

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

---

**ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И КАДРОВ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

---

**А.Н. Карташевич, В.А.Белоусов, А.В. Гордеенко**

Кафедра тракторов и автомобилей

# **СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ В КАРБЮРАТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

**ЛЕКЦИЯ**

**Для студентов специальностей 1-74 06 01 —техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 06 — материально-техническое обеспечение АПК, 1-74 06 04— техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ**

**Горки 2005**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

---

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И КАДРОВ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

---

А.Н. Карташевич, В.А. Белоусов, А.В. Гордеенко

Кафедра тракторов и автомобилей

# СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ В КАРБЮРАТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

ЛЕКЦИЯ

Для студентов специальностей 1-74 06 01 — техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 06 — материально-техническое обеспечение АПК, 1-74 06 04 — техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ

Горки 2005

УДК 621.4 : 629.114.2

ББК 31.365 я 7

К 27

Одобрена методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Влияние очистки воздуха на износ двигателей.....	5
2. Современные системы очистки воздуха.....	7
3. Смесеобразование в карбюраторных двигателях.....	12
4. Характеристика простейшего карбюратора.....	17
5. Корректировка характеристик карбюратора в зависимости от условий эксплуатации и режима работы двигателя.....	20
6. Расчет основных элементов карбюратора.....	22
7. Смесеобразование в двигателях, работающих на сжатом или сжиженном газах.....	24
Литература.....	28

**Карташевич А.Н., Белоусов В.А., Гордеенко А.В.**

К 27 Смесеобразование в карбюраторных двигателях. – Горки:

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2005. с.

Рассмотрены принцип работы и основы расчета системы воздухообеспечения и смесеобразования в карбюраторном двигателе.

Для студентов специальностей 1-74 06 01 —техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 06 — материально-техническое обеспечение АПК, 1-74 06 04— техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ

Рисунков 4. библиогр.6.

Рецензенты: заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор Кухаренок Г.М.; Ведущий научный сотрудник ПО «Минский тракторный завод», доктор технических наук, профессор Бобровник А.И.

А.Н. Карташевич, В.А.Белоусов,

А.В.Горденко, 2005

Учреждение образования

«Белорусская государственная

сельскохозяйственная академия, 2005

## ВВЕДЕНИЕ

Трактор и автомобиль являются одними из наиболее широко применяющихся и в то же время дорогих и сложных машин, используемых в сельскохозяйственном производстве. От технического совершенствования этой техники и уровня ее эксплуатации во многом зависит эффективность функционирования агропромышленного комплекса. Эксплуатация современной автотракторной техники неизбежно сопровождается очисткой топлива, масел, технических жидкостей, отработанных газов и воздуха. Очистка жидкостей и газов крайне важна, так как в зависимости от стадии эксплуатации техники и места очистки в рабочем процессе она призвана привести жидкости и газы до требуемых кондиций перед их использованием, что способствует повышению надежности тракторов и автомобилей, эффективной их работе при эксплуатации и улучшению качества работ при техническом обслуживании и ремонте.

При эксплуатации автотракторной техники в условиях повышенной запыленности воздуха наблюдается быстрый темп увеличения сопротивления воздухоочистителей за счет засоренностью пылью, что приводит к уменьшению подачи воздуха в цилиндры двигателя снижению его мощности и увеличению удельного расхода топлива.

Не менее важной задачей является обеспечение качественного смесеобразования для карбюраторных двигателей, обеспечение точного дозирования топлива в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов работы двигателя.

Тенденции к увеличению мощностных показателей и срока службы современных автотракторных двигателей повышает напряженность работы трущихся деталей и их чувствительность к абразивному изнашиванию. При форсировании двигателей увеличивается количество воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, а, следовательно, и абсолютное количество частиц пыли, участвующее в износе.

Таким образом, нельзя не считать актуальной задачу повышения эффективности средств очистки воздуха при эксплуатации автотракторной техники, что повысит ее надежность, технические, экологические и экономические показатели. Причем повышение эффективности очистки воздуха должно сочетаться со стабильно низким сопротивлением фильтрующих элементов.

## 1. Влияние очистки воздуха на износ двигателей

В контексте решения проблемы повышения качества очистки воздуха, последний рассматривается как агент, обеспечивающий сгорание подаваемого в двигатель топлива, к чистоте которого предъявляются довольно жесткие требования.

При работе трактора или автомобиля, выполняющих сельскохозяйственные работы, может образоваться достаточно устойчивое пылевое облако. В нем могут находиться частицы размером от 1 до 100 мкм. Дисперсный и минеральный состав пыли зависит от вида работ, типа почвы, конструкции трактора или автомобиля, скорости движения, метеорологических условий, в частности, от влажности почвы и воздуха, направления и силы ветра. Пылесодержание воздуха может колебаться от 0,04 до 5,0 г/м<sup>3</sup>. Примерно от 2/3 до 3/4 пыли состоят из неорганического вещества. Гранулометрический состав характеризуется следующими параметрами: частицы размером до 5 мкм составляют около 7%, остальное – более крупные частицы. Их размеры находятся в основном в диапазоне 35 мкм. Среднее значение пылесодержания для тракторов класса 1,4 и 3 на высоте 1,4 – 1,6 м можно считать близким к 0,5г/м<sup>3</sup>.

Основным отрицательным последствием забора загрязненного воздуха является ускорение изнашивания сопряженных трущихся поверхностей.

Большинство постепенных отказов, вызванных, главным образом, абразивным изнашиванием деталей, напрямую зависит от наличия абразивных частиц на поверхностях трения.

Износ деталей, вызываемый абразивными загрязнениями, для автомобилей, эксплуатировавшихся в средней климатической зоне, равен в среднем 60% общего износа деталей при относительно небольшой запыленности воздуха. Наиболее подвергающимся абразивному изнашиванию, обусловленному уровнем загрязненности воздуха, является сопряжение «цилиндр – компрессионное кольцо», так как в него с прорывающимися газами постоянно поступают порции пыли из камеры сгорания. Кроме того, поршневые кольца в процессе перемещения по зеркалу цилиндра за рабочую смену совершают путь, измеряемый сотнями километров и проходимый при высокой температуре и в неблагоприятных условиях смазывания трущихся поверхностей.

Степень износа сопряжения колец с цилиндром имеет прямопропорциональную зависимость от концентрации пыли в воздухе.

Значительное влияние на износ двигателя оказывает и минералогический состав пыли.

В настоящее время нет единого мнения о влиянии дисперсного состава пыли на износ деталей цилиндро-поршневой группы. По одним данным, частицы пыли размером 5-10 мкм не вызывают износа. По другим – только частицы до 1 мкм не вызывают абразивного износа, так как их размер не превышает толщины масляной пленки между кольцом и цилиндром. Вместе с тем исследования подтверждают, что максимальный износ вызывается частицами размером 15 – 30 мкм.

Влияние мелких фракций пыли размером 0 –5 мкм в зависимости от их концентрации на износ цилиндро-поршневой группы можно проиллюстрировать следующими экспериментальными данными.

Количество пыли, мг/м <sup>3</sup>	2	4	6	8	10	12
Износ, мг/ч	7,5	16	25	32	39	48

Вопрос о минимальном размере частиц пыли, вызывающих износ деталей двигателей, неразрывно связан с толщиной масляной пленки между кольцом и цилиндром, давлением на стенку цилиндра, скоростью поршня и вязкостью масла.

Интенсивность износа гильз цилиндра находится в прямой зависимости от количества твердых частиц кварца и корунда, находящихся в пыли (табл.1).

Таблица 1. Влияние частиц кварца на скорость износа гильз цилиндра

Содержание кварца, %	Средняя скорость износа, мкм/ч
92 – 98	2,8
80 – 90	2,36
67 - 75	1,76

Воздействие кварца на износ двигателей связано с формой частиц. Твердые частицы неправильной формы вызывают износ уже при размере 2 – 3 мкм, а частицы округлой формы размером менее 10 мкм практически не вызывают износа.

Нарастание износа цилиндро-поршневой группы ведет к снижению степени сжатия, нарушению рабочего процесса двигателя, ухудшению состава отработавших газов, перегреву двигателя, снижению его мощности, росту удельного расхода топлива, увеличению прорыва газов в картер. В результате последнего повышается концентрация твердых загрязнений в моторном масле, растет обводненность масла, меняются его химический состав и физико-химические свойства, в результате чего повышается вероятность ресурсных отказов.

При эксплуатации автотракторных двигателей в условиях запыленности воздуха наблюдается быстрый темп увеличения сопротивления воздухоочистителей за счет засорения пылью, что

приводит к уменьшению подачи воздуха в цилиндры двигателя, снижению его мощности, и увеличению удельного расхода топлива.

Для уменьшения потерь мощности устанавливается предельное разрежение на впуске, которое составляет 1,76 – 4,9 кПа для карбюраторных двигателей, 3,92 – 4,9 кПа для дизелей с наддувом и 4,9 – 7,46 кПа для дизелей без наддува.

Воздухоочистители автотракторных двигателей, у которых применяется автоматическое удаление пыли эжекционным отсосом, оказывают влияние на показатели процессов впуска и выпуска. Так, на двигателе трактора ДТ-75 эжектор увеличивает сопротивление на выпуске на 3,5 – 4,0 кПа, что приводит к снижению мощности на 1,5%.

Предельное разрежение в системе выпуска газов для автомобильных двигателей типа ЯМЗ-238 с наддувом составляет 5 – 7 кПа, для дизелей без наддува – 12 – 15 кПа.

Следует отметить, что применение высокоэффективных воздушных фильтров на двигателях требует обязательного решения вопроса о недопущении увеличения сопротивления до предельного разрежения на впуске, что является необходимым условием экономической целесообразности.

## **2. Современные системы очистки воздуха**

Из большого перечня известных методов очистки газов в современных автотракторных двигателях воздух, поступающий в систему питания, чаще всего очищается центробежными, инерционными масляными, инерционными сухими очистителями и очистителями со смачиваемым фильтрующим элементом и сухой фильтрующей перегородкой, а также комбинированными очистителями.

Комбинированный очиститель дизеля Д-240 показан на рис.1. этом фильтре воздух очищается от крупных частиц, проходя сквозь сетку 6, затем проходит инерционную сухую, инерционную мокрую (масляную) ступени очистки и очистку фильтрованием в мокром фильтре, изготовленном из смоченной маслом капроновой путанки. Воздух, проходящий между лопастями завихрителя 7, приобретает вращательное движение, в результате чего грубодисперсные пыли отбрасываются к стенкам колпака 8 и через щели 9 выводятся в атмосферу. Предварительно очищенный воздух далее идет по трубе 10, на выходе из которой ударяется в чашку 2, заполненную маслом. Резкое изменение направления движения воздуха в чашке способствует выделению из него частиц пыли, которые оседают на масло в чашке. Затем воздух проходит сквозь три смоченные маслом фильтрующих элемента 4, которыми окончательно

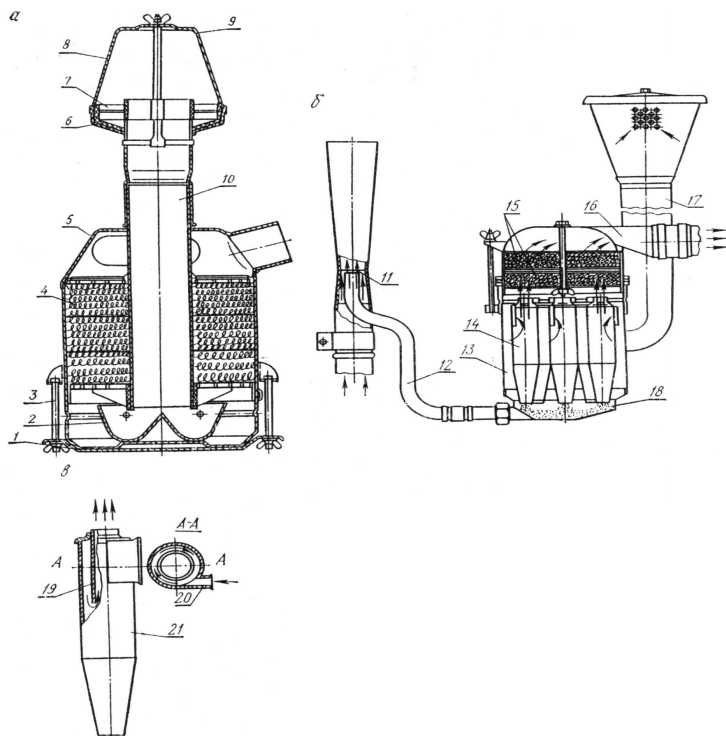


Рис.1. Воздухоочистители современных двигателей

очищается. Воздухоочиститель снизу закрыт съемным поддоном, который одновременно является резервуаром для масла.

На двигателях А-01, Ф-41, Д-37Е в третьей фильтрующей ступени установлен дополнительный элемент из пенополиуретана.

Двухступенчатый комбинированный воздухоочиститель установлен на двигатель СМД-14. Первая центробежная ступень содержит девять параллельно работающих циклонов 14, вторая мокрая контактная имеет две кассеты 15 из проволочной путанки. Циклон (рис.1в) состоит из открытой снизу трубки 21, в верхней части которой установлена трубка 19. Тангенциально к циклону крепится патрубок 20. Засасываемый двигателем воздух поступает по трубе 17 (рис.1б) внутрь корпуса 13, из которой по патрубкам 20 с большой скоростью направляется в циклоны 14, где закручивается. Выделяемая благодаря центробежным силам пыль по внутренним стенкам циклонов сползает вниз, высыпается из циклонов

и собирается в поддоне 18. Очищаемый в циклонах воздух дополнительно очищается фильтрующими кассетами 15 и по патрубку 16 поступает в двигатель. Собирающаяся в поддоне пыль по трубе 12 засасывается эжектором 11 выхлопной трубы и вместе с отработавшими газами выбрасывается в атмосферу.

Воздухоочистители аналогичной конструкции применяются на двигателях Д-160, СМД-60, СМД-62, ЯМЗ-238Н, ЯМЗ-240.

Важнейшим показателем воздухоочистителей является коэффициент пропуска пыли и его сопротивление. Их значения для некоторых тракторов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика воздухоочистителей тракторов

Марка трактора	Тип воздухоочистителя	Коэффициент пропуска пыли, %	Предельное сопротивление, кПа
К-700, К-701 Т-150, Т-150К Т-130, Т-170	Комбинированный двухступенчатый с циклонами и фильтром	До 0,5	1,2 – 2,0
ДТ-75	То же	0,3 – 0,5	2,0 – 4,0
МТЗ-80	Комбинированный трехступенчатый инерционный с контактно-масляным фильтром	До 0,4	2,0 – 4,0

Два сравниваемых типа очистителей достаточно распространены и имеют близкие показатели.

Вместе с тем анализ эксплуатационных факторов указывает на то, что инерционные контактно-масляные воздухоочистители обладают рядом неустраняемых недостатков: необходимостью периодической промывки фильтрующего элемента и масляной ванны с последующей ее заправкой свежим маслом, а также увеличением коэффициента пропуска пыли с уменьшением расхода воздуха. Так, при номинальном режиме работы двигателя коэффициент пропуска пыли инерционно-масляных воздухоочистителей составляет 1,0 – 1,5%, а при неполных нагрузках (расход воздуха равен 20% от номинального) он увеличивается до 6 – 8%.

В современном двигателестроении наблюдается тенденция распространения двухступенчатой системы очистки воздуха – прямоточные мультициклоны с картонным фильтрующим элементом (КФЭ). Блок прямоточных циклонов (мультициклон) обладает меньшим сопротивлением, большей пропускной способностью, более пологой характеристикой в сравнении с применяемыми серийными противоточными циклонами. Эффективность очистки воздуха от пыли

блоком прямоточных циклонов фирмы VOLVO составляет не менее 70% (пыль «грубая» по SAE).

Вместе с тем, мультициклоны имеют ряд недостатков: значительную металлоемкость и сложность конструкции, большое начальное сопротивление, которое составляет 6 кПа.

Широкое применение фильтровальных материалов из картона и бумаги в современных конструкциях воздухоочистителей обусловлено целым рядом их преимуществ: высокую стабильность процесса очистки, практически не зависящую от сопротивления фильтра, расхода воздуха и режима работы двигателя; возможность регулирования в широких пределах их физико-механических свойств; простота изготовления фильтрующих элементов сложной конфигурации.

Между тем, воздушная нагрузка КФЭ оказывает влияние на продолжительность его работы до достижения предельного сопротивления.

К основным недостаткам КФЭ относятся: необходимость периодической замены; недостаточная прочность, приводящая в эксплуатации к образованию скрытых трещин, сквозных дыр, а также нарушению заданной объемной структуры; большое начальное сопротивление; неуниверсальность, так как они не пригодны для применения в зонах высокой влажности. При попадании на картонно-фильтрующий элемент паров топлива, масла и отработавших газов в 3 – 6 раз снижается удельная пылеемкость картона, а исключить попадания указанных веществ со всасываемым воздухом не всегда возможно.

В автомобильной промышленности применяются синтетические фильтрующие материалы – ЭФА и АФИМ, состоящие из смеси вязких, термопластичных и стеклянных волокон с переменной пористостью, уменьшающейся по направлению потока воздуха. В Канаде разработан двухслойный фильтрующий элемент «Declon» из полиуретана и пенопласта разной пористости.

Эксплуатационные испытания фильтрующего элемента из материала ЭФА показали, что при пробеге 25 – 30 тыс. км по дорогам с твердым покрытием их сопротивление не превышало 2,5 кПа (т.е. 50% предельно допустимого сопротивления), коэффициент пропуска пыли составлял 0,06 – 0,01%. К основным достоинствам материала ЭФА следует отнести высокую пропускную способность при низком аэродинамическом сопротивлении, эффективность очистки (не менее 99,7%) в широком диапазоне от 400 до 3000 м<sup>3</sup>/(ч м<sup>2</sup>) воздушных нагрузок и удельной пылеемкости. ЭФА позволяет радикально упростить конструкцию фильтрующего элемента, а, следовательно, и воздухоочистителя.

На двигателях тракторов «Ford» (США) установлен трехступенчатый воздухоочиститель: два моноциклона и картонный фильтрующий элемент.

Перспективным направлением представляется электрофизический метод фильтрации воздуха на современных двигателях. К настоящему времени уже накоплен определенный опыт разработки и доводки конструкций воздушных электрофильтров, принцип которых основан на ионизации воздуха в результате коронного разряда. Следует отметить, что выделение ионов в таких фильтрах положительно сказывается на процессе смесеобразования и сгорания, так как оно является мощным окислителем.

Определенный интерес представляет воздухоочиститель с вращающимся электромагнитным полем, под действием которого частицы пыли приобретают круговое движение, что способствует их лучшему оседанию в масляной ванне.

Наибольший интерес для перспективного применения представляют высокоэффективные воздушные фильтры, в которых используются электретенный эффект и поляризованная фильтрующая ткань.

Наиболее технологичным и удовлетворяющим требованиям к фильтрующим материалам воздухоочистителей двигателей, является материал ФП (фильтры Петрянова). Они представляют собой исключительно равномерные слои ультратонких полимерных волокон, которым сообщены высокие и стойкие электрические заряды, резко повышающие фильтрующие свойства материала.

Фильтрующий материал ФП обладает высокой пластичностью. В них волокна сцеплены между собой за счет сил трения. Поэтому фильтрующий слой выдерживает значительные деформации. Удлинение при разрыве достигает 30 – 50%, тогда как бумага или картон могут перенести лишь 5- или 10-процентное удлинение при разрыве.

Особенностью материалов ФП является высокая равномерность распределения волокон в слое и их однородность по размеру. Материалы ФП из перхлорвинила и полистирола могут сохранять заряды в течение 5 – 7 лет.

В таблице 3 приведены основные показатели и характеристики некоторых материалов ФП.

Благодаря тому, что волокна материала ФП заряжены, они располагаются упорядоченно по отношению друг к другу. Это, наряду с наличием заряда на волокнах, позволяет максимально эффективно использовать свойства материала как фильтра, обеспечивающего при минимальном сопротивлении высокую эффективность улавливания частиц пыли. Фильтр активно задерживает даже частицы, размер которых на несколько порядков меньше пор фильтра.

Таблица 3. Характеристики материала ФП

Марка материала ФП	Материал волокон (полимер)	Проскок при скорости фильтрации 1 см/с,%	Термостойкость, °С	Отношение к влаге
ФПП 15-1,7	Перхлорвинил	0,1 – 0,01	+60 - +70	Гидрофобен
ФПП 15-1,7А	Перхлорвинил	0,1 – 0,01	+60 - +70	Гидрофобен
ФПП 25-3,0	Перхлорвинил	0,001	+60 - +70	Гидрофобен
ФПП 15-2,0	Ацетил-целлюлоза	1,0	+150	Гидрофобен
ФПКС 10-2,0	Поликарбонат	1,0	+130	Гидрофобен
ФПФ 10-3,0	Фторполимер Ф-42	0,1	+120	Гидрофобен
ФПАР 15-1,5	Полиарилат	4,0	+250 - +270	Гидрофобен

### 3. Смесеобразование в карбюраторных двигателях

В двигателях с искровым зажиганием применяют следующие способы внешнего смесеобразования: карбюраторный; впрыскивание легкого топлива во впускной трубопровод; послонное и форкамерно-факельное. Наиболее широко в автомобильных двигателях используют карбюраторный способ смесеобразования, а процесс приготовления горючей смеси называют *карбюрацией*. При этом топливовоздушная смесь в основном образуется в системе впуска (в карбюраторе и впускном трубопроводе) и завершается смесеобразование в цилиндре. В процессе карбюрации желательнее получить однородную топливовоздушную смесь, что возможно при полном испарении топлива и равномерном распределении его паров в воздухе. Но практически это невозможно, так как смешивание топлива и воздуха в начальной стадии происходит при двухфазном состоянии топлива (жидкость и пар) и большом соотношении объемов воздуха и паров бензина (примерно 50:1).

Процесс карбюрации включает в себя: движение воздуха через карбюратор и по впускному тракту двигателя; движение топлива по каналам и через калиброванные дозирующие отверстия (жиклеры); истечение топлива или бензовоздушной эмульсии из распылителей; распыление, испарение и перемешивание топлива с воздухом.

На процесс карбюрации влияют качество топлива, температура смеси (зависящая от температуры окружающего воздуха и впускного трубопровода), конструкция карбюратора и элементов системы впуска, а также режимы работы двигателя. При этом важный фактор в достижении

высококачественного смесеобразования - время, отводимое на этот процесс.

В современных высокооборотных автомобильных двигателях время для смесеобразования весьма ограничено (0,02-0,03с), что затрудняет образование смеси с высоким содержанием паров, надежное перемешивание топлива с воздухом и равномерный состав смеси по цилиндрам. Смесеобразование в первую очередь зависит от скорости испарения топлива. Распыление топлива, подогрев и перемешивание заряда в процессе карбюрации необходимы для ускорения испарения и увеличения количества паров топлива в смеси.

Основной показатель качества процесса распыливания - тонкость распыливания, оцениваемая средним радиусом капель. Повышение тонкости распыливания способствует лучшему испарению.

Топливо распыливается в основном вследствие разности скоростей движения топлива и воздуха. При разности в 4-6 м/с наступает разрушение струи; полное распыливание топлива достигается при разности в 30 м/с. Движение воздуха по впускному тракту с местными сопротивлениями и перепадами давлений обуславливает его турбулизацию, что также способствует распылению топлива и его перемешиванию с воздухом.

Системы питания двигателей с искровым зажиганием предназначены для приготовления и подачи в цилиндры рабочей смеси, регулирования ее состава и количества в зависимости от нагрузочных и скоростных режимов работы двигателя. В качестве топлива для этих двигателей используют бензин и газ.

Общий вид системы смесеобразования карбюраторного двигателя представлен на рис.2.

В общем случае эта система содержит следующие элементы: воздушный фильтр 1, карбюратор 2, впускной коллектор 3, цилиндр двигателя 4, воздушная 5 и дроссельная 6 заслонки карбюратора.

По ходу движения воздуха рассматриваются области I входного патрубка карбюратора, II диффузора, III смесительной камеры и IV впускного трубопровода.

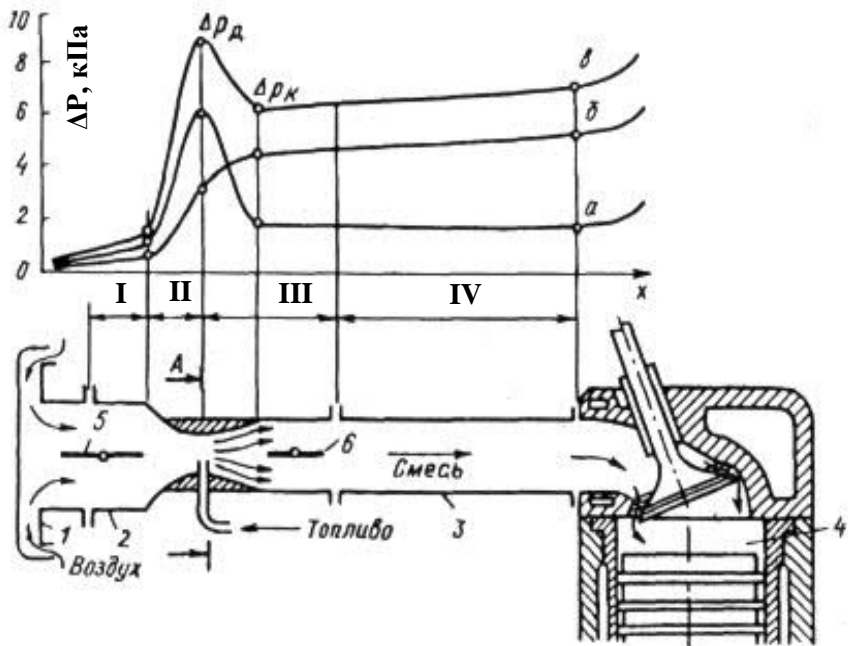


Рис.2. Система смесеобразования карбюраторного двигателя

Скорость воздуха достигает максимальных значений (100-150 м/с) в наиболее узком сечении диффузора (А-А). При этом движение воздуха в диффузоре всегда турбулентно с интенсивным завихрением, что способствует дроблению, распыливанию и испарению топлива. В эту зону диффузора через главный жиклер вводится топливо при работе двигателя на режимах полной нагрузки и близких к ней. На режимах малых нагрузок и на холостом ходу заслонку б прикрывают, разрежение в области впускного тракта за дроссельной заслонкой увеличивается и там достигаются наиболее благоприятные условия для распыления топлива. Поэтому, на режимах малых нагрузок и холостом ходу двигателя, в карбюраторе предусмотрена подача топлива в зону за дроссельной заслонкой.

Параметры воздушного потока в различных сечениях системы смесеобразования можно рассчитать по уравнению Бернулли с учетом потерь энергии на отдельных участках и уравнения сплошности потока.

Для двух произвольных сечений уравнение Бернулли можно записать в следующем виде

$$\rho_x \cdot \left( \frac{P_1}{\rho_2} \right) + \left( \frac{\omega_1^2}{2g} \right) = \left( \frac{P_2}{\rho} \right) + \left( \frac{\omega_2^2}{2g} \right) + \left[ \frac{\xi_{1-2} \cdot \omega_2^2}{2g} \right], \quad (1)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  - давление в рассматриваемых сечениях системы смесеобразования;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  - скорости движения потока воздуха в этих же сечениях;  $\xi_{1-2}$  - коэффициент потерь при движении воздуха между рассматриваемыми сечениями;  $\rho$  - плотность потока воздуха.

Так как при полном испарении бензина в смеси, характеризуемой  $\alpha = 1$ , суммарный объемный расход паровоздушной смеси незначительно (не более чем на 1,8 %) отличается от расхода чистого воздуха, то влиянием паров топлива при расчетах можно пренебречь. Тогда на основании уравнения сплошности для потока чистого воздуха можно записать соотношение

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2}, \quad (2)$$

где  $f_1$  и  $f_2$ ,  $d_1$  и  $d_2$  - площади и диаметры двух рассматриваемых сечений соответственно. Из выражения (2) видно, что скорость движения воздушного потока обратно пропорциональна квадрату диаметра сечения впускного тракта.

Разность давлений между входным сечением и любым рассматриваемым сечением впускного тракта вдоль оси X будет определяться по выражению

$$P_1 - P_x = \rho_0 \cdot \frac{\omega_1^2}{2g} + \xi_{1-2} \cdot \left( \frac{\omega_x^2}{2g} \right) - \left( \frac{\omega_1^2}{2g} \right). \quad (3)$$

С учетом уравнения сплошности (2) получим выражение для определения разности давлений в следующем виде

$$P_1 - P_x = \rho_0 \frac{\omega_1^2}{2g} \cdot \left[ \frac{d_1^4}{d_x^4} + \xi_{(1-x)} \cdot \frac{d_1^4}{d_x^4} - 1 \right]. \quad (4)$$

Таким образом, разрежение во впускном тракте зависит от его диаметра, кинетической энергии потока и гидравлических потерь в тракте.

На рис.2 кривая *a* соответствует изменению разрежения вследствие изменения скорости воздушного потока; кривая *b* разрежению, вызванному гидравлическим сопротивлением потоку воздуха при его

движении по тракту. При этом разрежение от гидравлических потерь непрерывно возрастает по пути движения воздуха. Полное разрежение вдоль впускного тракта дает сумма рассмотренных двух составляющих разрежения (кривая  $\epsilon$ ).

Минимальное сечение диффузора выбирают с учетом получения наиболее высокой скорости потока, но при условии достижения требуемого коэффициента наполнения двигателя. Это условие можно выполнить при создании определенного соотношения между разрежением в диффузоре  $\Delta P_d$  и в смесительной камере  $\Delta P_k$  которое обычно составляет  $\frac{\Delta P_d}{\Delta P_k} = 2,0 - 2,2$ .

Чем выше разрежение в диффузоре, тем больше скорость воздуха и тонкость распиливания; при этом повышается скорость испарения топлива в связи с увеличением его поверхности. При распыливании шарообразной капли топлива объемом  $1 \text{ см}^3$  на капли диаметром  $20 \text{ мкм}$  поверхность топлива увеличивается с  $4,85$  до  $3000 \text{ см}^2$ , т.е. в  $620$  раз.

В карбюраторе испаряется сравнительно небольшая часть топлива. Оставшееся жидкое топлива в виде крупных капель вместе с воздухом и парами топлива при движении во впускном трубопроводе продолжает дробиться. Более мелкие капли дополнительно испаряются, а неиспарившаяся часть топлива оседает на стенках впускного трубопровода и образует топливную пленку. Пленка топлива наиболее интенсивно образуется в смесительной камере III и на начальном участке впускного трубопровода IV. При движении по трубопроводу пленка частично испаряется и при входе в цилиндр доля испарившегося топлива составляет  $60-80\%$ . Завершается процесс испарения при прохождении оставшейся части жидкого топлива через щели впускного клапана и в цилиндре.

Образование тонкой пленки вызывает нарушение нормальной работы двигателя. Особенно значительным оседание топлива на стенках трубопровода оказывается на неустановившихся режимах работы. Так, например, при резком открытии дроссельной заслонки условия испарения ухудшаются вследствие тепловой инерции стенок трубопровода. При этом количестве топлива, которое выпадает на стенки, может быть больше количества топлива, которое испаряется из пленки, что вызывает обеднение топливоздушнoй смеси и ухудшение равномерности распределения топлива по цилиндрам. В итоге часть топлива в отдельных цилиндрах не успевает испаряться до начала воспламенения и, как следствие, ухудшается процесс сгорания, снижаются мощность и экономичность работы двигателя.

#### 4. Характеристика простейшего карбюратора

Основным назначением карбюратора является приготовление рабочей смеси топлива с воздухом для любого режима работы двигателя при возможно более тонком распыливании топлива. При этом коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ , должен иметь для каждого режима определенное значение, при котором достигается наиболее оптимальные мощность и удельный расход топлива. Карбюратор, который дает характеристики оптимального регулирования двигателя на всех режимах работы, называют идеальным. Зависимости коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  от разрежения в диффузоре или от расхода воздуха при оптимальном регулировании двигателя и работе его на различных режимах называют характеристиками идеального карбюратора.

Основой главной дозирующей системы любого карбюратора является элементарный простейший карбюратор (рис.3), который включает в себя: входной патрубок 1; диффузор 2; смесительную камеру 3; дроссельную заслонку 4; поплавковую камеру 5 с поплавком 6; игольчатый клапан 7 с отверстием 8; топливный жиклер 9 и распылитель 10.

Уровень топлива в поплавковой камере 5 устанавливается ниже кромки выходного отверстия распылителя 10 на  $\Delta h = 4 - 8$  мм, что исключает вытекание топлива из распылителя на неработающем двигателе. Давление в поплавковой камере 5, соединенной через отверстие 8 с атмосферой, при работе двигателя всегда больше, чем в диффузоре 2. При этом за счет перепада давлений топливо вытекает из распылителя в поток воздуха. Общее количество рабочей смеси, подаваемой в цилиндры двигателя, регулируют с помощью дроссельной заслонки. Состав смеси автоматически изменяется по определенной зависимости (кривая 1). Кривую, показывающую закономерность изменения  $\alpha$  от разрежения в диффузоре, называют дроссельной характеристикой карбюратора.

С уменьшением разрежения в диффузоре смесь автоматически обедняется. Это объясняется влиянием следующих факторов. При работе двигателя на полной нагрузке (с полным открытием дроссельной заслонки) разрежение в диффузоре достигает максимума и потеря напора, связанная с подъемом топлива в распылителе на  $\Delta h$ , практически не влияет на истечение топлива. На частичных нагрузочных режимах работы двигателя (с прикрытием дроссельной заслонки), относительное влияние этой потери напора на разрежение в диффузоре существенно возрастает.

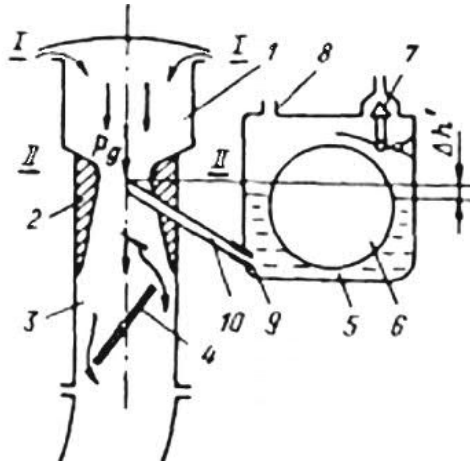


Рис.3. Схема элементарного карбюратора

С уменьшением разрежения в диффузоре возрастает также поверхностное натяжение топлива. В результате влияния в основном этих факторов по мере уменьшения разрежения в диффузоре, обусловленного прикрытием дроссельной заслонки или уменьшением частоты вращения коленчатого вала двигателя, приготавливаемая карбюратором смесь обедняется.

Карбюратор с дроссельной характеристикой, приведенной на рис. 4 (кривая I), не может приготовить наивыгоднейший состав смеси для нормальной работы двигателя на любом возможном режиме работы.

Наивыгоднейшая характеристика карбюратора должна формироваться с учетом следующих соображений.

При работе двигателя на холостом ходу дроссельную заслонку карбюратора прикрывают, скорость воздуха в диффузоре и впускном трубопроводе снижается, ухудшаются условия распыления и испарения топлива. При этом смесь загрязняется остаточными газами (возрастает коэффициент остаточных газов) и ухудшают условия сгорания. Для создания устойчивой работы двигателя на холостом ходу карбюратор должен готовить обогащенную смесь, характеризуемую  $\alpha = 0,6 - 0,8$ . По мере увеличения нагрузки (с открытием дроссельной заслонки при  $n = \text{const}$ , разрежение в диффузоре возрастает и улучшаются условия смесеобразования. Поэтому с увеличением открытия дроссельной

заслонки наиболее экономичная работа двигателя достигается при постепенно увеличивающемся коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,05 - 1,15$ . Для достижения максимальной мощности при полном открытии дроссельной заслонки карбюратор должен обогащать смесь до  $\alpha = 0,8 - 0,9$ . Дроссельная характеристика, удовлетворяющая указанным требованиям, приведена на рис.4 в виде кривой 2 (ABC). Если предположить, что дроссельная характеристика ABC получена на номинальном скоростном режиме, то при других частот вращения аналогичные характеристики не совпадают, так как при данном разрежении  $\Delta P_d$  в диффузоре, с уменьшением частоты вращения и соответствующим с открытии дроссельной заслонки, рабочую смесь необходимо обеднять и, наоборот, с ростом частоты вращения и соответствующим прикрытии дроссельной заслонки, рабочую смесь необходимо несколько обогащать.

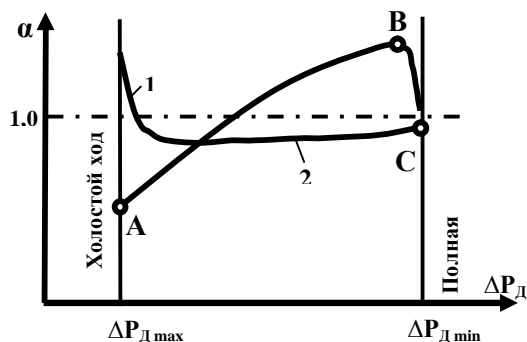


Рис.4. Дроссельная характеристика карбюратора

При работе двигателя в условиях внешней скоростной характеристики карбюратор должен создавать для любой частоты вращения такой состав смеси, при котором достигается максимальная мощность. Так как с увеличением частоты вращения двигателя скорость потока в диффузоре возрастает и условия смесеобразования улучшаются, то смесь при этом должна несколько обедняться.

Кроме рассмотренных режимов работы двигателя, необходимо также иметь в виду требования к карбюратору при пуске и разгоне двигателя. Для облегчения пуска холодного двигателя при неблагоприятных условиях смесеобразования (низкие частоты вращения и скорость воздуха в карбюраторе) требуется обогащение смеси до  $\alpha = 0,4 - 0,5$ . При разгоне автомобиля, т.е. при резком открытии дроссельной заслонки, смесь значительно обедняется, так как расход воздуха через диффузор

увеличивается в большей степени, чем расход топлива (воздух обладает меньшей инерцией по сравнению с топливом).

## **5. Корректировка характеристик карбюратора в зависимости от условий эксплуатации и режима работы двигателя**

Для получения от элементарного карбюратора желаемой характеристики, при которой достигается нормальная работа двигателя, необходимы дополнительные устройства, создающие обеднение горючей смеси на всех основных эксплуатационных режимах работы двигателя (участок *AB* характеристики) и обогащение смеси на режимах максимальной мощности, пуска и разгона двигателя.

Для того чтобы приблизить характеристику элементарного карбюратора к желаемому виду, необходимо изменять состав смеси подбором соотношения между количеством воздуха и топлива. Изменение состава смеси до желаемого называют *компенсацией смеси*, при которой в основном используют способы регулирования разрежения в диффузоре и у жиклера. Также эти два способа могут использоваться вместе.

Обогащение смеси при пуске двигателя достигается закрытием воздушной заслонки карбюратора. При этом возрастает разрежение в диффузоре, усиливается истечение топлива из жиклера и улучшается его испарение. Но из-за плохого распыления смесеобразование ухудшается.

На холостом ходу двигатель работает с прикрытой дроссельной заслонкой и полностью открытой воздушной заслонкой. При этом обогащение смеси достигается с помощью системы холостого хода.

При переходе от режима работы, при котором достигаются наилучшие экономические показатели двигателя, к режиму полной нагрузки обогащение смеси достигается с помощью экономайзера.

Во время разгона двигателя обогащается смесь (при резком открытии дроссельной заслонки), как правило, дополнительным впрыскиванием топлива в диффузор карбюратора с помощью насоса-ускорителя, который может быть с пневматическим или механическим приводом.

В карбюраторах также предусмотрены устройства для ограничения разрежения в системе впуска для предотвращения переобогащения смеси при работе двигателя на принудительном холостом ходу. При этом ограничитель разрежения с помощью воздушного клапана при закрытии дроссельной заслонки карбюратора и высоком разрежении во впускном трубопроводе, сообщает его с атмосферой. В результате снижается расход топлива через систему холостого хода и расход масла через систему

принудительной вентиляции картера, а также уменьшается выброс в атмосферу токсичных компонентов с отработавшими газами.

Для сохранения регулировки карбюратора и состава смеси при длительной эксплуатации предусмотрена балансировка карбюратора соединением изолированной от атмосферы поплавковой камеры с впускным воздушным патрубком. При этом перепад давлений между поплавковой камерой и диффузором не будет зависеть от сопротивления воздухоочистителя, которое вследствие его засорения изменяется, и будут обеспечиваться стабильные показатели работы карбюратора. В карбюраторах также имеются устройства для ограничения максимальной мощности двигателей - ограничители-регуляторы частоты вращения.

В некоторых конструкциях карбюраторов с целью экономии топлива на эксплуатационных режимах применяют дополнительное устройство - эконоустат, представляющий собой дозирующую систему для подачи дополнительного топлива при больших расходах воздуха, когда двигатель работает с полностью открытой дроссельной заслонкой (условия внешней скоростной характеристики) или на частичных нагрузках.

Совершенствование смесеобразования и, как результат, улучшение динамических и топливных показателей двигателей, а также снижение токсичных компонентов в отработавших газах достигнуто при использовании многокамерных карбюраторов (двух- и четырехкамерных с последовательным включением камер).

В двухкамерных карбюраторах первичная камера обеспечивает работу двигателя на холостом ходу, при малых и средних нагрузках, вторичная камера включается в работу при переходе к полным нагрузкам.

В четырехкамерных карбюраторах две первичные и две вторичные камеры работают синхронно. Дроссельные заслонки вторичных камер у большинства конструкций многокамерных карбюраторов начинают открываться, когда заслонки первичных камер открыты на 40-50°.

Высокое качество смесеобразования достигается во впрыскивающих и распыливающих карбюраторах. В первом случае топливо впрыскивается в смесительную камеру карбюратора через форсунку, что существенно улучшает смесеобразование по сравнению со всасывающими карбюраторами. При этом работа карбюратора при любых положениях двигателя более надежная. В случае применения распыливающего карбюратора получается еще более высокий эффект в связи с применением сжатого воздуха, подаваемого к форсунке, впрыскивающей топливо в смесительную камеру, а также за счет организации вихревого движения воздушного потока в смесительной камере с помощью специального лопаточного направляющего аппарата.

## 6. Расчет основных элементов карбюратора

В карбюраторе в основном рассчитывают элементы главной дозирующей системы. При этом определяют основные размеры диффузора и жиклеров.

Для любого сечения диффузора теоретическая скорость воздуха (без учета гидравлических сопротивлений) может быть определена из выражения

$$\omega_{в.т.} = \sqrt{\frac{2(\rho_0 - \rho_x)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\Delta\rho_x}{\rho_0}}, \quad (5)$$

где  $P_x$  и  $\Delta P_x$  - соответственно давление и разрежение в любом сечении  $x$ -х диффузора, кПа;  $\rho_0$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Для минимального сечения диффузора (рис.2, сечение II-II)

$$\omega_{в.т.} = \sqrt{\frac{2\Delta P_d}{\rho_0}}. \quad (6)$$

При определении скорости воздух рассматривают как несжимаемую жидкость, а его плотность принимают постоянной на всем протяжении впускного тракта. Давление на входе в карбюратор (сечение I-I) принимают равным атмосферному  $P_{I-I}=P_0$ ,  $\omega_{I-I}=0$ .

Действительная скорость воздуха

$$\omega_{до} = \varphi_d \cdot \alpha_c \cdot \omega_{эм} = \mu_d \cdot \omega_{эм}, \quad (7)$$

где  $\varphi_d$  - коэффициент скорости (учитывает гидравлические сопротивления впускного тракта);  $\alpha_c$  - 0,97-0,98 - коэффициент сужения струи (отношение площади минимального сечения потока воздуха  $f_n$  к минимальной площади диффузора  $f_d$  в сечении II-II);  $\mu_d = \varphi_d \cdot \alpha_c$  - коэффициент расхода диффузора (ориентировочно можно принимать  $\mu_d$  - 0,75-0,9).

Действительный расход воздуха (кг/с) через диффузор диаметром  $d_d$

$$G_B = \left( \frac{\pi d_d^2}{4} \right) \cdot \mu_d \cdot \omega_{эм} = \left( \frac{\pi d_d^2}{4} \right) \cdot \mu_d \cdot \frac{\sqrt{2\Delta P_d}}{\rho_0}. \quad (8)$$

Расход воздуха через диффузор должен быть равен секунднему расходу воздуха, потребляемого двигателем, т.е.

$$G_B = \eta_V \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot S \left( \frac{n_i}{12D} \right) \cdot \rho_0. \quad (9)$$

Приравняв количество воздуха  $G_B$ , пропускаемого диффузором, количеству воздуха, расходуемому двигателем, из уравнений (8) и (9)

устанавливают взаимосвязь между разрежением в диффузоре и частотой вращения коленчатого вала двигателя

$$\Delta P_o = \left[ \frac{\eta_v}{\mu_o} \cdot \left( \frac{D}{d_e} \right)^2 \cdot S \frac{ni}{120} \right]^2 \cdot \frac{\rho_o}{2} \quad (10)$$

и определяют диаметр диффузора

$$d_o = D \sqrt{\frac{\eta_v S ni}{(120 \mu_o \cdot \omega_{om})}} = \sqrt{\frac{4G_B}{\mu_o \cdot \pi \cdot \omega_{om} \cdot \rho_o}} \quad (11)$$

Для хорошего распыливания топлива при работе двигателя на минимально устойчивой частоте вращения при полном открытии дроссельной заслонки, действительная скорость воздуха должна составлять 45-50 м/с, что следует учитывать при подборе диаметра диффузора.

При номинальной частоте вращения и полном открытии дроссельной заслонки эта скорость возрастает и составляет 110-150 м/с, что может привести к снижению коэффициента наполнения и мощности двигателя.

В расчетах карбюратора может задаваться скорость воздуха в диффузоре  $\omega_{\omega o}$  или разрежение в диффузоре  $\Delta \rho_o$ . Следует иметь в виду, что  $\omega_{\omega o}$  и  $\Delta \rho_o$  непостоянны, так как через диффузор проходит пульсирующий поток воздуха. Из-за сложности расчета карбюратора с учетом пульсаций воздуха, а также из-за незначительного влияния пульсации на конечные результаты, скорость и разрежение в диффузоре принимаются постоянными.

Для улучшения распыления топлива современные карбюраторы имеют несколько диффузоров (двойное или тройное распыление). Улучшение распыления достигается за счет повышения разрежения и скорости.

Диаметр главного жиклера должен быть таким, чтобы при данном разрежении в диффузоре и принятой форме жиклера расходовалось необходимое количество топлива.

Теоретическая скорость истечения топлива через главный жиклер

$$\omega_{т.т.} = \sqrt{2 \left[ \left( \frac{\Delta P_o}{\rho_T} \right) - g \Delta h \right]} = \sqrt{\left( \frac{2}{\rho_T} \right) \cdot (\Delta P_o - g \Delta h \rho_T)}, \quad (12)$$

где  $\rho_m$  - плотность топлива (для бензинов  $\rho_m = 730-750 \text{ кг/м}^3$ );

$g = 9,81$  - ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

$\Delta h = \Delta h_{1-1} + \Delta h_{III}$  условная высота столба топлива, задерживающая истечение топлива из распылителя, м;

$\Delta h_I = (0,002-0,005)$  - расстояние между уровнем топлива в поплавковой камере карбюратора и устьем распылителя (рис.3);  $\Delta h_{III}$  условная высота

столба, пропорциональная силам поверхностного натяжения топлива при вытекании его из устья распылителя (для бензина  $\Delta h_{ПН} \approx 3 \cdot 10^{-6}$  м, и его обычно пренебрегают). Действительная скорость истечения топлива из жиклера

$$\omega_{мд} = \mu_{жс} \cdot \omega_{ГТ}, \quad (13)$$

где  $\mu_{жс}$  - коэффициент расхода ( $\mu_{жс} = \varphi_m \alpha_m$ );  $\varphi_m$  - коэффициент скорости, учитывающий потери истечения топлива из жиклера;  $\alpha_m$  - коэффициент сужения струи топлива.

На коэффициент расхода топлива  $\mu_{жс}$ , определяемый экспериментально, оказывают влияние внешние геометрические формы и размеры жиклера (в основном отношение длины жиклера  $l_{жс}$  к его диаметру  $d_{жс}$ ).

Действительная скорость истечения топлива из жиклера в зависимости от режима работы двигателя изменяется от 0 до 6 м/с. Секундный расход топлива через отверстие жиклера (кг/с)

$$G_T = \left( \frac{\pi d_{жс}^2}{4} \right) \mu_{жс} \omega_{ГТ} \rho_T = \frac{\pi d_{жс}^2}{4} \cdot \sqrt{2 \rho_T \cdot (\Delta P_o - gh \rho_T)}. \quad (14)$$

Секундный расход топлива двигателем и расход топлива через отверстие жиклера должны быть равны. Тогда диаметр жиклера

$$d_{жс} = \sqrt{\frac{4G_T}{\pi \mu_{жс} \omega_{ГТ} \rho_T}}. \quad (15)$$

## 7. Смесеобразование в двигателях, работающих на сжатом или сжиженном газе

Рабочий процесс двигателя с принудительным зажиганием при работе на газообразном топливе осуществляется аналогично рабочему процессу при его работе на бензине. Вместе с тем, физико-химические свойства газовых топлив допускают более широкие пределы качественного регулирования газоздушных смесей по сравнению с бензовоздушными.

Смесеобразование этих смесей различается тем, что при работе на бензине распыливание и испарение топлива происходит в карбюраторе и во впускном коллекторе. Газовое топливо поступает в смесительное устройство в газообразном состоянии. Поэтому применение газовых топлив обеспечивает лучшие условия смешивания с воздухом, более равномерное распределение рабочей смеси по отдельным цилиндрам многоцилиндрового двигателя и более полное сгорание при существенном снижении токсичности отработанных газов.

В качестве топлив для автотракторных двигателе используется сжатый природный газ (СПГ) и сжиженный нефтяной газ (СНГ).

СПГ получают путем сжатия природных газов, а также газов попутных (нефтяных) и газоконденсатных месторождений.

Собственно природный газ получают из буровых скважин газовых месторождений. Он практически не требует переработки и очистки. Газ содержит 82 – 98% метана ( $\text{CH}_4$ ) с небольшими примесями этана ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), пропана ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) и бутана ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Попутные газы получают при добыче нефти, доля которых составляет до 50 – 100 м<sup>3</sup> на одну тонну добытой нефти. Содержание метана в попутных газах колеблется в пределах 40 – 82%, бутана и пропана – 4–20%.

Газы газоконденсатных месторождений по своему составу приближаются к природным газам.

СПГ, применяемый в качестве моторного топлива для автотракторных двигателей, может быть марок А и Б, которые отличаются плотностью из-за различного объемного состава метана и азота. Содержание метана в СПГ марки составляет 95+5%, а в марке Б – 90+5%. По энергетическим параметрам 1 м<sup>3</sup> природного газа эквивалентен 1 л топлива.

Эффективное использование СПГ во многом определяется содержанием воды, содержание которой не должно превышать 9 мг/м<sup>3</sup>, в противном случае в системе питания возникают ледяные пробки.

Теплофизические свойства СПГ марок А и Б приведены в табл. 4.

Таблица 4. Теплофизические свойства СПГ

Показатели	Марка А	Марка Б
Объемная теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	3218,6	3218,6
Относительная плотность газа по воздуху	0,586	0,611
Октановое число по моторному методу испытания топлива	103,0	102,3
Низшая объемная теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	33803	33657
Температура воспламенения, °С	624,7	608,0

Температура воспламенения СПГ в три раза выше температуры воспламенения бензина, что затрудняет пуск двигателя, особенно в условиях отрицательных температур окружающего воздуха.

Сжиженный нефтяной газ (СНГ) представляет собой легкие фракции углеводородов, которые при сравнительно небольшом давлении (1 - 2 МПа) и нормальной температуре находятся в жидком состоянии. Основными компонентами СНГ являются пропан и бутан, кроме того, в небольших количествах в них присутствуют этан и пропилен.

СНГ выпускается двух марок: СПБТЗ (смесь пропана и бутана техническая зимняя) и СМБТЛ (смесь пропана и бутана техническая летняя). Сжиженные газы марки СПБТЗ имеют следующий состав (в процентах по массе): метан, этан и этилен не более 4; пропан и пропилен – не менее 75, бутаны и бутилены – не более 20. Для марки СПБТЛ это соотношение составляет 6, 34 и 60 соответственно.

Сжиженные газы, применяемые в качестве автомобильного топлива, должны удовлетворять следующим требованиям: иметь стабильный компонентный состав; обеспечивать избыточное давление насыщенных паров от 1,6 до 0,07 МПа в интервале температур от +45 до –30<sup>0</sup>С; не иметь жидкого неиспаряющегося остатка.

При +20<sup>0</sup>С бутан сжимается при давлении 0,103 МПа, а пропан – при 0,716 МПа. Для сохранения жидкого состояния при более высоких температурах (до +50<sup>0</sup>С) пропан-бутановая смесь должна находиться под давлением 1,6 МПа.

К загрязняющим веществам в сжиженных газах относятся сера и ее соединения, вода и тяжелые углеводороды. Сера в сжиженном газе находится в растворенном состоянии. При испарении часть серы выпадает, сужая проходные сечения каналов и выводя из строя резино-технические изделия. Другая часть серы увеличивает токсичность отработавших газов. Вода выпадает в осадок, замерзает и создает водяные пробки в газовой магистрали. Тяжелые углеводороды, начиная с гексана (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>), скапливаются в виде конденсата в газовой магистрали, на мембранах редуктора, нарушая их нормальную работу.

Чтобы ощутить наличие газа в воздухе, газу придают специфический запах (одорируют). В качестве одоранта применяют этилмеркаптан (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>SH) в количестве 0,2 – 0,3 г на 1000 м<sup>3</sup> газа.

Газ дешевле жидких топлив и для него характерно более высокая антидетонационная стойкость, которая характеризуется октановым числом (90 – 110 ед.). Поэтому при переводе двигателей на газовое топливо возникает возможность повысить степень сжатия на 20 – 25% по сравнению с бензиновыми двигателями базовых моделей.

При работе на газовом топливе уменьшается износ цилиндро-поршневой группы и в 1,5 раза повышается межремонтный пробег двигателя. Это обусловлено тем, что газовое топливо не смывает масляную пленку со стенок цилиндра, не дает лаковых отложений и нагарообразования. Его применение позволяет в 1,5 – 2 раза увеличить интервал смены масла.

Но наиболее существенное преимущество применения газовых топлив заключается в снижении токсичности отработавших газов по основным контролируемым параметрам: окиси углерода (СО) – в 3...4

раза, окислам азота ( $\text{NO}_x$ ) – в 1,2 ...2,0 раза, углеводов (СН) – в 1,2...1,4 раза. Дымность отработавших газов газодизельного двигателя в 2...4 раза ниже, чем при работе на дизельном топливе.

Наряду с существенными преимуществами применение газового топлива приводит и к ряду негативных последствий, характеризующих ухудшение эксплуатационных показателей двигателей.

Сжатый газ имеет низкую объемную концентрацию энергии (33,52 – 35,62) кДж/м<sup>3</sup>, что обуславливает ограничение запаса хода автомобиля при снижении его грузоподъемности из-за значительной массы баллонов. Пробег автомобиля на одной заправке ограничен – 200...250 км (400...450 при заправке бензином), что приводит к снижению коэффициента пробега на 8..13%.

При переводе четырехтактного карбюраторного двигателя на питание газовым топливом его мощность снижается на 7...20% в зависимости от вида топлива. Снижение мощности обусловлено тем, что объемная теплота сгорания стехиометрической газозвоздушной смеси ниже по сравнению бензовоздушной на 4...6%. Кроме того, повышается сопротивление впускного тракта из-за установки смесительных устройств, что приводит к снижению коэффициента наполнения. Для сгорания газозвоздушной смеси характерны увеличенная продолжительность индукционного периода при воспламенении и относительно медленное распространение фронта пламени.

Компенсация потери мощности при переводе двигателей на питание газовым топливом может быть достигнуто следующими мероприятиями: увеличение рабочего объема цилиндров и повышение степени сжатия; количественное увеличение заряда цилиндров за счет турбонаддува; применение раздельного ввода воздуха на такте всасывания и газового топлива на такте сжатия после закрытия впускных клапанов (наддув двигателя газом); автоматическое корректирование угла опережения зажигания.

Высокое содержание элементарного водорода в составе природного газа (до 25%) обуславливает низкие пусковые качества двигателей в связи с тем, что при сгорании водорода в двигателе образуется повышенное содержание водяных паров, что приводит к шунтированию электродов свечи зажигания каплями воды.

К недостаткам газобаллонных автомобилей можно также отнести высокую стоимость газовой аппаратуры, ее повышенную пожаро- и взрывоопасность, необходимость в более высокой квалификации обслуживающего персонала, увеличение затрат на текущее обслуживание и текущий ремонт.

Несмотря на имеющиеся недостатки, использование газобаллонных автомобилей экономически целесообразно из-за снижения стоимости транспортных работ.

### **Литература**

1. Карташевич А.Н., Мажугин Е.И. Интенсивная очистка жидкостей и газов в технических системах. Монография. Минск, Красико-Принт, 2002, 288 с.
2. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. М.: Колос, 1984, 335 с.
3. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. – М.: Колос, 1992, 414 с.
4. Морев А.И., Ерохов В.И. Эксплуатация и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей. М.: Транспорт, 1988, 188с.
5. Трушин В.М. Газовое обслуживание и арматура для газобаллонных автомобилей (на сжатом природном газе). Л.: Недра, 1990, 151с.
6. Прудников Б.И. и др. Применение природного газа в качестве автомобильного топлива. М.: НИИНавтопром, 1985, 40с.

Учебное издание

**Анатолий Николаевич Карташевич**  
**Владимир Анатольевич Белоусов**  
**Андрей Васильевич Гордеенко**

**СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ В КАРБЮРАТОРНЫХ  
ДВИГАТЕЛЯХ**

Лекция

Редактор Е.Г. Бутова  
Техн. редактор Н.К. Шапрунова  
Корректор Л.А.Малеванкина

ЛВ 490 от 17.04.2001. Подписано в печать 2005  
Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Бумага для множительных аппаратов.  
Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс»  
Усл. печ.л. . Уч – узд. л.  
Тираж 100 экз. Заказ . Цена .

---

Редакционно-издательский отдел БГСХА  
213410, г. Горки Могилевской обл., Студенческая, 2  
Отпечатано на ризографе копировально-множительного бюро БГСХА  
г.Горки, ул. Мичурина,5