

С. А. Плотников, д-р техн. наук, проф., **М. В. Смольников**, кан. техн. наук, ст. преп.
Вятский государственный университет, Россия
Тел.: +7982-381-35-89; E-mail: mihail.mai@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДВС

В статье приведены данные по определению показателей процесса сгорания. В настоящее время научное сообщество взяло направление на изучение и внедрение данных без эксперимента. Развитие науки и техники неразрывно связано с использованием симптоматики. В настоящее время для определения эксплуатационных свойств дизельных и искровых двигателей используют моторные установки (стендовые испытания), где при сжигании топлива измеряются выходные параметры.

Учёными кафедры «Технология машиностроения» Вятского государственного университета (ВятГУ) задано новое направление по идентификации параметров процесса сгорания в ДВС жидких альтернативных топлив на основе безмоторного экспресс-метода.

В результате исследований теоретически обоснованы способы безмоторного определения параметров рабочего процесса автотракторного дизеля при работе на жидких топливах. Уточнены теоретические зависимости определения максимального давления и жесткости процесса сгорания цикла в цилиндре автотракторного дизеля при работе на чистом ДТ. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что при работе дизеля на чистом ДТ P_z равно 10,431 МПа и $(dp/d\phi)_{\max}$ равно 0,619 МПа/градус.

Ключевые слова: альтернативное топливо, процесс сгорания, безмоторные методы, диэлектрическая проницаемость, удельная рефракция

S. A. Plotnikov, M. V. Smolnikov

THE INTRODUCTION OF NON-MOTORIZED EXPRESS METHODS FOR DETERMINING PARAMETERS AND INDICATORS IN THE ENGINE INDUSTRY

The article provides data on the determination of indicators of the combustion process. Currently, the scientific community has taken the direction of studying and implementing data without experiment. The development of science and technology is inextricably linked with the use of symptoms. Currently, engine installations (bench tests) are used to determine the operational properties of diesel and spark engines, where output parameters are measured during fuel combustion. Scientists of the Department of Mechanical Engineering Technology of Vyatka State University (Vyatka State University) have set a new direction for identifying the parameters of the combustion process in the internal combustion engine of liquid alternative fuels based on the non-motorized express method. As a result of the research, the methods of non-motorized determination of the parameters of the working process of an automotive diesel engine when running on liquid fuels are theoretically justified. The theoretical dependences of determining the maximum pressure and stiffness of the combustion process of the cycle in the cylinder of an automotive diesel engine are clarified.

Keywords: alternative fuels, combustion process, non-motorized methods, dielectric constant, specific refraction.

1. Введение

В настоящее время научное сообщество взяло направление на изучение и получение данных без проведения физического эксперимента [1]. Развитие науки и техники неразрывно связано с использованием симптоматики. Порой определить показатели протекания процессов бывает затруднительно в связи с их трудоёмкостью, поэтому некоторые параметры определяются опосредованно. В настоящее время для определения эксплуатационных свойств дизельных и искровых двигателей используют моторные установки (стендовые испытания), где при сжигании топлива измеряются выходные параметры. Данный метод прямых измерений, конечно, трудоёмок, требует сложного лабораторного оборудования, а также не имеет возможности оценить эксплуатацион-

ные свойства по месту эксплуатации. К тому же, на сегодняшнее время накоплен богатый опыт исследований применения безмоторных методов.

Учёными кафедры «Технология машиностроения» Вятского государственного университета (ВятГУ) задано новое направление по идентификации параметров процесса сгорания в ДВС жидких альтернативных топлив (АТ) на основе безмоторного экспресс-метода [2, 3].

2. Основное содержание и результаты работы

Среди множества известных альтернативных источников энергии особую роль занимают биотоплива. Они производятся обычно из возобновляемых ресурсов растительного и животного происхождения, в связи с чем вызывают повышенный интерес исследователей. Ввиду того, что физико-химические свойства биотоплив существенно отличаются от свойств традиционного дизельного топлива (ДТ), необходима адаптация конструкции двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Замещение ДТ с меньшими изменениями условий рабочего процесса будет происходить при замене на АТ в жидком виде. Наиболее вероятными, к примеру, в Кировской области, исходя из распространенности, являются такие виды жидких АТ, как спирты и масла [4].

В нашей стране безмоторные методы определения показателей работы двигателя только ещё набирают обороты по изучению. Данными исследованиями занимаются такие организации как: «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»; «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»; «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»; «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и др. Проводя выборку учёных, занимающихся безмоторными методами оценки показателей работы двигателя, можно сказать, что данный круг очень узок. Вопросы оценки отражены в трудах Камфера Г. М., Николаева В. Ф., Карташевича А. Н., Картошкина А. П.

Стоит отметить, что большинство исследований проводились и проводятся только с целью определения возможности работы дизеля на АТ, исследований процесса сгорания, улучшения эффективных показателей дизелей. Также примечательно, что во многих исследованиях смесевые АТ исследованы только лишь энергоёмкими (моторными методами), которые несколько уходят в прошлое во всех областях науки.

Известно, что удельная и молярная рефракции не зависят от внешних условий - температуры, давления, агрегатного состояния вещества [5]. Однако они находятся в зависимости от состава топлива, наличия органических веществ, содержащих углерод и водород, и числа их атомов в молекуле [6]. Химия определяет, что удельная рефракция - это величина, характеризующая электронную поляризуемость единицы массы вещества в высокочастотном электромагнитном поле световой волны.

Дословно «рефракция» означает преломление, а рефрактометрия — известный метод исследования свойств веществ, основанный на определении показателя преломления и некоторых его функций. Рефрактометрия применяется для идентификации химических соединений, количественного и структурного анализа, определения физико-химических параметров веществ. С помощью метода магнитного двулучепреломления разрабатываются эффективные экспресс-анализаторы нефтепродуктов, позволяющие через корреляционные соотношения прогнозировать целый комплекс эксплуатационных и потребительских свойств.

Огромное число данных по показателям преломления органических жидкостей и неорганических кристаллов (преимущественно минералов), полученных за последнее

столетие, позволяет широко использовать рефрактометрию для установления идентичности исследуемых веществ с ранее описанными зависимостями, а также для оценки степени их чистоты. В настоящее время показатель преломления, наряду с температурами плавления и кипения, принадлежит к числу свойств, определение которых считается обязательным для характеристики жидких соединений, а для минералов измерение показателей преломления иммерсионным методом является важнейшим способом их идентификации [7].

Сама органическая часть жидких топлив состоит из большого количества сложных химических соединений, образованных пятью химическими элементами: углерод (C), водород (H), сера (S), кислород (O) и азот (N). Теплота, выделяющаяся вследствие термохимического окисления топлива, идет на повышение внутренней энергии рабочего тела и на совершение механической работы. А это, в свою очередь, влияет на скорость окисления топлива и характер тепловыделения а, значит, величину максимального давления газов в цилиндре P_z , что позволяет использовать значения рефракции sR для предварительной оценки значений максимального давления цикла P_z при работе дизеля на различных составах АТ.

Анализ полученных данных показал [8], что имеет место корреляционная связь между удельной рефракцией sR и максимальным давлением в цилиндре P_z . Можно сказать, что данные теоретических изысканий удовлетворительно согласуются с экспериментальными значениями. На графике (рис. 1) видно, что характер кривых P_z на всех составах АТ совпадает с характером изменения значений удельной рефракцией sR .

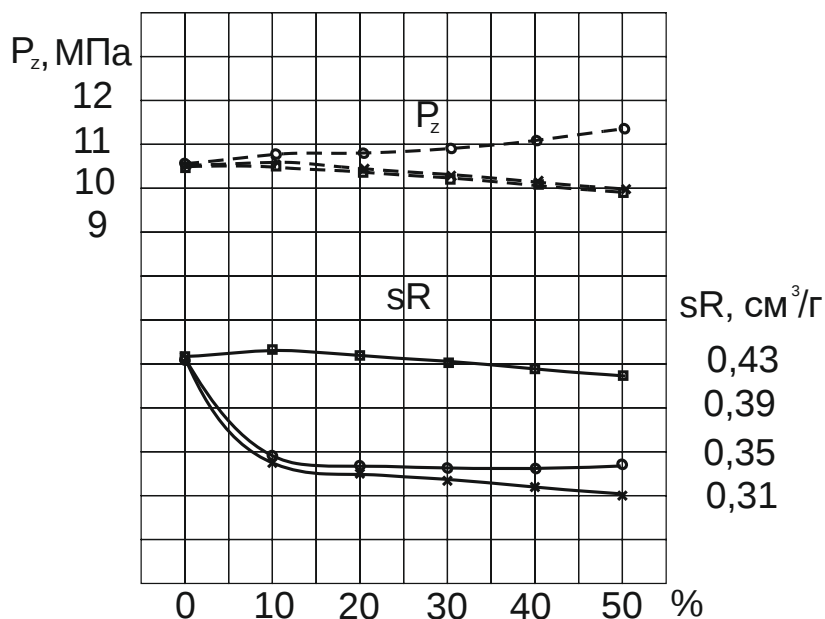


Рисунок 1. Показатели максимального давления цикла, определенные на основе значений удельной рефракции топлив: $\circ$ — sR (этанол); $\times$ — sR (PM); $\square$ — sR (сурепное масло); $\circ$ — P_z (этанол); $\times$ — P_z (PM); $\square$ — P_z (сурепное масло).

Известно, что диэлектрическая проницаемость жидких веществ зависит от микроскопической структуры и свойств атомов и молекул вещества. В диэлектрике под воздействием электрического поля происходит поляризация атомов или молекул, что

приводит к образованию внутреннего электрического поля. Макроскопические свойства диэлектриков определяются суммарным эффектом всех микроскопических процессов, происходящих на уровне атомов и молекул. [9]. Концентрация примесей оказывает влияние на диэлектрическую проницаемость состава. Примеси изменяют структуру и свойства смеси, что приводит к изменению его диэлектрических свойств и свойств поляризации. Спирты, например, характеризуются более высокой активностью при горении по сравнению с углеводородами. В диэлектрике, помещённом в электрическое поле, происходит процесс поляризации. Для вещества она определяется молекулярными параметрами: дипольным моментом молекулы, её поляризуемостью и числом молекул в единице объёма.

Максимальная скорость нарастания давления $(dp/d\phi)_{\max}$ зависит от соотношения С/Н в смеси, а, именно, молекулярного состава. Это позволяет использовать для сравнения значения диэлектрической проницаемости ϵ с жесткостью процесса сгорания $(dp/d\phi)_{\max}$. Влияние свойств топлива на процесс сгорания в цилиндре дизеля следует рассматривать в связи с зависимостью характеристик топлива. Применение в дизеле топлив облегченного фракционного состава ведет к увеличению ПЗВ и скорости тепловыделения в фазе быстрого сгорания. При этом возрастают максимальное давление цикла и скорость его нарастания [10].

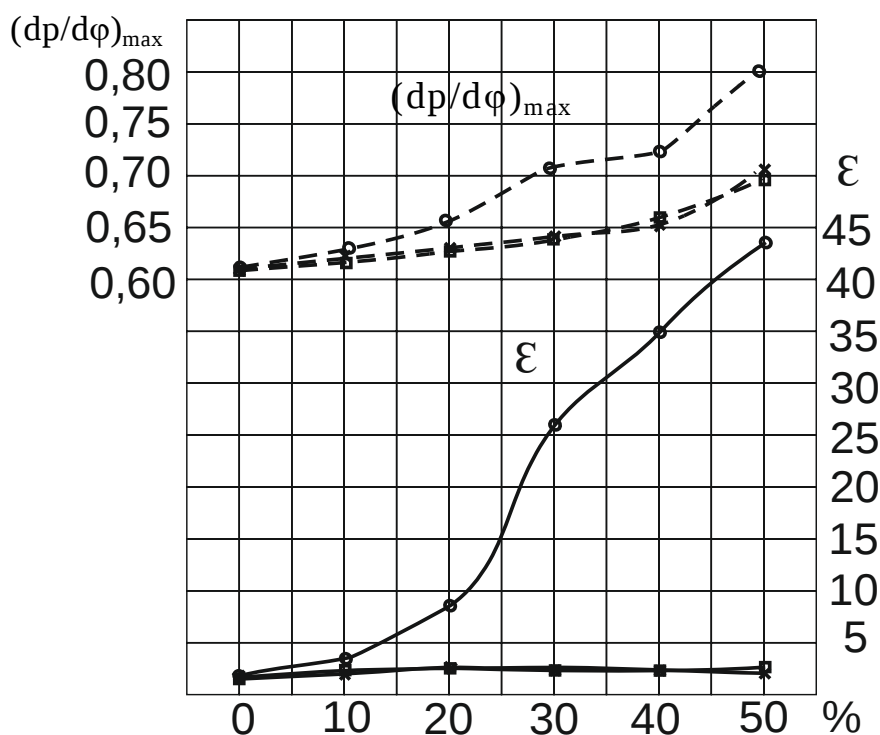


Рисунок 2. Показатели жесткости процесса сгорания, определенные на основе значений диэлектрической проницаемости топлив: $\circ$ — $\circ$ - ϵ (этанол); $\times$ — $\times$ - ϵ (РМ); $\square$ — $\square$ - ϵ (сурепное масло); $\circ$ — $---$ — $\circ$ - $(dp/d\phi)_{\max}$ (этанол); $\times$ — $---$ — $\times$ - $(dp/d\phi)_{\max}$ (РМ); $\square$ — $---$ — $\square$ - $(dp/d\phi)_{\max}$ (сурепное масло).

На графике (рисунок 2) видно, что характер кривых $(dp/d\phi)_{\max}$ на всех составах АТ совпадает с характером изменения значений диэлектрической проницаемости ϵ .

3. Цифровые модели

Диэлектрическая проницаемость также тесно связана с удельной рефракцией, но, в силу своей физической значимости, определяет не абсолютные, а относительные или временные факторы исследуемых параметров, которые могут быть идентифицированы по наличию экстремумов кривых показатель преломления-состав.

1. Для состава АТ с добавлением сурепного масла формула для расчёта примет следующий вид:

$$P_z = 643545sR^3 + 828146sR^2 - 355164sR + 50773 \quad (1)$$

Коэффициент детерминации между переменными составляет: $R^2 = 0,9841$. При увеличении содержания сурепного масла в смеси уменьшаются, как показатель преломления, так и максимальное давление; связь между ними, таким образом, оказывается прямой. Соответственно можно посчитать P_z через концентрацию добавочного топлива C , и такая регрессия будет иметь вид:

$$P_z = 10,628 - 0,01425C \quad (2)$$

Коэффициент корреляции между переменными составляет $R = -0,9914$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,983$.

2. Для состава АТ с добавлением РМ формула для расчёта P_z получается такой:

$$P_z = -394335sR^3 + 381859sR^2 - 123194sR + 13251 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации между переменными составляет $R^2 = 0,9985$. Связь между давлением P_z и концентрацией C представлена ниже:

$$P_z = 10,613 - 0,01464C \quad (4)$$

Коэффициент корреляции между переменными составляет $R = -0,9923$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,985$.

3. Для состава АТ с добавлением этанола связь между давлением P_z прослеживается также через концентрацию спирта в смеси:

$$P_z = -1647560374,14sR^3 + 1644387127,76sR^2 - 547072309,62sR + 60668521,50 \quad (5)$$

Коэффициент детерминации между переменными составляет: $R^2 = 0,95$.

Зависимость для определения P_z при работе на составе АТ с добавлением этанола через удельную рефракцию sR получается такой:

$$P_z = 1,207 \cdot 10^{-2} sR + 0,0251sR + 10,629 \quad (6)$$

В отношении этанола ситуация оказывается несколько иной. Вероятно, это связано с тем, что показатели преломления у чистого ДТ и чистого этанола практически

совпадают. Судя по приведенным данным выше, зависимость между содержанием этанола и максимальным давлением нелинейная.

Безусловно, показатель - низшая теплота сгорания - является одной из важнейших характеристик топлива: по его величине оценивают энергетические возможности топлива, его влияние на экономическую эффективность. От низшей теплоты сгорания зависит энерговооруженность транспортного средства - запас хода, размеры и масса топливного бака, возможность выполнения транспортной работы на одной заправке. Проводя анализ между всеми ранее рассмотренными показателями можно сказать, что относительная удельная рефракция связана с молекулярной рефракцией, а та, в свою очередь, с низшей теплотой сгорания топлива [11]. От низшей теплоты сгорания Q_n , соответственно, зависят практически все параметры работы двигателя, такие, как максимальное давление цикла P_z , скорость нарастания давления $(dp/d\phi)_{max}$ и т.д.

Предложенные математические модели были использованы в дальнейшем при расчетно-теоретическом определении значений максимального давления цикла при работе дизеля на жидких топливах в номинальном режиме.

4. Заключение

В ходе проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Теоретически обоснованы способы безмоторного определения параметров рабочего процесса автотракторного дизеля при работе на жидких топливах.

2. Уточнены теоретические зависимости определения максимального давления и жесткости процесса сгорания цикла в цилиндре автотракторного дизеля при работе на чистом ДТ. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что при работе дизеля на чистом ДТ P_z равно 10,431 МПа и $(dp/d\phi)_{max}$ равно 0,619 МПа/градус.

3. Предложены теоретические зависимости определения максимального давления цикла в цилиндре автотракторного дизеля при работе добавкой этанола, РМ и сурепного масла. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что для АТ с добавкой 50% этанола P_z равно 11,233 МПа, для АТ с добавкой 50% РМ P_z равно 9,912 МПа, для АТ с добавкой 50% сурепного масла P_z равно 9,945 МПа.

4. Предложены теоретические зависимости определения жесткости процесса сгорания в цилиндре автотракторного дизеля при работе с добавкой этанола, РМ и сурепного масла. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что для АТ с добавкой 50% этанола $(dp/d\phi)_{max}$ равно 0,793 МПа/градус, для АТ с добавкой 50% РМ $(dp/d\phi)_{max}$ равно 0,667 МПа/градус, для АТ с добавкой 50% сурепного масла $(dp/d\phi)_{max}$ равно 0,664 МПа/градус.

5. По данным теоретическим зависимостям получены свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ [12].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Смольников М. В., Плотников С. А., Шишкин Г. П. Детальное изучение опыта применения безмоторного метода в исследованиях учёными Российской Федерации. Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / редкол.: В. В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – Вып. 9. – 309-312 с.

2. Плотников С. А., Шишкин Г. П., Смольников М. В., Гневашев П. В., Кутергин Н. Ю. Безмоторные методы оценки эксплуатационных свойств альтернативных топлив с добавкой этанола. Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе» № 6 (90)/ 2022г.

3. Плотников С. А., Шишкин Г. П., Гневашев П. В., Резник Е. Н. Безмоторные методы оценки эксплуатационных свойств топлив для сельскохозяйственной техники. //Вестник РГАТУ, 2021. - № 2 (13). – С. 110-115.

4. Смольников М. В., Сергеев Д. Г. Потенциал Кировской области в выборе альтернативного топлива. Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В. Р. Петровец [и др.]. – Горки: БГСХА, 2020. – Вып. 5. – С. 31-35.

5. Верещагин, А. Л. Рефрактометрический анализ. Методические рекомендации к лабораторным работ по курсу «Физическая химия» и «Физическая химия и коллоидная химия» для студентов всех форм обучения всех направлений подготовки и специальностей / А. Л. Верещагин, С. С. Балабанова; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во. Алт. гос. техн. ун-та, 2018. - 31 с.

6. Николаенко А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей — М.: Колос, 1984. — 335 с., ил.— (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. заведений).

7. Иоффе Б. Ф. Рефрактометрические методы химии. 3-е изд., перераб., Л.: Химия, 1983. – 352 с., ил.

8. Плотников С. А., Гневашев П. В., Смольников М. В., Шишкин Г. П. Идентификация максимального давления цикла безмоторным методом на основе удельной рефракции. // Известия МГТУ «МАМИ», Том 17, № 4, 2023. – С. 331-337.

9. Саблина З. А., Широкова Г. Б., Ермакова Т. И. Лабораторные методы оценки свойств моторных и реактивных топлив. – М.: Химия, 1978. – 240., ил.

10. Автомобильные двигатели. Под ред. М. С. Ховаха. М., А22 «Машиностроение», 1977.

11. Плотников С. А., Гневашев П. В., Заболотских Г. Э., Шишкин Г. П., Кантор П. Я., Карташевич А. Н. Расчет жесткости процесса сгорания при работе дизеля. //Свидетельство об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ №2024613184 от 08.02.2024.

12. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» В. П. Алексеев, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с., ил.

Поступила в редколлегию 21.03.2025 г.