18. Near infrared analyzer DA 7250 [Electronic resource]. URL: https://www.perten.com/ru/3/-----DA-7250/ (accessed 20.03.2018).
19. Combined system DairySpec FT Combi [Electronic resource]. URL: http://www.bentleyplemtech.ru/index.php?id=201&module=pages (accessed 20.03.2018).
20. Combined system FTS Combi [Electronic resource]. URL: http://www.bentleyplemtech.ru/index.php?module=pages&id=107 (accessed 20.03.2018).
21. Instrumentation and methodological solutions for the dairy industry: prospect GC analytical instrumentation "Lumex", b/g, 4 p.
22. Instruments and laboratory equipment for the agroindustrial complex: the prospect of GK analytical instrumentation "Lyumeks", b/g, 4 s
23. Devices and equipment for the enterprises of oil and fat industry: Avenue GC analytical instrumentation "Lumex", b/g, 4 p.
24. Kuzmichev, A.M., Kalmykova, E.A., Kudinova N.In. Noskova N.Yu. A new rapid method for evaluation of milk quality using dispersion analyzer LUMiFuge // Dairy industry, 2018, No. 4.-Pp. 27-29.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Буклагин Дмитрий Саввич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению АПК», Россия, г.п. Правдинский Московской обл, e-mail: buklagin@rosinformagrotech.ru.

Author credentials
Affiliations

Buklagin Dmitry Savvich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex”, Russia, Pravdinsky, Moscow Region, e-mail: buklagin@rosinformagrotech.ru.

Поступила в редакцию (Received): 19.09.2019 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2019

УДК 621-436
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-5-98-109

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ Д-240 С ДОБАВЛЕНИЕМ ВОДО-МЕТАНОЛОВОЙ СМЕСИ В СИСТЕМУ ПОДАЧИ ВОЗДУХОМ

[1]Сторожев Иван Иванович
[1]Трошков Илья Александрович
[1]ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

Реферат. *Для улучшения топливной экономичности двигателей машинно-тракторных агрегатов одним из перспективных способов считается внедрение альтернативных топлив, содержащих водо-метаноловую смесь (ВМС). Анализ литературных данных подтвердил гипотезу, о целесообразности использование спиртосодержащей смеси не в виде топливо-водяной эмульсии, а в чистом виде с дальнейшим парообразованием внутри цилиндра двигателя. Представлен патентный обзор подачи водо-метанола в дизельные двигатели. Установлено, что в присутствии водо-метанола происходит понижение эмиссии отработанных вредных веществ. Рассмотрен процесс разложения метанола при подаче его в систему питания дизельного двигателя. Подробно описано образование метаноловоздушной смеси (МВС), составлены химические реакции при разных температурных режимах. Представлены результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания оксидов азота в продуктах сгорания МВС и их влияния на экономические и механические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0. Разработана схема подачи ВМС в систему питания воздухом двигателя Д-240. На основе работы*

модернизированной модели определена оптимальная концентрация чистого метанола в ВМС – 30 %. По данным расчетов и практических исследований выполнен подбор из существующих форсунок, подобран их оптимальный диаметр в пределах 0,6 - 0,2 мм, определено рабочее давление для распыления жидкости до дисперсного состояния - 7 МПа. Выполнена настройка ВМС на каждую форсунку, определившая средний оптимальный расход жидкости 30 мл/минуту, обеспечивающий стабильную работу двигателя. Проведенные испытания над заводским образцом и модернизированным образцом установки впрыска ВМС в двигатель показали снижение часового расхода топлива в последнем случае

Ключевые слова: *метаноловоздушная смесь, модернизация двигателя Д-240, альтернативное топливо, многокомпонентное топливо, понижение токсичности отработавших газов, пиролиз, впрыск водо-метанола в двигатель, форсунки для подачи воды и водо-метанола, КПД двигателя.*

DETERMINATION OF OPERATION PARAMETERS OF THE D-240 ENGINE WITH THE ADDITION OF WATER-METHANOL MIXTURE IN THE AIR SUPPLY SYSTEM

[1]Storozhev Ivan
[1]Troshkov Ilya
[1]FSBEI HE "Northern Trans-Ural State Agricaltural University"

Abstract: *One of the promising ways to improve the fuel economy of engines of machine-tractor units is the introduction of alternative fuels containing a water-methanol mixture (IUD). An analysis of the literature data confirmed the hypothesis that it is advisable to use an alcohol-containing mixture not in the form of a fuel-water emulsion, but in pure form with further vaporization inside the engine cylinder. Patent review of the supply of water-methanol to diesel engines was submitted. It has been established that in the presence of water-methanol there is a decrease in the emission of spent harmful substances. The process of methanol decomposition when it is fed into the diesel engine power system is considered. The formation of a methanol-air mixture (MVS) is described in detail; chemical reactions are compiled at different temperature conditions. The results of theoretical calculations on the change in the volume content of nitrogen oxides in the combustion products of the MBC and their influence on the economic and mechanical indicators of a 2CH 10.5 / 12.0 diesel engine are presented. The scheme for supplying the Navy to the air supply system of the D-240 engine was developed. The optimal concentration of pure methanol in the IUD, which is 30%. was determined based on the work of the modernized model. The selection of existing nozzles was made according to calculations and practical studies, their optimal diameter was selected in the range of 0.6 - 0.2 mm, the working pressure for spraying the liquid to a dispersed state in the value of 7 MPa was determined. UD adjustment for each nozzle was performed, which determined the average optimal fluid flow rate of 30 ml / min, ensuring stable engine operation. The tests carried out on the factory model and the upgraded model of the installation of the Navy injection into the engine showed a decrease in hourly fuel consumption in the latter case*

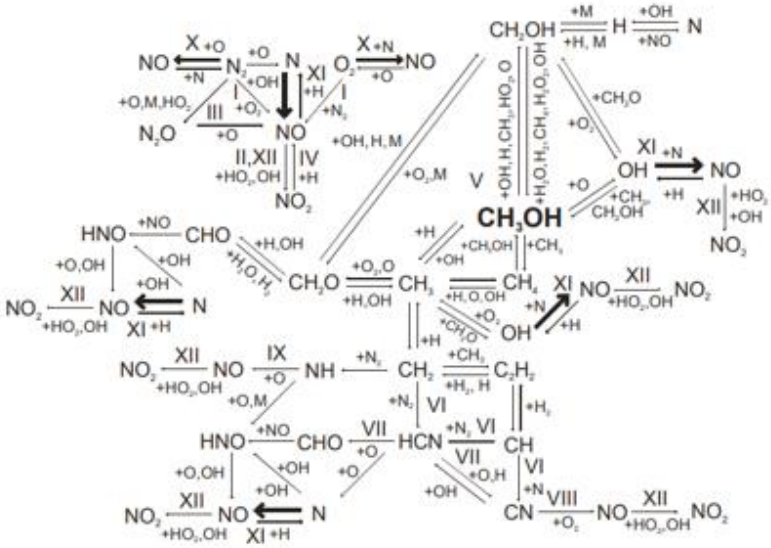
Keywords: *methanol-air mixture, modernization of the D-240 engine, alternative fuel, multicomponent fuel, exhaust gas toxicity reduction, pyrolysis, injection of water-methanol into the engine, nozzles for supplying water and water-methanol, engine efficiency.*

Повышения эффективности функционирования сельскохозяйственных машин напрямую связано с топливной экономичности двигателей [1-11] Для ее улучшения в настоящее время одним из перспективных способов считается внедрение альтернативных топлив, содержащих водо-метаноловую смесь [12,13]. При подаче такой смеси в жидком виде в цилиндры двигателя либо во впускной трубопровод происходит формирование топливо-воздушного заряда в составе водо-метаноловой эмульсии, что позволяет заметно снизить расход топлива, улучшить показатели двигателя и увеличить его мощность. Несмотря на все достоинства и преимущества такой системы, исследования применительно к дизельным двигателям в этом направлении, по существу, не проводились.

С момента открытия двигателя внутреннего сгорания прошло более ста лет, за это время были проведены исследованы и применены большое количество попыток относительно повышения экономичности, мощности двигателя исходя из применения процесса парообразования воды и

спиртосодержащих смесей. При работе двигателя с добавлением спиртосодержащей смеси, вода в результате кипения или испарения преобразовывалась в пар. Спиртосодержащая смесь при воздействии атмосферного давления по своим химическим преобразованиям увеличивалась в объёме в 1700 раз, что приводило к значительному увеличению крутящего момента, мощности и коэффициента полезного действия (КПД) модернизированного двигателя. В процессе применения спиртосодержащей смеси в двигателе внутреннего сгорания повышается мощность и при этом экономится топливо (на 10…15%). Учитывая тот факт, что вода имеет достаточно высокую удельную теплоту парообразования, в 7 раз превышающую удельную теплоту парообразования бензина, можно утверждать, что у воды наилучшие показатели охлаждения. Таким образом при сгорании дисперсного топлива обеспечивается дополнительное охлаждение двигателя за счет использования теплоты сгорания на испарение воды [8].

Анализируя литературные источники и труды ученых, подтвердилась гипотеза, что при формировании топливо-воздушной смеси целесообразно использование спиртосодержащей смеси не в виде топливо-водяной эмульсии, а в чистом виде с дальнейшим парообразованием внутри цилиндра двигателя. Также важным обстоятельством является понижение токсичности отработавших газов, что делает использование спиртосодержащей смеси в качестве присадки к топливовоздушной смеси еще более привлекательным решением. Понижение эмиссии вредных веществ обусловлено в первую очередь присутствием водо-метанола, вступающего в химическую реакцию горения. Анфилатов А.А. в своих научных трудах упоминал процесс горения метанола в дизельном двигателе, также этот вопрос был описан в работах Лиханова В.А. [14 – 16]. Ученые описывали, как при смешивании паров топлива и метанола, ДТ (запального) и окислителя при Т более 1000 К, взаимодействия молекул азота водо-метанолавой смеси (ВМС) с молекулами кислорода приводит к образованию оксида азота. В процессе пиролиза молекулы метанола CH_3OH вступают в химический процесс, протекающий по реакциям, представленным на рисунке 1 [1, 3]



I – образование NO по бимолекулярной реакции; II – окисление NO до NO_2 в предпламенной зоне; III – образование и разложение гемиоксида азота N_2O; IV – образование NO за счет расхода NO_2; V – термический пиролиз метанола; VI – взаимодействие молекулярного азота с углеводородными фрагментами; VII – превращение HCN в CN; VIII, IX – образование быстрого NO; X – образование термического NO по механизму Я.Б. Зельдовича; XI – образование термического NO через радикалы OH; XII – окисление NO до NO_2 в запламенной зоне

Рисунок 1 – Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи

Далее к рисунку 1 приведем уравнения, отражающие процесс химизма, их которых 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 увеличение концентрации NO с ростом температуры среды по экспоненциальному закону. Подача воды (пара) в зону горения понижает температурный режим цикла, и, следовательно, уменьшает образование оксидов азота.

Рассмотрим процесс образованию оксида азота в среде с температурой от 1000 К и более при смешение паров топлива метанола, ДТ (запального) и окислителя. Взаимодействие молекул кислорода и азота протекает с образованием метаноловоздушной смеси по реакциям 1-7:

Далее в предпламенной зоне происходит доокисление образовавшийся оксида азота до (NO_2),

$$N_2+O_2\rightarrow 2NO \quad (1)$$
$$NO+HO_2\rightarrow NO_2+OH \quad (2)$$
$$NO+OH\rightarrow NO_2+H \quad (3)$$
$$N_2+O+M\rightarrow N_2O+M \quad (4)$$
$$N_2+HO_2\rightarrow N_2O+OH \quad (5)$$
$$N_2O+O\rightarrow 2NO \quad (6)$$
$$NO_2+H\rightarrow NO+OH \quad (7)$$

под действием в основном пероксидного радикала (HO_2), образующегося в зоне гибели атомарного водорода и радикала OH, (II, рисунок 1) При температурном уровне ниже 1500 К имеется недостаток окислителя азота МВС, что приводит к образованию быстрых оксидов азота по схеме (III, рисунок 1) с образованием и разложением гемиоксида азота (N_2O). Затем диоксид азота практически весь переходит в оксид азота с последующим образованием молекулы метанола (ветвь IV, рисунок 1):

Образовавшиеся в результате пиролиза молекулы метанола (CH_3OH) распадаются по схеме (цепь V, рисунок 1) с образованием промежуточных продуктов соединения типа HCN· и CN·, участвующих в последующем в механизме образования быстрого (NO). Половина HCN·, образовавшегося по реакциям 25, 26 и 28, превращается в CN· (цепь VII, рисунок 1):

$$CH_3OH\rightarrow CH_3+OH \quad (8)$$
$$CH_3OH+OH\rightarrow CH_2OH+H_2O \quad (9)$$
$$CH_3OH+H\rightarrow CH_2OH+H_2 \quad (10)$$
$$CH_3OH+H\rightarrow CH_3+H_2O \quad (11)$$
$$CH_3\rightarrow CH_2+H \quad (12)$$
$$CH_2+CH_3\rightarrow C_2H_2+H_2+H \quad (13)$$
$$C_2H_2\rightarrow 2CH+H_2 \quad (14)$$
$$CH_3OH+CH_3\rightarrow CH_2OH+CH_4 \quad (15)$$
$$CH_3OH+HO_2\rightarrow CH_2OH+H_2O_2 \quad (16)$$
$$CH_3OH+O\rightarrow CH_2OH+OH \quad (17)$$
$$CH_2OH+O_2\rightarrow CH_2O+OH \quad (18)$$
$$CH_2OH+M\rightarrow CH_2O+H+M \quad (19)$$
$$CH_3+O_2\rightarrow CH_2O+OH \quad (20)$$
$$CH_3+O\rightarrow CH_2O+H \quad (21)$$
$$CH_2O+OH\rightarrow CHO+H_2O \quad (22)$$
$$CH_2O+H\rightarrow CHO+H_2 \quad (23)$$
$$CH_2O+M\rightarrow CO+H_2+M \quad (24)$$
$$CH_2+N_2\rightarrow HCN+NH \quad (25)$$
$$CH+N_2\rightarrow HCN+N \quad (26)$$
$$7CN+N\rightarrow CN+H \quad (27)$$
$$CN+OH\rightarrow HCN+O \quad (28)$$
$$HCN+O \rightarrow CN+OH \quad (29)$$

Часть молекул HCN·, около 10 %, образует CN· по реакции:

$$HCN\cdot + H \rightarrow CN\cdot + H_2, \quad (30)$$

а остальные 40 % преобразуются в азот по реакции 31:

$$HCN\cdot + O \rightarrow CHO + N \quad (31)$$

Радикалы CN, NH·, образованные в процессе цепных реакций, являются дополнительными центрами формирования быстрого оксида азота (ветви VIII, IX, рисунок 1), что описано в химических реакциях 32,33:

$$CN\cdot + O2 \rightarrow CO + NO \quad (32)$$

$$NH\cdot + O \rightarrow NO + H \quad (33)$$

Далее по механизму Я.Б. Зельдовича протекает образование термического оксида азота (цепь X на рисунок 1):

$$N_2+O \rightarrow NO+N \quad (34)$$

$$NO+N \rightarrow N_2+O \quad (35)$$

$$N+O_2 \rightarrow NO+O \quad (36)$$

$$NO+O \rightarrow N+O_2 \quad (37)$$

При глубоком пиролизе топлива в КС дизеля при работе на метаноле с ДСТ находится большое количество локальных объемов смеси, в которых присутствуют промежуточные химически неустойчивые продукты низкотемпературного разложения метанола, в том числе радикалов OH·. Поэтому образование термического оксид азота протекает также по схеме через радикалы свободные OH· (цепь XI, рис. 1):

$$N+OH \rightarrow NO+H \quad (38)$$

$$NO+H \rightarrow N+OH \quad (39)$$

$$HNO+OH \rightarrow NO+H2O \quad (40)$$

$$HNO+O \rightarrow NO+OH \quad (41)$$

Радикалы CN·, NH·, которые образовались в процессе реакций 25-30 доокисляются, что описано реакциями 32, 33. При наличия избытка окислителя и становления максимальной температуры ведущими реакциями окисления становятся CH_3OH, определяющие тепловой режим в цилиндре дизеля. Образование термического NO протекает в определяющей степени по реакциям 36-41 (цепи X, XI, рисунок 1). В этот момент равновесная концентрация атома азота по сравнению с концентрацией атомарного кислорода низка, из-за чего не происходит цепной реакции. Поэтому интенсивное образование оксида азота возможно лишь после завершения первой стадии горения смеси, с практически полным расходом исходных углеводородов и образованием промежуточных продуктов сгорания – CO и H_2 с максимальной концентрацией.

С понижением температуры происходит расход оксида азота по представленным выше химическим реакциям 17-39 (цепи X, XI, рисунок 1). При температуре ниже 970 К происходит доокисление NO в NO_2 в запламенной зоне за счет реакций 2 и 3 (ветвь XII, рисунок 1). На протяжении всех химических реакций в продуктах сгорания МВС можно видеть различные оксиды азота, которые по термодинамической устойчивости можно расположить в ряд по убыванию: NO, N_2O, NO_2, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5. Таким образом, в рассмотренном процессе сгорания топлива метаноловоздушная смесь не только является инициатором каталитических цепей, но и одновременно принимает участие в развитии самих цепей.

Известно также устройство для подачи ВМС в двигатель внутреннего сгорания сиспользованием системы двойной топливоподачи.

Далее рассмотрим результаты теоретических и стендовых расчетов по подбору концентрации r NO x $_{расч}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 В расчетах определялась зависимость объемного содержания rNOx от угла п.к.в. и частоты вращения 1800 мин$^{-1}$ и 1400 мин$^{-1}$ при работе на дизельном топливе и на метаноле с ДСТ.

Значение полученного объемного содержания rNOx оксидов азота в цилиндре дизеля при значении φ = 140,0º п.к.в. после в.м.т. (выходное расчетное значение r NO x вых$_{расч}$ в момент открытия выпускного клапана) определено как 463 ppm. При частоте вращения n = 1900 мин $^{-1}$ и Θдт = 34 º; Θм = 34 º что отражено в протоколах испытания, концентрации r NO x max$_{расч}$ оксидов азота в цилиндре дизеля соответствует максимальному теоретическому расчетному значению при работе на метаноле с ДСТ. Данная величина равна 389 ppm при угле φ = 25,0 º п.к.в. после в.м.т. Расчеты отражают понижение концентрации до 32,7 % .

При значениях n = 1400 мин $^{-1}$ видно, что максимальное значение объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля равно 663 ppm при угле п.к.в. после в.м.т. φ = 19,0° Выходное значение концентрации r NO x вых$_{расч}$ в момент открытия выпускного клапана при угле п.к.в. после в.м.т. φ = 140,0° составило 509 ppm. При Θдт = 30 º; Θм = 30 º , φ = 21,0º п.к.в. после в.м.т.

выявлено максимальное значение концентрации r NO x $max_{расч}$ оксидов азота в размере 411 ppm. Таким образом добились снижения расхода топлива до 38,8 %.

На основании проведенных стендовых и теоретических исследований о влиянии использования метанола с ДСТ в качестве альтернативного топлива на процессы образования и разложения оксидов азота, были определены экологические, механические и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 с полусферической камерой сгорания в поршне. При впрыскивании дизельного топлива (запального) через многоструйную форсунку установлена возможность улучшения его экологических показателей, а именно, понижение концентрации оксидов азота в ОГ, экономии дизельного топлива, рост эффективных показателей двигателя.

Экспериментальными исследованиями для снижения содержания оксидов азота в ОГ, объемного содержания r NOx и массовой концентрации CNOx оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ определены значения оптимальных установочных УОВТ:

- для ДТ - 30 º п.к.в.,
- для метанола - 30 º п.к.в.
- для сохранения КПД двигателя на уровне серийного дизеля на номинальном режиме при подачах запальной порции дизеля в объеме 6,8 % и метанола в объеме 93,2 %.

При замене дизельного топлива метанолом получилось достичь общей экономии топлива до 86 %.

Разработанный химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ при впрыскивании ДТ (запального) через многоструйную форсунку и предложенная на его основе математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре и ОГ дизеля показали схожие результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований, отраженных в протоколах испытаниях 1-2.

Так при n = 1900 мин $^{-1}$ и оптимальных установочных УОВТ максимальное значение расчетной концентрации r NO x $max_{расч}$ оксидов азота в цилиндре дизеля составило 397 ppm при φ = 21,0 º п.к.в. после в.м.т., а выходное в момент открытия выпускного клапана - 306 ppm. С понижением частоты вращения до n = 1400 мин $^{-1}$ расчетное содержание оксида азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ получилось равным 413 ppm при φ = 21,0 º п.к.в. после в.м.т., а выходное в момент открытия выпускного клапана - 318 ppm.

Экспериментальными исследованиями и расчетным путем были определены значения содержания оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на дизельном топливе и на метаноле с ДСТ для частоты вращения n = 1800 мин $^{-1}$ и n = 1400 мин $^{-1}$ в зависимости от установочного УОВТ. Так экспериментальное значения на оптимальных углах при частоте n = 1800 мин $^{-1}$ содержание оксидов азота в ОГ составляет 330 ppm, а расчетное - 309 ppm, что соответствует объему в 0,45 г/м^3. При n = 1400 мин -1 и работе дизеля на метаноле с ДСТ экспериментальное значение содержания в ОГ дизеля оксидов азота получено в значении 360 ppm, а расчетное содержание - 338 ppm, что соответствует объему 0,47 г/м^3.

Далее рассмотрены расчетные значения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12 в зависимости от изменения угла п.к.в. при работе на ДТ и на метаноле с ДСТ. Максимальное значение концентрации в цилиндре дизеля показало 408 ppm при угле φ = 21,0 º п.к.в. после в.м.т., при этом максимальное значение C NOx при этом же значении угла составляет равно 0,59 г/м^3. Выходные расчетные значения r NOx и C NOx в цилиндре дизеля при работе на метаноле с ДСТ при φ = 140,0 º п.к.в. после в.м.т. составляют, соответственно, 313 ppm и 0,45 г/м^3. Таким образом имеем снижение расхода топлива на 32,2 % для каждого показателя.

Далее рассмотрены показатели, полученные при n = 1800 мин$^{-1}$, оптимальных углов и давлении 0,55 Мпа. Значения концентрации оксида азота при проведении опыта на дизельном топливе равно 424 ppm, а при работе на метаноле с ДСТ – всего 282 ppm. Снижение расхода составило 31,9 %. При этом значения концентрации оксида азота при работе двигателя на дизельном топливе определено в объеме 0,65 г/м^3, а при работе на метаноле–0,43 г/м^3. Получаем снижение расхода на 32,1 %.

Понижая частоту вращения двигателя до n = 1200 мин$^{-1}$ определяем расчетные и экспериментальные значения содержания оксидов азота. Экспериментальным путем определили, что при работе на метаноле с ДСТ по сравнению с ДТ содержание NO x в ОГ уменьшается с 478

ppm до 308 ppm, а с увеличением частоты n = 2000 мин$^{-1}$ - с 365 ppm до 253 ppm, что соответственно составляет 34,4 % и 31,0 %. Результат описывает снижение объемной концентрации с 0,75 г/м^3 при работе на ДТ до 0,47 г/м^3 при работе на метаноле с ДСТ. При частоте вращения n = 2000 мин $^{-1}$ при работе на ДТ С NOхрасч составляет 0,59 г/м^3, а при работе на метаноле с ДСТ – только 0,40 г/м^3. Таким образом снижение составляет 32,1 %.

Далее проведем обзор систем впрыска водо-метанола в двигатель. На рисунке 2 показана простая схема осуществления впрыска водо-метанола в двигатель. Согласно данной схемы в системе моно впрыск рабочей смеси происходит через центральный патрубок впуска.

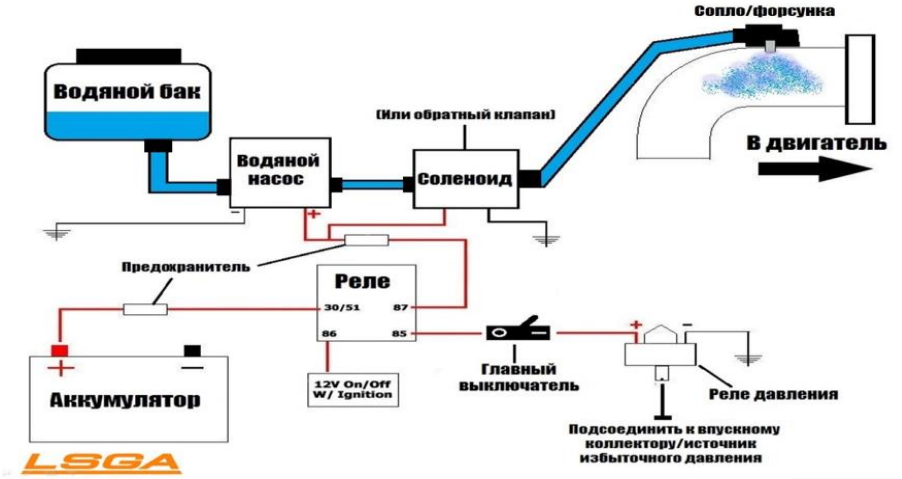


Рисунок 2 – Схема впрыска водо-метанола в двигатель

Помимо систем с моно впрыском водо-метанола встречаются и такие системы, где с непосредственным впрыском подается рабочая смесь. Эта система изображена на рисунке 3.

Рисунок 3 – Непосредственный впрыск водо-метанола в двигатель [4, 5]

С научной стороны описания результатов о применении впрыска метанола не достаточно раскрыто, отсутствует детальный анализ параметров работы двигателя, количества выбросов отработанных газов и других переменных величин. Поэтому нами была разработана система непосредственной подачи водо-метанола во впускной коллектор двигателя 4Ч 11/12,5. Данная схема представлена на рисунке 4. Особенность этой схемы заключается в полной автоматизации системы.

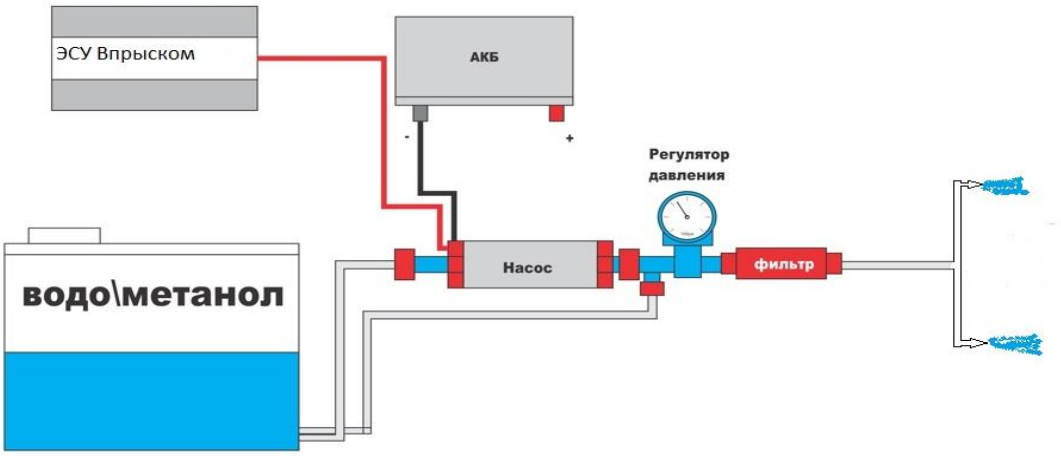


Рисунок 4 – Предлагаемая система впрыска водо-метанола

Работа системы происходит следующим образом: жидкости из бака по средством насоса высокого давления попадает в систему подачи, далее для продолжительной работы форсунок происходит очищение смеси с помощью фильтров. После фильтрации смесь будет подаваться в форсунки, давление подачи будет корректироваться с помощью регулятора давления, а излишки смеси будут сбрасываться обратно в бак. Так же с помощью регулятора давления будет изменяться объем подаваемой смеси при увеличении нагрузки с помощью вакуума.

Проведя аналитический обзор, мы выбрали наиболее подходящие для нашей системы подачи, форсунки фирмы SSCO представлены на рисунке 5.

Рисунок 5 – Форсунки для подачи воды и водо-метанола SSCO

Форсунки имеют ряд преимуществ, таких как интегральный клапан, фильтр сетка, обширный диапазон работы по давлению, благодаря которому мы сможем настроить распыл для оптимальной работы двигателя с диаметром сопла от 0,6 до 0,2 мм.

Исходя из проведенных исследований, был определен 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 определи рабочее давление при котором будет достигнут дисперсный распыл форсунки, которое равно 7 МПа. Настроили подачу ВМС на каждую форсунку при среднем расходе жидкости 30 мл /минуту.

В таблице 1 представлены результаты испытаний ДВС в заводском состоянии. В таблице 2 приведены данные испытаний ДВС с разработанной установкой. Приведенные результаты показывают, что при одинаковых частотах вращения вала двигателя, нагрузке на тормозе, расходе топлива за опыт и др., часовой расход топлива при использовании ВМС ниже.

Рисунок 6 – опытный образец установки впрыска – водо-метанола в двигатель.

Таблица 1 – Результаты испытаний ДВС в заводском состоянии

№	Наименование параметра и размерность	Обозначение параметра	Номер опыта						
			1	2	3	4	5	6	7
1	Частота вращения вала двигателя, мин$^{-1}$	n	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
2	Нагрузка на тормозе, кг	$P_т$	2	6	15	21	25	30	35
3	Расход топлива за опыт, г	$\Delta G_т$	100	100	100	100	100	100	100
4	Продолжительность опыта, с	T	1,45	1,20	1,04	59	48	35	21
5	Показания U-образного водяного манометра, мм вод. ст.	Δh	115	118	120	120	120	122	124
6	Температура охлаждающей жидкости, °С	$t_ж$	50	55	60	70	74	85	91
7	Часовой расход топлива, кг/ч	$G_т$	3,43	4,5	5,6	7,2	7,5	10,3	17,1
8	Условная мощность механических потерь, кВт	$N_{мп}$	131,4						
9	Крутящий момент, Н·м	$M_к$	14	42	105	147	175	210	245
10	Эффективная мощность, кВт	N_e	2,78	8,35	20,9	29,2	34,8	41,8	48,7
11	Индикаторная мощность, кВт	N_i	134,2	139,7	152,3	160,6	166,2	173,2	180,1

$P_{мп}$ = 1,748МПа (Условное среднее давление механических потерь).

Таблица 2 – Результаты испытаний ДВС с разработанной установкой.

№	Наименование параметра и размерность	Обозначение параметра	Номер опыта						
			1	2	3	4	5	6	7
1	Частота вращения вала двигателя, мин$^{-1}$	n	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
2	Нагрузка на тормозе, кг	$P_т$	2	6	15	21	25	30	35
3	Расход топлива за опыт, г	$\Delta G_т$	100	100	100	100	100	100	100
4	Продолжительность опыта, с	T	2,17	1,50	1,35	1,04	55	45	35
5	Показания U-образного водяного манометра, мм вод. ст.	Δh	115	115	118	119	120	120	122
6	Температура охлаждающей жидкости, °С	$t_ж$	50	52	58	67	69	80	87
13	Часовой расход топлива, кг/ч	$G_т$	2,62	3,2	3,78	4,55	6,5	8	10,2
21	Условная мощность механических потерь, кВт	$N_{мп}$	131,4						
22	Крутящий момент, Н·м	$M_к$	14	42	105	147	175	210	245
24	Эффективная мощность, кВт	N_e	2,78	8,35	20,9	29,2	34,8	41,8	48,7
27	Индикаторная мощность, кВт	N_i	134,2	139,7	152,3	160,6	166,2	173,2	180,1
28	Расход водометанола, г.	g_i	140	115	100	75	65	60	50

$P_{мп}$= 1,748МПа (Условное среднее давление механических потерь).

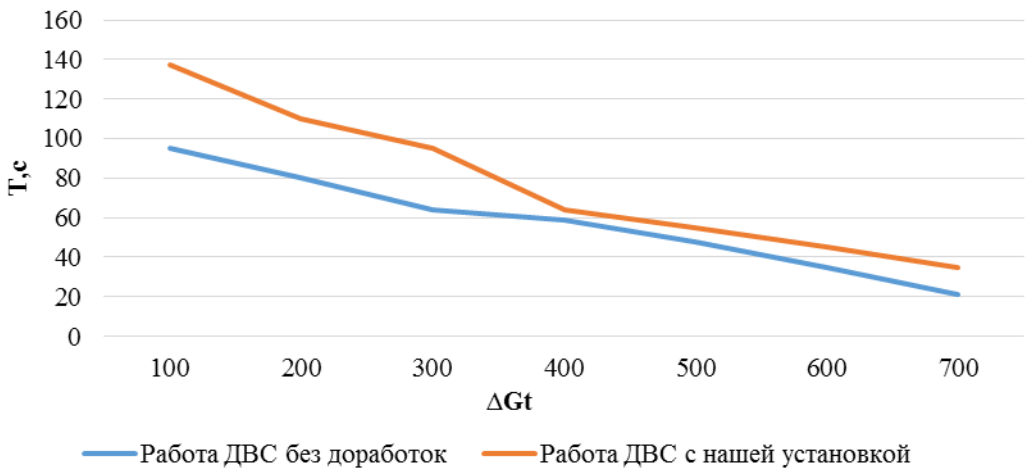


Рисунок 7 – График зависимости времени от расхода топлива при увеличении нагрузки на тормозе от 2КН – 35КН.

Выводы.

1. Рассмотрен процесс разложения метанола при подаче его в систему питания дизельного двигателя. Описали образование метаноловоздушной смеси (МВС) с помощью химических реакций, протекающих в разных температурных режимах.
2. Представлены результаты теоретических расчетов по изменению объемного содержания оксидов азота в продуктах сгорания МВС и их влияния на экономические и механические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0.
3. Разработана схема подачи водо-метанола в систему питания воздухом двигателя Д-240. На основе работы модернизированной модели определен оптимальный состав концентрации водо-метанола, который составляет 30% чистого метанола.

4. По данным расчетов и практических исследований выполнен подбор из существующих форсунок, подобран их оптимальный диаметр в пределах 0,6 - 0,2 мм на рабочее давление для распыления жидкости до дисперсного состояния в значении 7 МПа.

5. Выполнена настройка подачи водо-метанола на каждую форсунку, что определило средний оптимальный расход жидкости в величине 30 мл/минуту, обеспечивающий стабильную работу двигателя.

6. При дальнейшем исследовании подачи водо-метанолавой смеси будет проводится настройка и автоматизация процесса впрыска в систему питания воздухом двигателя Д-240.

Список литературы

1. Сторожев И.И. Улучшение экологических показателей дизельного двигателя путём добавления воды в рециркуляцию отработавших газов // «Наука в современных условиях от идеи до внедрения» Ульяновская ГСХИ. – 2007. – С. 39-42.

2. Панфилов А.А. Сравнительная характеристика компонентов топлив двигателей // Улучшение эксплуатационных показателей ДВС: межвуз. сб. науч. тр. – СПб. – Киров: Российская Академия транспорта - Вятская ГСХА, 2010. – Вып. 2. – С. 124 - 136.

3. Павлов А.Н. Двигателя внутреннего сгорания: «Домашние технологии». 2016 гг. [URL]/ http://engine.aviaport.ru/main.htm

4. Лиханов В.А., Лопатин О.П., Анфилатов А.А. Химизм образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи //ЮНИКОМ: – М.: МГОУ, 207. – С. 61-64.

5 Матюшин В.С. Влияние влаги, вводимой в горячий воздух, на содержание оксидов азота в продуктах сгорания жидкого топлива // Теплоэнергетика. – 1980. – №11. – С. 22.

6 Хасанова В.А. Утилизация теплоты отработавших газов двигателя внутреннего сгорания // RU 28900 U1, 7 F01 G 5/02. М.-10.12.2002.

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.- труд. / под В.В. Ерофеева. – Челябинск: ЧРО РАЕН, 2009. С. 10-17.

8 Сторожев И.И Повышение топливной экономичности тракторного агрегата на базе тракторов МТЗ-80/82 путем добавления воды в систему питания воздухом. // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) — Челябинск, 2009. – 157 с

9. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива// Техника и оборудование для села. 2012. № 6. С. 10-11.

10. Романцова С.В., Нагорнов С.А., Корнев А.Ю. Состав добавки для улучшения характеристик современного дизельного топлива // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 3 (30). С. 547-556.

11. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н., Бектилевов А.Ю. Исследование влияния многофункциональных добавок на смазочные свойства низкосернистых дизельных топлив// Наука в центральной России. 2013. № 5. С. 20-27.

12. Варламов С.Е. Водотопливные эмульсии и водная инжекция [Текст] / С.В. Романов // Наука и техника: / отв. ред. А.А. Филипов. – С.-П.: Стелла, 2014. – С.103 – 105.

13. Sebastian V. S., Turner J. WG, Sileghemb L., Vancoillieb J. Methanol as a fuel for internal combustion engines // Progress in Energy and Combustion Science. –V. 70, January 2019. 43-88.

14. Анфилатов А.А., Лиханов В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: монография. – Киров: Вятская ГСХА, 2008. - 156 с.

15. Лиханов В.А, Чувашев А.Н., Глухов А.А., Анфилатов А.А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. - № 3. – С. 8-11.

16. Лиханов В.А, Чувашев А.Н., Глухов А.А., Анфилатов А.А.Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. - № 4. – С.- 10-13.

Referenses

1. Storozhev I.I. Uluchshenie ekologicheskih pokazatelej dizel'nogo dvigatelya putyom dobavleniya vody v recirkulyaciyu otrabotavshih gazov // «Nauka v sovremennyh usloviyah ot idei do vnedreniya» Ul'yanovskaya GSKHI. – 2007. – S. 39-42.

2. Panfilov A.A. Sravnitel'naya harakteristika komponentov topliv dvigatelej // Uluchshenie ekspluatacionnyh pokazatelej DVS: mezhvuz. sb. nauch. tr. – SPb. – Kirov: Rossijskaya Akademiya transporta - Vyatskaya GSKHA, 2010. – Vyp. 2. – S. 124 - 136.

3. Pavlov A.N. Dvigatelya vnutrennego sgoraniya: «Domashnie tekhnologii». 2016 gg. [URL]/ http://engine.aviaport.ru/main.htm

4. Lihanov V.A., Lopatin O.P., Anfilatov A.A. Himizm obrazovaniya oksidov azota v cilindre dizelya pri rabote na metanole s dvojnoj sistemoj toplivopodachi //YUNIKOM: – M.: MGOU, 207. – S. 61-64.

5. Matyushin V.S. Vliyanie vlagi, vvodimoj v goryachij vozduh, na soderzhanie oksidov azota v produktah sgoraniya zhidkogo topliva // Teploenergetika. – 1980. – №11. – S. 22.

6. Hasanova V.A. Utilizaciya teploty otrabotavshih gazov dvigatelya vnutrennego sgoraniya // RU 28900 U1, 7 F01 G 5/02. M.-10.12.2002.

7. Starcev A.V., Storozhev I.I. Effektivnost' ispol'zovaniya mashinno-traktornyh agregatov s dvigatelyami, rabotayushchimi na mnogokomponentnom toplive. Soobshchenie 1. Ekonomicheskaya ocenka. // «Nauka i proizvodstvo»: Sb. nauch.- trud. / pod V.V. Erofeeva. – CHelyabinsk: CHRO RAEN, 2009. S. 10-17.

8. Storozhev I.I Povyshenie toplivnoj ekonomichnosti traktornogo agregata na baze traktorov MTZ-80/82 putem dobavleniya vody v sistemu pitaniya vozduhom. // Diss. kand. tekhn. nauk. (05.20.01) — CHelyabinsk, 2009. – 157 s

9. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Bektilevov A.YU. Povyshenie ekspluatacionnyh svojstv dizel'nogo topliva// Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2012. № 6. S. 10-11.

10. Romancova S.V., Nagornov S.A., Kornev A.YU. Sostav dobavki dlya uluchsheniya harakteristik sovremennogo dizel'nogo topliva// Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya. 2019. T. 9. № 3 (30). S. 547-556.

11. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., SHihalev I.N., Bektilevov A.YU. Issledovanie vliyaniya mnogofunkcional'nyh dobavok na smazochnye svojstva nizkosernistyh dizel'nyh topliv// Nauka v central'noj Rossii. 2013. № 5. S. 20-27.

12. Varlamov S.E. Vodotoplivnye emul'sii i vodnaya inzhekciya [Tekst] / S.V. Romanov // Nauka i tekhnika: / otv. red. A.A. Filipov. – S.-P.: Stella, 2014. – S.103 – 105.

13. Sebastian V. S., Turner J. WG, Sileghemb L., Vancoillieb J. Methanol as a fuel for internal combustion engines // Progress in Energy and Combustion Science. –V. 70, January 2019. 43-88.

14. Anfilatov A.A., Lihanov V.A., Lopatin O.P. Snizhenie soderzhaniya oksidov azota v otrabotavshih gazah dizelya 2CH 10,5/12,0 putem primeneniya metanola s dvojnoj sistemoj toplivopodachi: monografiya. – Kirov: Vyatskaya GSKHA, 2008. - 156 s.

15. Lihanov V.A, CHuvashev A.N., Gluhov A.A., Anfilatov A.A. Uluchshenie ekologicheskih pokazatelej dizelya 2CH 10,5/12,0 pri rabote na metanole // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. – 2007. - № 3. – S. 8-11.

16. Lihanov V.A, CHuvashev A.N., Gluhov A.A., Anfilatov A.A.Uluchshenie effektivnyh i ekologicheskih pokazatelej dizelya 2CH 10,5/12,0 pri rabote na metanole // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. – 2007. - № 4. – S.- 10-13.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Сторожев Иван Иванович – кандидат технических наук, доцент, преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень.

Трошков Илья Александрович – студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень.

Author credentials

Affiliations

Storozhev Ivan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Northern Trans-Ural State Agricaltural University”, Russia, Tyumen.

Troshkov Ilya – student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Northern Trans-Ural State Agricaltural University”, Russia, Tyumen.

Поступила в редакцию (Received): 18.09.2019 Принята к публикации (Accepted): 18.10.2019