

Определение пропорции водо-метаноловой смеси при подачи в систему питания воздухом двигателя Д-240

*И.И. Сторожев, к.т.н., И.А. Трошков, магистрант,
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья*

В настоящее время одним из перспективных способов улучшения топливной экономичности двигателей машинно-тракторных агрегатов является внедрение альтернативных топлив, использующих водо-метаноловую смесь при формировании топливо-воздушного заряда в составе водо-метаноловой эмульсии или при её подаче в жидком виде в цилиндры двигателя либо во впускной трубопровод. Вместе с тем применительно к дизельным двигателям исследования в этом направлении, по существу, не проводились.

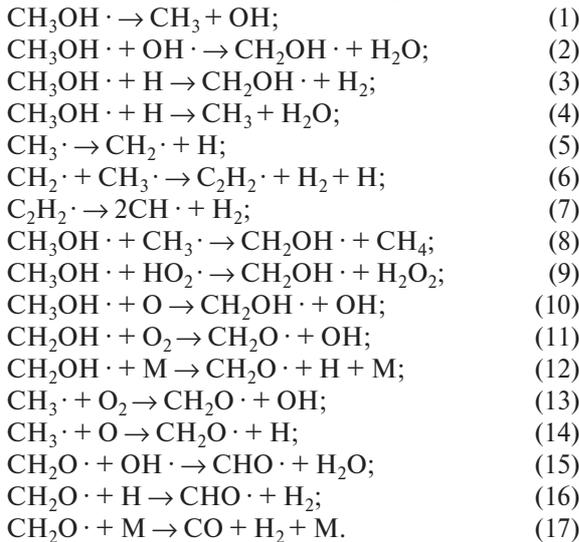
Можно сказать, что с момента изобретения двигателя внутреннего сгорания (более 100 лет назад) было предпринято много попыток повышения его экономичности на основе применения процесса парообразования воды и спиртосодержащих смесей. При работе с добавлением спиртосодержащей смеси вода преобразовывалась в пар в результате кипения или испарения (при воздействии атмосферного давления спиртосодержащая смесь по своим химическим преобразованиям

увеличивалась в объёме в 1700 раз), происходило значительное увеличение мощности двигателя, крутящего момента и коэффициента полезного действия (КПД) модернизированного двигателя. В процессе добавления спиртосодержащей смеси в ДСВ повышались не только мощность и экономия топлива (на 10–15%), но также обеспечивалось дополнительное охлаждение двигателя, так как смесь поступала в цилиндры в виде дисперсии и частично забирала тепло на испарение [1].

Материал и методы исследования. Анализ литературных источников показал, что при формировании топливо-воздушной смеси целесообразным является использование спиртосодержащей смеси не в виде топливо-водяной эмульсии, а в чистом виде с дальнейшим парообразованием внутри цилиндра двигателя.

Данный метод делает использование спиртосодержащей смеси в качестве присадки к топливо-воздушной смеси достаточно привлекательным, так как приведёт к понижению токсичности отработавших газов. Понижение эмиссии вредных веществ обусловлено в первую очередь присутствием водо-метанола, который вступает в химическую реакцию

горения. Процесс горения метанола в дизельном двигателе был рассмотрен такими учёными, как В.А. Лиханов и А.А. Анфилов. Они утверждали, что при смешивании паров топлива и метанола, ДТ (запального) и окислителя при температурном режиме 1000 К и более, образование оксида азота происходит в результате столкновения молекул азота водо-метаноловой смеси (ВМС) с молекулами кислорода. Процесс, проходящий в результате пиролиза молекулы метанола CH_3OH , может протекать по следующим химическим реакциям [2, 3]:



Из приведённых выражений (1–17) видно, что концентрация оксидов азота увеличивается с ростом концентрации молекулярного кислорода. Вода разбавляет горючую смесь, уменьшая тем самым относительную концентрацию кислорода, что благоприятно влияет на снижение NO в отработавших газах. К тому же известна термическая природа образования оксидов азота, суть которой заключается в увеличении концентрации NO с ростом температуры среды по экспоненциальному закону. Подача воды (пара) в зону горения снижает температурный режим цикла и, следовательно, уменьшает образование NO.

Таким образом, ВМС не только является инициатором каталитических цепей в реакциях горения, но и одновременно принимает участие в развитии самих цепей.

Известно также устройство для подачи ВМС в двигатель внутреннего сгорания с использованием системы двойной топливоподачей – водо-метанола с бензином.

На рисунке 1 изображена одна из примитивных систем впрыска водо-метанола в двигатель. Она имеет моновпрыск рабочей смеси, который происходит через центральный патрубок впуска. Вопрос впрыска метанола не раскрыт полностью, требуют детального рассмотрения и изучения параметры работы двигателя, выбросы отработавших газов и другие переменные величины.

Большинство систем впрыска водо-метанола имеют моновпрыск, но также встречаются способы

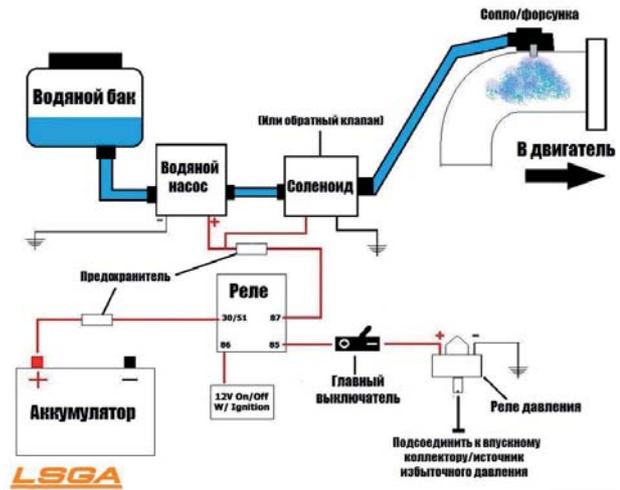


Рис. 1 – Схема впрыска водо-метанола в двигатель



Рис. 2 – Непосредственный впрыск водо-метанола в двигатель [4, 5]

с непосредственным впрыском подачи рабочей смеси. Такая система показана на рисунке 2.

В системе распределённого впрыска скорость подачи топлива из форсунки с определённым отверстием определяется законом движения плунжера и изменяющимся отверстием подающей смеси. Для расчёта скорости подачи топлива и перепада давления используются уравнения:

$$\begin{aligned}
 U_c &= C_{nl} \frac{f_{nl}}{f_c} = \omega \frac{f_{nl}}{f_c} \cdot \frac{dh_{nl}}{d\phi}, \\
 \Delta p_c &\approx \frac{\rho_m U_c^2}{2\mu_c^2} = \frac{\rho_m \omega^2}{2\mu_c^2} \cdot \left(\frac{f_{nl}}{f_c} \frac{dh_{nl}}{d\phi} \right)^2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где f_c и μ_c – соответственно площадь сечения и коэффициент расхода водо-метанола через подающее отверстие.

Анализируя эти уравнения, выявили важнейшие особенности и недостатки систем непосредственной подачи смеси. При низком скоростном режиме скорость подачи топлива изменяет качество распыла, а при увеличении частоты вращения кулачкового вала топливного насоса происходит повышение давления подачи и растёт нагрузка на детали привода ТНВД. Этому недостатка лишены аккумулирующие топливные системы высокого давления.

Для более полного исследования процесса подачи водо-метанола нужно спроектировать топливную систему, которая будет учитывать сжимаемость топлива. Дизельное топливо капельной жидкости при давлении впрыска не может считаться несжимаемой жидкостью. Целостной характеристикой свойства жидкости уменьшать свой объём при повышении давления является коэффициент сжимаемости, представленный в выражении 19 (МПа⁻¹):

$$\beta_m = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp}. \quad (19)$$

В одном случае, при экспериментальном определении показателя сжимаемости, используем средний коэффициент сжимаемости, 20 (МПа⁻¹), характеризующий уменьшение объёма при изменении давления от атмосферного до заданного:

$$\bar{\beta}_m = -\frac{1}{V_0} \frac{V - V_0}{p - 0,1}, \quad (20)$$

где V_0 – объём топлива при $p=0,1$ МПа.

Коэффициенты сжимаемости изменяются в зависимости от давления, температуры и плотности топлива (рис. 3).

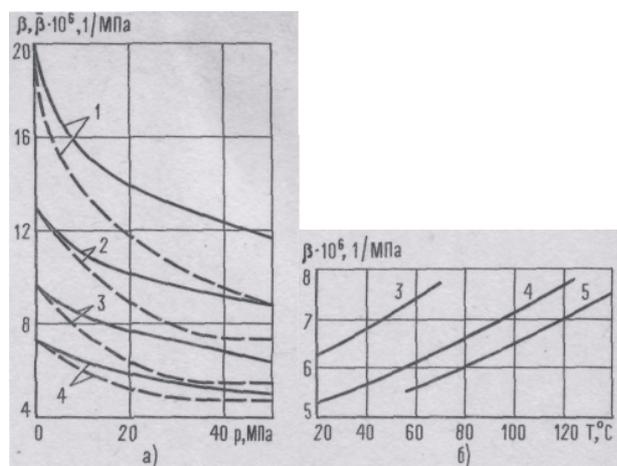


Рис. 3 – Зависимость коэффициентов сжимаемости топлива от его параметров:
 а) давления (при $t=60^\circ\text{C}$); б) температуры (при $p=10$ МПа); 1 – бензин; 2 – керосин; 3 – дизельное топливо; 4 – тяжелое дизельное топливо; 5 – мазут М-60

По графикам видно, что процесс сжимаемости топлива увеличивается с повышением температуры при его испарении и уменьшении давления [6, 7]. В значительной степени процесс изменения кривых объясняется образованием в топливе растворённого воздуха. Только при высоких давлениях его влияние исчезает. При расчёте процесса топливоподачи применяют закон Гука, однако для лёгкого топлива этот закон будет очень близок. Для практического расчёта удобно использовать имеющиеся в литературе эмпирические зависимости:

$$\beta_m = f(p, p_m, T). \quad (21)$$

Для оценки систем топливоподачи кроме сжимаемости топлива необходимо учитывать допустимые изменения подачи трубопровода и регулировки привода ТНВД. Но учитывать изменение размеров систем ТНВД и форсунок сложно, так как они достаточно жёсткие. Поэтому учитывают только деформацию нагнетательного трубопровода. Тогда для коэффициента эквивалентной сжимаемости топлива в трубопроводе применяют формулу Ламе, чтобы определить деформацию обечайки под действием распределённой нагрузки:

$$\beta_s = \beta_m + \frac{1dV_{mp}}{V_{mp}} = \beta_m + \frac{2}{E} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \mu_n \right). \quad (22)$$

Таким образом, использование многокомпонентных топлив в автотракторных двигателях способствует не только улучшению их топливной экономичности, но и может в значительной степени улучшить экологические параметры двигателей сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов [8–10].

Результаты исследования. Нами была разработана система непосредственной подачи водо-метанола во впускной коллектор двигателя 4С11/12,5. Весь процесс подачи автоматизирован, наглядная схема системы впрыска показана на рисунке 4.

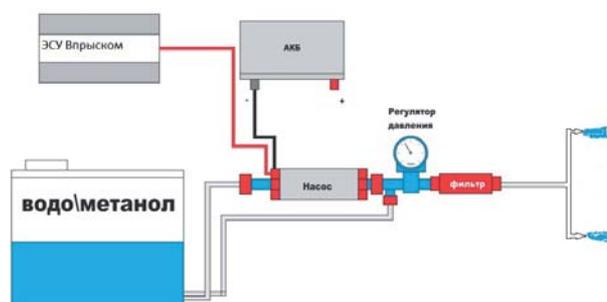


Рис. 4 – Предлагаемая система впрыска водо-метанола

Система будет работать следующим образом: жидкость из бака будет закачиваться насосом высокого давления в систему подачи, после смесь через фильтр тонкой очистки будет очищаться для продолжительной работы форсунок и клапанов. После фильтрации смесь будет подаваться в форсунки, давление подачи будет корректироваться с помощью регулятора давления, а излишки смеси будут сбрасываться обратно в бак. Также с помощью регулятора давления будет осуществляться объём подаваемой смеси при увеличении нагрузки с помощью вакуума.

Проведя аналитический обзор, мы выбрали наиболее подходящие для нашей системы подачи форсунки фирмы SSCO (рис. 5).

Форсунки имеют ряд преимуществ, таких как интегральный клапан, сетчатый фильтр, обширный диапазон работы по давлению, благодаря которому



Рис. 5 – Форсунки для подачи воды и водо-метанола SSCO

мы сможем настроить распыл для оптимальной работы двигателя с диаметром сопла от 0,6 до 0,2 мм.

Исходя из проведённого исследования, был определён рабочий состав смеси, который представляет собой пропорцию воды и метанола в концентрации 30%. Данная концентрация позволит нашей системе работать при отрицательных температурах. Произведена настройка форсунок, где определили рабочее давление, при котором будет достигнут дисперсный распыл, он составляет 7 МПа. Настроили подачу ВМС на каждую форсунку при среднем расходе жидкости 30 мл/мин.

Вывод. На экспериментальном этапе исследования мы определили процесс разложения метанола при подаче его в систему питания дизельного двигателя. Изучили системы подачи водо-метаноловой смеси в дизельные двигатели и представили свою схему подачи водо-метанола в систему питания воздухом двигателя Д-240. Определили состав концентрации водо-метанола, который составляет 30% чистого метанола. Подобрали форсунку с диаметром распыла от 0,6 до 0,2 мм. Определили оптимальное рабочее давление жидкости 7 МПа, которое подаётся в дисперсном состоянии в систему питания воздухом двигателя Д-240. Настроили подачу водо-метанола на каждую форсунку при среднем расходе жидкости 30 мл/мин.

Литература

1. Анфилатов А.А. Особенности методики проведения исследований по снижению содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: межвуз. сб. науч. тр. СПб. – Киров: Российская академия транспорта – Вятская ГСХА, 2006. Вып. 4. С. 178–188.
2. Патлах В.В. Впрыск воды в цилиндры двигателя внутреннего сгорания: «Домашние технологии». 1993–2007 гг. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.patlah.ru>.
3. Лиханов В.А., Лопатин О.П., Анфилатов А.А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи // Инновации в образовательном процессе: сб. науч. тр. Межрегион. науч.-практич. конф. вузов Приволжского региона. М.: МГОУ, 2006. С. 63–68.
4. Гаврилов А.Ф., Горбаненко А.Д., Туркестанова Е.Л. Влияние влаги, вводимой в горячий воздух, на содержание оксидов азота в продуктах сгорания газа и мазута // Теплоэнергетика. 1983. № 10. С. 13–15.
5. Горячкин А.В. Влияние содержания влаги в зоне горения на эмиссию оксидов азота и серы // НаучОБИ праш техногенна безпека. 2004. Вип. 18. Т. 31. С. 27–37.
6. Кукис В.С. Свободнопоршневой паровой термоэлектрогенератор для утилизации теплоты отработавших газов ДВС / В.С. Кукис, М.Л. Хасанова, В.А. Дерябин [и др.] // Свидетельство на полезную модель. RU 26600 U1, 7 F 01 G 5/02. Оpubл. 10.12.2002. Бюл. №34.
7. Старцев А.В., Сторожев И.И. Эффективность использования машинно-тракторных агрегатов с двигателями, работающими на многокомпонентном топливе. Сообщение 1. Экономическая оценка // Наука и производство: сб. науч. трудов / под ред. В.В. Ерофеева. Челябинск: ЧРО РАЕН, 2009. С. 10–17.
8. Сторожев И.И. Улучшение экологических показателей дизельного двигателя путём добавления воды в рециркуляцию отработавших газов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. Ульяновск: Ульяновская ГСХИ, 2007. С. 39–42.
9. Сторожев И.И. Повышение топливной экономичности тракторного агрегата на базе тракторов МТЗ-80/82 путём добавления воды в систему питания воздухом: дис. ... канд. техн. наук.: 05.20.01. Челябинск, 2009. 157 с.
10. Романов С.В. Повышение топливной экономичности дизельного двигателя путём использования водотопливных эмульсий и водной инжекции // Роль науки в развитии общества: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. 17 апреля 2014 г.: Ч.2 / отв. ред. А.А. Сукиасян. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 63–65.