирования начального давления), если это сжиженный газ.

Каждая письменная работа защищается устно по вопросам преподавателя. Расчеты показателей качества традиционных и смесевых углеводородных топлив производятся по работе.

# Балльно-рейтинговая система

#### Шкала оценок:

```
общая трудоемкость — 72 часа (100 баллов); из них посещение лекций — 28 часов (28 баллов); посещение занятий по практическим работам — 28 часов (28 баллов); написание письменной работы — 15 часов (42 балла); защита работы — 1 час (1 балл).
```

Аннотированное содержание курса «Современные и <u>альтернативн</u>ые топлива для ДВС и перспективы их развития».

#### Лекции — 30 часов по темам:

- 1. Новые современные традиционные топлива для ДВС 6 часов.
- 2. Применяемые <u>альтернативн</u>ые топлива (газообразное топливо, газовый конденсат) 10 часов.
- 3. Предлагаемые <u>альтернативн</u>ые топлива 14 часов.

### Практические занятия — 30 часов:

- 1. Анализ и расчет показателей качества современных традиционных топлив 6 часов.
- 2. Применяемые <u>альтернативн</u>ые топлива. Преимущества и недостатки, конструкции, хранение на борту транспортного средства 10 часов.
- 3. Расчет, анализ предлагаемых <u>альтернативн</u>ых топлив и перспективы их развития 14 часов.

# **Шкаликова Валентина Петровна Кандидат технических наук, доцент**

Автор свыше 60-и (шестидесяти) печатных научных и научно-методических работ в области Теплотехники и тепловых двигателей, Топлива, рабочие тела и их свойства, Использование природного газа для производства жидкого моторного топлива для дизелей. Ведёт исследования, направленные на использование в ДВС и преимущественно в дизелях нетрадиционных топлив.