

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ В ТРАКТОРНОМ ДИЗЕЛЕ, РАБОТАЮЩЕМ НА ЭТАНОЛО-ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ

INVESTIGATION OF THE COMBUSTION PROCESS IN A TRACTOR DIESEL POWERED BY AN ETHANOL-FUEL EMULSION

В.А. ЛИХАНОВ, д.т.н.
О.П. ЛОПАТИН, к.т.н.
А.И. ЧУПРАКОВ, к.т.н.

Вятская государственная сельскохозяйственная
академия, Киров, Россия, nirs_vsaa@mail.ru

V.A. LIKHANOV, DSc in Engineering
O.P. LOPATIN, PhD in Engineering
A.I. CHUPRAKOV, PhD in Engineering

Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia,
nirs_vsaa@mail.ru

Работа посвящена вопросам применения этанола-топливной эмульсии в качестве альтернативного энергоносителя в тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5. При этом обоснована максимально допустимая величина концентрации этилового спирта в составе эмульсии для данного дизеля, составляющая 25 % от общего количества топлива и обеспечивающая достаточные условия для организации стабильного процесса горения с отсутствием пропусков воспламенения. Так, по результатам исследований физико-химических свойств спирто-топливных эмульсий различного состава, их стабильности и первичных испытаний двигателя, в качестве оптимальной для тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 была принята эмульсия следующего состава: этиловый спирт – 25 %, сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %. В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований по влиянию этанола-топливной эмульсии на индикаторные показатели, характеристики процесса сгорания и тепловыделения тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5. С целью определения и оптимизации основных параметров работы дизеля при работе на этанола-топливной эмульсии были проведены его стендовые испытания, включающие весь комплекс регулировочных, нагрузочных и скоростных характеристик. Экспериментальными исследованиями рабочего процесса тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на этанола-топливной эмульсии определены значения показателей процесса сгорания и характеристик тепловыделения на номинальном режиме работы дизеля: максимальная осредненная температура повышается на 14,6 % и составляет 2510 К; максимальное давление сгорания повышается на 9,9 % и составляет 8,9 МПа; жесткость процесса сгорания повышается на 71,2 % и составляет 1,01 МПа/град; угол задержки воспламенения увеличивается на 24,4 % и составляет 28,0°; скорость активного выделения теплоты возрастает на 68,4 % и составляет 0,160.

Ключевые слова: дизель, этанола-топливная эмульсия, сгорание, тепловыделение.

The work is devoted to the use of ethanol-fuel emulsion as an alternative energy carrier in a tractor diesel 4Ch11,0/12,5. At the same time, the maximum allowable concentration of ethyl alcohol in the emulsion for this diesel is justified, amounting to 25 % of the total amount of fuel and providing sufficient conditions for the organization of a stable combustion process with no misfiring. Thus, according to the results of studies of the physicochemical properties of alcohol-fuel emulsions of various compositions, their stability and the initial tests of the engine, an emulsion of the following composition was accepted as optimal for a tractor diesel 4Ch11,0/12,5: ethyl alcohol 25 %, succinimide C-5A – 0,5 %, water – 7 %, diesel fuel – 67,5 %. The article describes the results of experimental studies on the effect of ethanol-fuel emulsion to the indicator parameters, the characteristics of the combustion process and heat diesel tractor. 4Ch11.0/12.5. In order to determine and optimize the main parameters of the diesel engine while working on the ethanol-fuel emulsion, its bench tests were carried out, including the entire set of adjusting, loading and speed characteristics. Experimental studies of the working process of the tractor diesel engine 4Ch11,0/12,5 when working with ethanol fuel emulsion have determined the values of the combustion process parameters and heat release characteristics at the nominal operating mode of the diesel engine: the maximum averaged temperature increases by 14,6 % and amounts to 2510 K; the maximum combustion pressure is increased by 9,9 % and is 8,9 MPa; the rigidity of the combustion process is increased by 71,2 % and is 1,01 MPa / deg; the ignition delay angle increases by 24,4 % and is 28,0°; the rate of active heat release increases by 68,4 % and amounts to 0,160.

Keywords: diesel, ethanol-fuel emulsion, combustion, heat release.

Введение

На современном этапе развития науки и техники дизель для большинства тракторов и сельхозмашин остается практически основным типом привода. При этом, доля альтернативных топлив в общем балансе потребления моторных нефтяных топлив незначительна. Однако в связи с обостряющимся энергетическим кризисом, нарастающим дефицитом нефтяных энергоносителей и необходимостью решения острых экологических проблем уже в ближайшей перспективе следует ожидать расширения использования альтернативных моторных топлив [1]. В дизелях силовых установок все шире используют смеси базового топлива с различными спиртами. Так, в Вятской государственной сельскохозяйственной академии проведены исследования по переводу дизеля 4Ч 11,0/12,5 для работы на этанолю-топливной эмульсии (ЭТЭ) [2, 3].

Чтобы получить наибольший эффект от эмульсий как от альтернативного моторного топлива, необходимо исследовать физико-химические свойства спиртовой эмульсии, их влияние на рабочие процессы дизеля. ЭТЭ – это дисперсная система, образованная двумя взаимно нерастворимыми жидкостями, которыми являются, с одной стороны, этиловый спирт и вода, с другой стороны, дизельное топливо и присадки. Эмульсия является нестабильной системой, которая постоянно стремится перейти в исходное (разделенное по фазам) состояние, которое, в свою очередь, определяется уже стабильностью. Стабильность, т.е. время от момента приготовления эмульсии до появления слоев с различной концентрацией (седиментацией – расслоением дисперсных систем под действием силы тяжести с отделением дисперсной фазы в виде осадка, «сливок» и т.д.), зависит, в первую очередь, от физических свойств составляющих компонентов эмульсии [4].

Для улучшения физических и, конечно, эксплуатационных свойств ЭТЭ необходимо применение присадок сравнительно недорогих, которые должны отвечать следующим требованиям: полностью сгорать в двигателе без образования отложений, не ухудшать свойств топлива, повышать стабильность эмульсии, хорошо растворяться в топливе и его компонентах, быть устойчивыми, не слишком летучими и сохраняться в топливе в различных условиях эксплуатации. К отвечающим этим требованиям

присадкам можно отнести сукцинимид С-5А. Сукцинимид С-5А относится к классу моющих-диспергирующих присадок (штатная присадка к моторным маслам). Эта присадка является концентратом высокомолекулярного алкениламида янтарной кислоты в масле [5]. Данный класс присадок был выбран для использования в ЭТЭ исходя из хороших диспергирующих свойств, общедоступности, низкой стоимости, высокой стабильности получаемых эмульсий.

Цель исследования

Анализ физико-химических и эксплуатационных свойств, теоретических исследований эмульсий различного состава подтвердил возможность использования данного вида топлива в тракторных дизелях. Кроме того, эмульсии являются наиболее простым, дешевым и доступным способом применения спиртов в качестве моторного топлива, позволяя экономить дизельное топливо, не требуя значительных затрат на внесение конструктивных изменений и дополнений в дизель, обеспечивая возможность реализации в эксплуатируемых двигателях.

Все это дает основание предполагать, что исследование рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ, а именно изучение влияния данного топлива на индикаторные показатели, характеристики процесса сгорания и тепловыделения, является актуальной научной задачей, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Материалы и методы

Для приготовления ЭТЭ в лабораторных условиях использовался гомогенизатор MPW-302 (рис. 1). При приготовлении эмульсий необходимым условием было сохранение режимов приготовления и атмосферных условий.

Учитывая то обстоятельство, что избежать присутствия воды в этаноле в процессе реальной эксплуатации будет достаточно сложно вследствие его высокой гигроскопичности, в испытаниях применялся этанол с добавкой воды до 7 %. Для приготовления эмульсии каждый из компонентов предварительно взвешивался на электронных весах. Соотношение ингредиентов эмульсии выражалось в процентах от массы всей пробы, которая оставалась равной 100 г во всех случаях за счет изменения количества дизельного топлива. Соотношение компонентов менялись следующим образом:

этанол – 10, 20, 30, 40 и 50 %, присадка – 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 %, вода – 7 %, остальное – дизельное топливо. Эмульсия каждого состава приготавливалась не менее чем 3 раза, с целью уменьшения погрешностей измерений результат усреднялся. При этом, требуемое количество присадки предварительно растворялось в дизельном топливе, после чего добавлялся раствор воды и этанола.

На рис. 2 изображен график динамики распада ЭТЭ с содержанием этанола 25 % в зависимости от концентрации присадки Сукцинимид С-5А. Как видно из представленных графиков, увеличение концентрации присадки способствует значительному снижению скорости распада, что при движении машины позволяет дополнительно сохранять однородность эмульсии продолжительное время. На данной трехмерной модели по оси ординат представлено отношение величины отстоя, или «сливок», к общей высоте пробы, выраженной в процентном отношении [6]. Время распада 10 % ЭТЭ при концентрации присадки $K_n = 0,5$ составляет 0,7 часа, при $K_n = 2,0$ время распада составляет 3,8 часа. Расслоение 30 % эмульсии происходит за 2,2 часа при $K_n = 0,5$ и за 12,8 часа при $K_n = 2,0$. Таким образом, при увеличении содержания присадки происходит значительное увеличение времени распада ЭТЭ.

Для проведения испытаний на двигателе в качестве оптимальной для дизеля 4Ч 11,0/12,5 была выбрана эмульсия следующего состава: 25 % – этиловый спирт, 0,5 % – сукцинимид С-5А, 7 % – вода и 67,5 % – дизельное топливо. Количественное содержание присадки выбиралось из условий экономической целесообразности [6]. Все последующие испытания дизеля проводились на данном составе эмульсии.

В качестве загрузочного устройства при испытаниях дизеля применялся электротормозной стенд SAK-N670 с балансирной маятниковой машиной. Установка была оборудована необходимым измерительным комплексом. Для индицирования процесса сгорания в цилиндре дизеля применяли электропневматический индикатор МАИ-5А. Необходимо отметить, что индицирование поршневых тракторных дизелей остается одним из самых информативных методов экспериментального исследования внутрицилиндровых тепловых процессов [7], поскольку сами индикаторные диаграммы дают ценную информацию об особенностях организации рабочего процесса

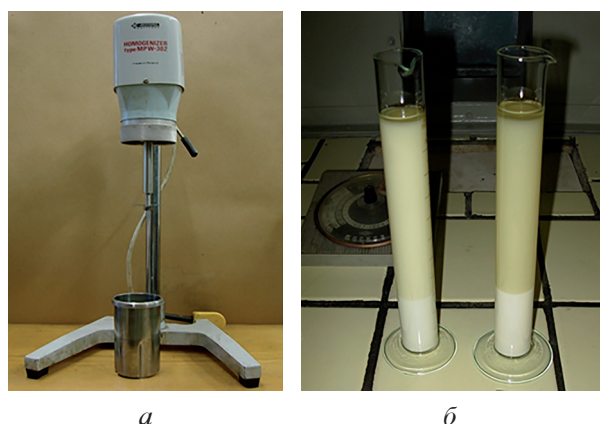


Рис. 1. Общий вид гомогенизатора MPW-302 (а) и изготовленные им ЭТЭ (б)

двигателя, а обработанные с целью получения функции тепловыделения они становятся источником уникальных данных об инициализации и протекании процесса сгорания топлива в цилиндре двигателя. Кроме того, получаемые в результате обработки диаграмм закономерности выгорания топлива имеют особое значение при исследовании сгорания нетрадиционных или альтернативных топлив, для которых пока нет достаточного объема накопленных теоретических знаний и практического опыта их применения в дизелях.

Обработка индикаторных диаграмм рабочего процесса дизеля при работе на дизельном топливе и ЭТЭ осуществлялась по программе ЦНИДИ-ЦНИИМ (Центральный научно-исследовательский дизельный институт).

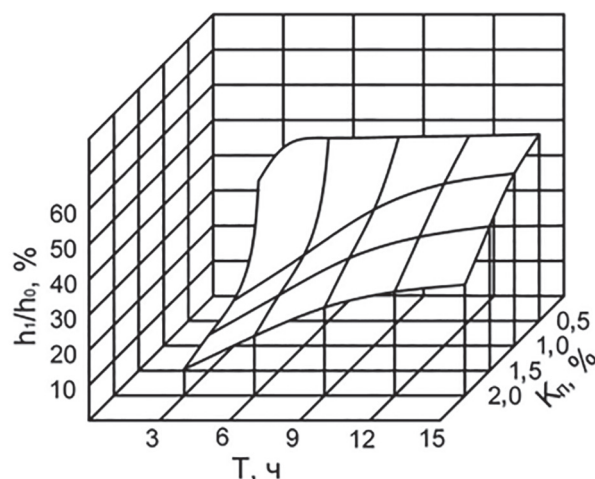


Рис. 2. Скорость протекания процесса седиментации ЭТЭ с содержанием этилового спирта 25 % и воды 7 % в зависимости от концентрации присадки Сукцинимид С-5А: K_n – концентрация присадки, h_1/h_0 – отношение величины отстоя, или «сливок», к общей высоте пробы

Результаты и их обсуждение

На рис. 3 представлены совмещенные индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на оптимальных установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ, $\Theta_{впр}$) при номинальной частоте вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$.

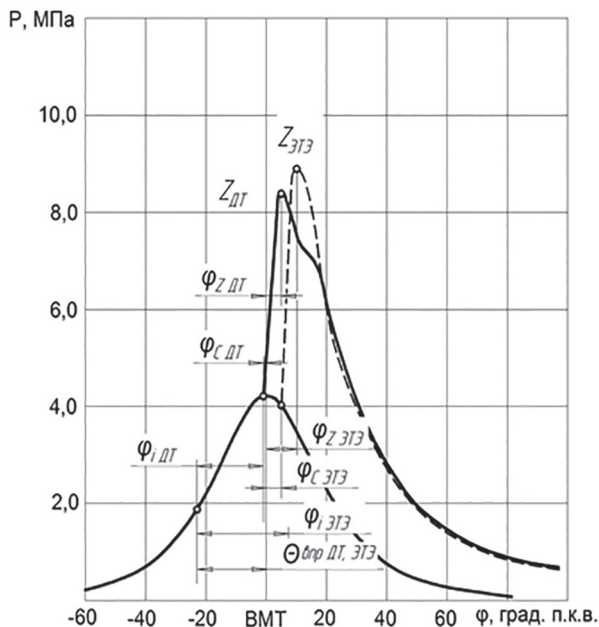


Рис. 3. Индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{впр} = 23^\circ$, $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$:

— дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

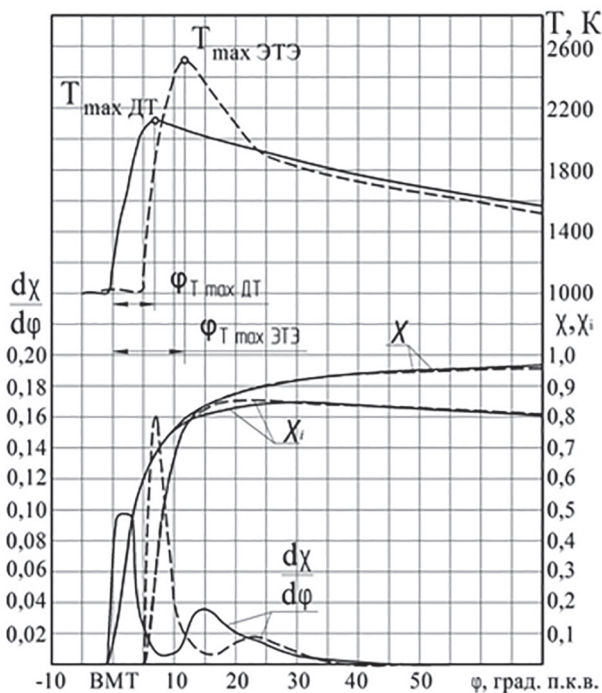


Рис. 4. Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{впр} = 23^\circ$, $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$:

— дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

Так, при работе на дизельном топливе значение максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ составляет 8,1 МПа, а при работе дизеля на ЭТЭ это значение возрастает до 8,9 МПа, т.е. на 9,9 %. Точка начала видимого сгорания при работе на дизельном топливе при значении угла $\varphi_{с \text{ DT}} = 1^\circ$ поворота коленчатого вала (п.к.в.), располагается до верхней мертвой точки (ВМТ) на индикаторной диаграмме, а при работе на ЭТЭ при $\varphi_{с \text{ ЭТЭ}} = 5,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Таким образом, с учетом установочного УОВТ период задержки воспламенения при работе на дизельном топливе составляет $\varphi_i = 22,5^\circ$, а при работе на ЭТЭ – $\varphi_i = 28,0^\circ$. Следует отметить, что процесс сгорания при работе дизеля на ЭТЭ несколько сдвигается вправо от ВМТ.

На рис. 4 представлены характеристики тепловыделения и осредненная температура газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 на номинальном режиме работы.

Применение ЭТЭ приводит к увеличению скорости активного тепловыделения $d\chi_i/d\varphi$ и сдвигает максимум скорости вправо от ВМТ. Максимальное значение скорости активного тепловыделения при работе дизеля на ЭТЭ составляет 0,160 при угле п.к.в. $\varphi = 6,5^\circ$ после ВМТ, что на 68,4 % выше дизельного процесса. Также необходимо отметить, что наличие второго максимума на кривых скорости активного выделения тепла $d\chi_i/d\varphi$, как при работе на дизельном топливе, так и при работе на ЭТЭ, объясняется дополнительной турбулизацией рабочего заряда в цилиндре дизеля в момент перемещения поршня от ВМТ к нижней мертвой точке (НМТ). Между поршнем и головкой цилиндров двигателя образуется зазор, в который засасывается рабочий заряд из камеры сгорания, находящейся в поршне.

На рис. 5 представлены показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ.

Сравнивая графики работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ЭТЭ и дизельном топливе, можно отметить, что значения показателей процесса сгорания при работе на ЭТЭ, также как и на метаноле-топливной эмульсии (МТЭ), увеличиваются. Так, при установочном УОВТ $\Theta_{впр} = 20^\circ$ при переходе с дизельного процесса на ЭТЭ наблюдаются повышение максимальной осредненной температуры T_{max} на 19,7 %, максимального давления сгорания p_z на 9,3 %, жесткости процесса сгорания $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ на 55,2 %, степени повышения давления λ на 23,3 %,

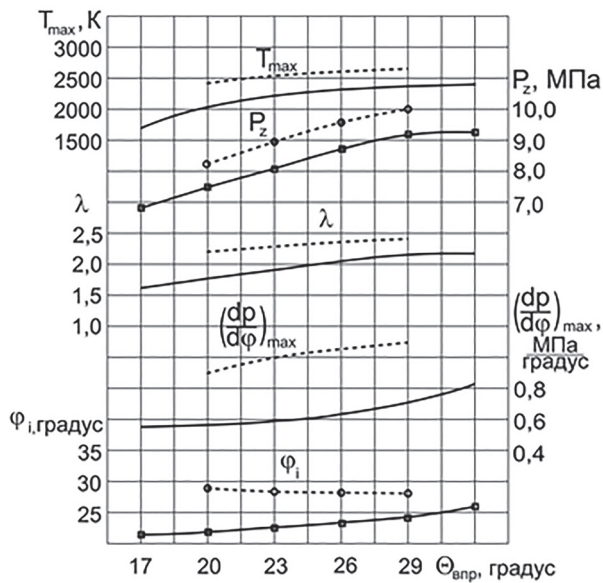


Рис. 5. Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения УОВТ при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$:

— дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

угла ϕ_i , соответствующего периоду задержки воспламенения, на 31,8 %. При установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ при переходе с дизельного процесса на ЭТЭ наблюдаются повышение максимальной осредненной температуры T_{max} на 14,6 %, максимального давления сгорания p_z на 9,9 %, жесткости процесса сгорания $(dp/d\phi)_{\text{max}}$ на 71,2 %, степени повышения давления λ на 19,5 %, угла ϕ_i , соответствующего периоду задержки воспламенения, на 24,4 %.

При установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ при переходе с дизельного процесса на ЭТЭ наблюдаются повышение максимальной осредненной температуры T_{max} на 13,2 %, максимального давления сгорания p_z на 11,5 %, жесткости процесса сгорания $(dp/d\phi)_{\text{max}}$ на 65,1 %, степени повышения давления λ на 14,1 %, угла ϕ_i , соответствующего периоду задержки воспламенения, на 21,7 %. При установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$ при переходе с дизельного процесса на ЭТЭ наблюдаются повышение максимальной осредненной температуры T_{max} на 11,5 %, максимального давления сгорания p_z на 9,9 %, жесткости процесса сгорания $(dp/d\phi)_{\text{max}}$ на 54,9 %, степени повышения давления λ на 10,1 %, угла ϕ_i , соответствующего периоду задержки воспламенения, на 16,7 %.

На рис. 6 представлены характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения УОВТ.

При работе дизеля на ЭТЭ $\phi_{T_{\text{max}}}$ снижается с $20,0^\circ$ при $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$ до $5,0^\circ$ при $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$, что выше дизельного процесса на 81,8 % при $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$

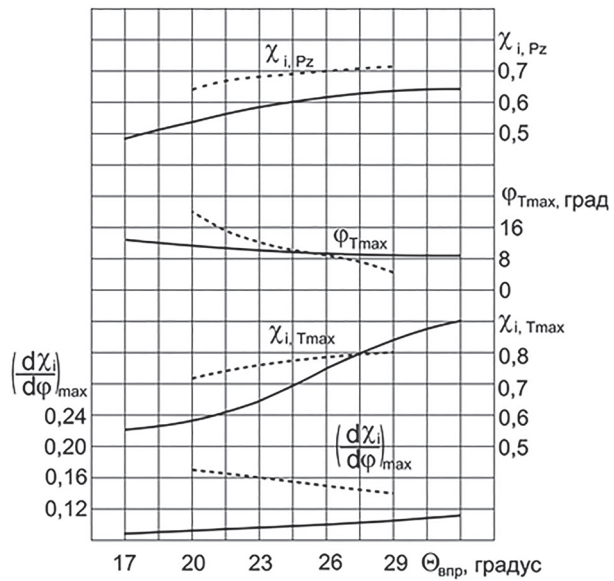


Рис. 6. Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения УОВТ при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$:

— дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

и ниже на 44,4 % при $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$. При работе на ЭТЭ с увеличением УОВТ происходит снижение максимальных значений скорости активного выделения тепла $d\chi_i/d\phi$. Так, применение в дизеле ЭТЭ приводит к увеличению максимальных значений $d\chi_i/d\phi$ от 0,14 при $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$ до 0,17 при $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$, что, в свою очередь, выше дизельного процесса в этом же диапазоне от 33,3 до 88,9 %. На рис. 7 представлены показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала.

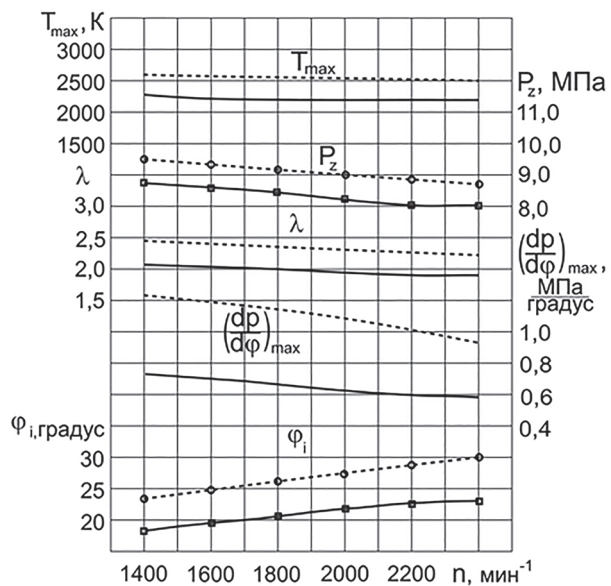


Рис. 7. Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$:

— дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

При сравнении значений показателей процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ при работе на дизельном топливе и ЭТЭ можно отметить, что все значения показателей процесса сгорания при переходе с дизельного процесса для работы на ЭТЭ повышаются во всем скоростном диапазоне. Так, на малой частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ происходит повышение максимальной осредненной температуры на 12,1 %, максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ на 6,8 %, степени повышения давления λ на 16,7 % «жесткости» процесса сгорания $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ на 70,8 %, значений угла φ_i на 5,5° п.к.в. При максимальной частоте вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ происходит повышение максимальной осредненной температуры на 13,5 %, максимального давления сгорания $p_{z \text{ max}}$ на 8,8 %, степени повышения давления λ на 16,8 %, «жесткости» процесса сгорания $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ на 59,3 % и значений угла φ_i на 7,0° п.к.в.

На рис. 8 представлены характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ в зависимости от изменения частоты вращения.

При работе дизеля на ЭТЭ $\chi_{i, pz}$ снижается с 0,71 при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 0,67 при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, что выше дизельного процесса в этом же диапазоне от 6,0 до 24,1 %. Значения $\chi_{i, T \text{ max}}$ при работе дизеля на ЭТЭ возрастают от 0,74 (значение на 2,8 % выше дизельного процесса) при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 0,78 при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и далее происходит снижение и при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ $\chi_{i, T \text{ max}} = 0,75$ (значение на 23,0 % выше дизельного процесса).

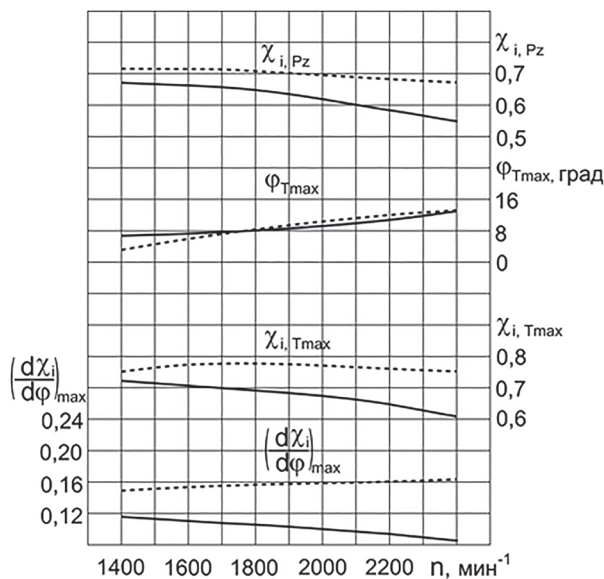


Рис. 8. Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$:
— дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

С увеличением частоты вращения при работе на дизельном топливе снижаются значения скорости активного тепловыделения $(d\chi_i/d\varphi)_{\text{max}}$, а применение ЭТЭ вызывает их увеличение. При работе дизеля на ЭТЭ $\varphi_{T \text{ max}}$ увеличивается с $3,0^\circ$ при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до $13,0^\circ$ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, что ниже дизельного процесса в 2,2 раза при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и соответствует ДП при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. С увеличением частоты вращения при работе на ЭТЭ происходит также рост значений скорости активного выделения тепла $(d\chi_i/d\varphi)_{\text{max}}$. Так, применение в дизеле ЭТЭ приводит к увеличению значений $(d\chi_i/d\varphi)_{\text{max}}$ от 0,150 при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ до 0,165 при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, что, в свою очередь, выше дизельного процесса в этом же диапазоне от 30,4 до 94,1 %.

На рис. 9 представлены показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 на различных нагрузочных режимах работы.

При анализе нагрузочных характеристик, соответствующих работе дизеля на ЭТЭ на номинальной частоте вращения и при оптимальном УОВТ, значения основных характеристик изменяются по схожим закономерностям дизельного процесса.

Из графиков видно, что устойчивое горение без пропусков воспламенения горючей смеси при работе дизеля на ЭТЭ начинается при нагрузке, соответствующей $p_c = 0,38 \text{ МПа}$.

При работе на дизельном топливе при среднем эффективном давлении 0,38 МПа максимальная осредненная температура цикла со-

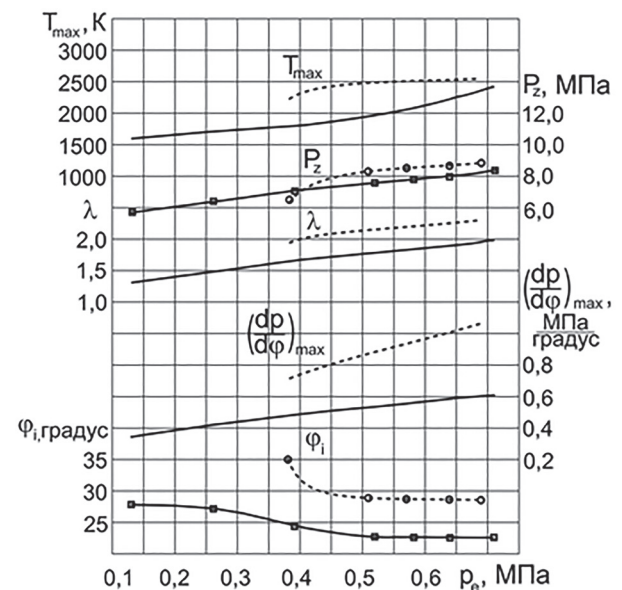


Рис. 9. Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ и $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$:
— дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

ставляет 1750 К, а применение ЭТЭ вызывает увеличение T_{max} до 2233 К. С возрастанием нагрузки до 0,69 МПа T_{max} возрастает с 2380 до 2530 К при переходе с дизельного топлива на ЭТЭ. При переходе с дизельного процесса для работы на ЭТЭ при $p_c = 0,38$ МПа происходит снижение максимального давления сгорания с 7,1 до 6,30 МПа, а при увеличении нагрузки до 0,69 МПа при переходе с дизельного топлива на работу на ЭТЭ происходит увеличение $p_{z\ max}$ с 8,9 до 9,1 МПа, что составляет 2,3 %. При нагрузке $p_c = 0,38$ МПа применение ЭТЭ вызывает рост λ с 1,68 до 1,91, или на 13,7 %. Сравнивая работу дизельного процесса и ЭТЭ необходимо отметить, что происходит рост скорости нарастания давления газов на всех нагрузочных режимах. Так, при $p_c = 0,69$ МПа применение ЭТЭ вызывает рост $(dp/d\phi)_{max}$ от 0,60 МПа/град при работе на дизельном топливе до 1,06 МПа/град при ЭТЭ, или на 76,7 %. Также просматривается и увеличение ϕ_r .

На рис. 10 представлены характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 на различных нагрузочных режимах работы.

Применение ЭТЭ также вызывает рост угла, соответствующего максимальной температуре цикла $\phi_{T\ max}$, но на малых нагрузках этот рост является более значительным. Так, при работе на ЭТЭ при максимальном значении $p_c = 0,70$ МПа – $\phi_{T\ max}$ 11,0° п.к.в. после ВМТ, а при снижении нагрузки до $p_c = 0,38$ МПа $\phi_{T\ max}$ повышается до 18,0° п.к.в. после ВМТ, что, в свою очередь, выше дизельного процесса в диапазоне от 4,8 до 80,0 %, соответственно, в этом же диапазоне изменения нагрузки. При $p_c = 0,38$ МПа при работе на ЭТЭ $(d\chi_i/d\phi)_{max}$ составляет 0,208, что на 85,7 % выше дизельного процесса. При максимальной нагрузке при работе на ЭТЭ $(d\chi_i/d\phi)_{max}$ составляет 0,152, что на 65,2 % выше дизельного процесса. С увеличением нагрузки при работе на дизельном топливе и ЭТЭ снижаются значения активного выделения теплоты, соответствующие максимальному давлению сгорания $\chi_{i, Pz}$, и активного

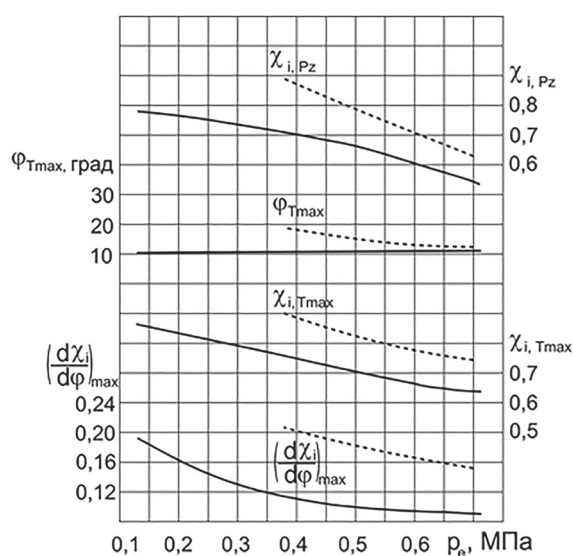


Рис. 10. Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при $\Theta_{впр} = 23^\circ$ и $n = 2200$ мин⁻¹: — дизельный процесс; - - - - - ЭТЭ

выделения теплоты, соответствующие максимальной температуре цикла $\chi_{i, Tmax}$.

При работе дизеля на ЭТЭ $\chi_{i, Pz}$ снижается от 0,89 при $p_c = 0,38$ МПа до 0,63 при $p_c = 0,70$ МПа, что выше дизельного процесса в этом же диапазоне на 25,4 и 18,9 % соответственно. Значения $\chi_{i, Tmax}$ на ЭТЭ снижаются от 0,90 при $p_c = 0,38$ МПа до 0,74 при $p_c = 0,70$ МПа, что выше дизельного процесса в этом же диапазоне на 18,4 и 17,5 % соответственно.

Выводы

1. Экспериментальными исследованиями рабочего процесса тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ определены значения показателей процесса сгорания и характеристик тепловыделения на номинальном режиме работы дизеля (табл. 1 и 2).

2. Для осуществления рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при использовании в качестве основного топлива ЭТЭ необходимо соблюдать следующие рекомендации:

Таблица 1

Показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 при УОВТ $\Theta_{впр} = 23^\circ$ и номинальном режиме ($n = 2200$ мин⁻¹, $p_c = 0,64$ МПа)

Дизель 4Ч 11,0/12,5	Показатели				
	T_{max} , К	p_z , МПа	λ	$(dp/d\phi)_{max}$, МПа/град	ϕ_r , градус
Дизельный процесс	2190	8,1	1,90	0,59	22,5
ЭТЭ	2510 (увеличение на 14,6 %)	8,9 (увеличение на 9,9 %)	2,27 (увеличение на 19,5 %)	1,01 (увеличение на 71,2 %)	28,0 (увеличение на 24,4 %)

Характеристики тепловыделения дизеля 4Ч 11,0/12,5 при УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$
и номинальном режиме ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,64 \text{ МПа}$)

Дизель 4Ч 11,0/12,5	Показатели			
	$\chi_{i, Pz}$	$\chi_{i, T_{\max}}$	$(d\chi_i/d\phi)_{\max}$	$\varphi_{T_{\max}}$, градус
Дизельный процесс	0,58	0,64	0,095	10,5
ЭТЭ	0,68 (увеличение на 17,2 %)	0,76 (увеличение на 18,8 %)	0,160 (увеличение на 68,4 %)	12,0 (увеличение на 14,3 %)

- с целью предотвращения разложения ЭТЭ принятого состава не хранить эмульсию в топливных баках более 18 часов;
- максимальная величина концентрации этанола в составе ЭТЭ не должна превышать 25 % от общего количества топлива с целью обеспечения достаточных условий для организации стабильного процесса горения с отсутствием пропусков воспламенения;
- при работе на ЭТЭ для достижения наименьшего удельного расхода топлива, минимальных выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами и снижения «жесткости» процесса сгорания необходимо снизить установочный УОВТ до $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$.

Литература

1. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Са Бовэнь. Вязкостные характеристики многокомпонентных смесевых биотоплив на основе растительных масел // Транспорт на альтернативном топливе. 2016. № 6 (54). С. 33–49.
2. Лиханов В.А., Лопатин О.П., Романов С.А., Патуров А.В. Сгорание и тепловыделение в цилиндре тракторного дизеля при работе на метано-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 11. С. 14–19.
3. Лопатин О.П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе, метано- и этано-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). С. 81–83.
4. Романов С.А. Исследование рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метано-топливной эмульсии: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2010. 216 с.
5. Борщевский С.М. Присадки к смазочным маслам // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2007. № 5. С. 42–45.
6. Чупраков А.И. Улучшение эффективных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на этано-топливной эмульсии путем совершенствования процессов сгорания и тепловыделения: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2012. 192 с.
7. Гусаков С.В., Патрахальцев Н.Н. Планирование, проведение и обработка экспериментальных исследований ДВС: учебное пособие. М.: Изд-во РУДН, 2004. 168 с.

References

1. Markov V.A., Devyanin S.N., Zikov S.A., Sa Boven'. Viscosity characteristics of multicomponent mixed biofuels based on vegetable oils. Transport na al'ternativnom toplive. 2016. No 6(54), pp. 33–49.
2. Likhanov V.A., Lopatin O.P., Romanov S.A., Paturov A.V. Combustion and heat release in the cylinder of a tractor diesel engine when operating on a methanol-fuel emulsion Traktory i sel'khoz mashiny. 2016. No 11, pp. 14–19.
3. Lopatin O.P. Research of ecological parameters of a diesel engine at work on natural gas, methanol and ethanol-fuel emulsions. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2015. No 4–1 (35), pp. 81–83.
4. Romanov S.A. Issledovanie rabocheho protsessa dizelya 4Ch 11,0/12,5 pri rabote na metanolo-toplivnoy emul'sii: dis. ... kand. tekhn. nauk [Examination of the working process of a diesel engine 4Ch11.0/12.5 when working on a methanol-fuel emulsion: Dissertation for Scientific degree of Candidate of Technical Sciences]. Sankt-Peterburg, 2010. 216 p.
5. Borshchevskiy S.M. Additives for lubricating oils. Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompaniy. 2007. No 5, pp. 42–45.
6. Chuprakov A.I. Uluchshenie effektivnykh pokazateley dizelya 4Ch 11,0/12,5 pri rabote na etanolo-toplivnoy emul'sii putem sovershenstvovaniya protsessov sgoraniya i teplovydeleniya: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the effective performance of diesel 4Ch 11,0/12,5 when working on ethanol-fuel emulsion by improving the combustion and heat generation]. Sankt-Peterburg, 2012. 192 p.
7. Gusakov S.V., Patrakhal'tsev N.N. Planirovanie, provedenie i obrabotka eksperimental'nykh issledovaniy DVS [Planning, implementation and processing of experimental ICE research: manual]. Moscow: Izd-vo RUDN Publ., 2004. 168 p.