

УДК 621.4:519.673

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО  
ПРОЦЕССА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ Д-245 НА НОМИНАЛЬНОМ  
РЕЖИМЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА  
ДИЗЕЛЬ-РК**

Журавель Д.П., к.т.н.,

*Таврийский государственный агротехнологический университет*

Тел.: (0619) 44-02-74

Мурай С.В., к.т.н.,

*Мелитопольский государственный педагогический университет им.*

*Б. Хмельницкого*

Тел.: (06192) 6-91-90

***Аннотация*** – с помощью программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК рассчитаны параметры рабочего процесса и определены экологические показатели дизеля Д-245 на номинальном режиме.

***Ключевые слова*** – двигатель внутреннего сгорания, рабочий процесс, математическая модель, номинальный режим, экологические показатели

***Постановка проблемы.*** Двигатели внутреннего сгорания являются основным источником энергии в сельскохозяйственной технике. В связи с тем, что Украина не имеет запасов нефти, которые могли бы обеспечить необходимые потребности в топливах для двигателей, актуальной задачей является применение альтернативных топлив, в том числе биотоплив, полученных из растительных масел. Применение современных компьютерных программ позволяет производить расчеты рабочего процесса деталей двигателей на различных видах топлив и существенно сократить время и расходы на создание новых и модернизацию существующих двигателей для использования различных видов топлив.

***Анализ последних исследований.*** В МГТУ им. Баумана доц. к.т.н. Кулешов А.С. разработал программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК, который позволяет проводить расчетные исследования рабочего процесса практически любых двигателей внутреннего сгорания на различных видах топлив, включая биотоплива [1,2]. Накоплен большой опыт использования альтернативных топлив, в том числе биотоплив, в двигателях внутреннего сгорания [3,4].

*Формулировка цели.* Рассчитать параметры рабочего процесса и определить экологические показатели дизеля Д-245 на номинальном режиме при использовании дизельного топлива и биотоплив.

*Основная часть.* В связи с неизбежным истощением нефтяных месторождений одним из перспективных направлений является использование биотоплив для двигателей внутреннего сгорания. Биотоплива на основе животных или растительных жиров, а также продуктов этерификации называют биодизелем.

Сырьем для производства биодизеля являются жирные, реже – эфирные масла различных растений и водорослей. В Европе (в том числе в Украине и России) сырьем чаще всего является рапс, в США – соя, в Канаде – канола, в Индонезии, Филиппинах – пальмовое масло, кокосовое масло, в Индии – ятрофа, в Африке – соя, в Бразилии – касторовое масло.

Применяется биодизель в чистом виде или в смеси с дизельным топливом. В США смесь дизельного топлива с биодизелем обозначается буквой В. Например В100 – на 100% состоит из биодизеля, В20 – содержит 20% биодизеля и 80 % дизельного топлива.

Отмечаются следующие преимущества биодизеля:

- Хорошие смазочные характеристики. Минеральное дизтопливо при удалении из него сернистых соединений теряет свои смазочные способности. Биодизель, несмотря на значительно меньшее содержание серы, характеризуется хорошими смазочными свойствами, что продлевает срок жизни двигателя. Это вызвано его химическим составом и содержанием в нём кислорода. Например, грузовик из Германии попал в Книгу рекордов Гиннеса, проехав более 1,25 миллиона километров на биодизельном топливе со своим оригинальным двигателем.
- Более высокое Цетановое число
  - Для минерального дизтоплива 42-45,
  - Для биодизеля (метиловый эфир) не менее 51.
- Увеличение срока службы двигателя. При работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в результате которой, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60%. Важно отметить, что нет необходимости модернизировать двигатель.
- Высокая температура воспламенения. Точка воспламенения для биодизеля превышает 150°С, что делает его сравнительно безопасным веществом.
- Побочный продукт производства - глицерин, имеющий широкое применение в промышленности. Очищенный глицерин используют для производства технических моющих средств (например, мыла). После глубокой очистки получают фармакологический глицерин,

тонна которого на рынке стоит порядка 1 тыс. евро. При добавлении фосфорной кислоты к глицерину можно получить фосфорные удобрения.

- Недостатки биодизеля:
- В холодное время года необходимо подогревать топливо, идущее из топливного бака в топливный насос, или применять смеси 20 % биодизеля и 80 % солярки марки B20.
- Долго не хранится (около 3 месяцев).

Программа ДИЗЕЛЬ-РК предназначена для расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания.

Программа позволяет проводить анализ и исследования следующих типов ДВС:

- Дизельных.
- Бензиновых искровых: - карбюраторных, - с впрыском бензина.
- Газовых искровых: - обычных, - форкамерных.
- Двухтактных и четырехтактных.

В работе [5] показаны результаты расчета параметров рабочего процесса бензинового двигателя MeM3 2471 на номинальном режиме с помощью программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК.

Программа ДИЗЕЛЬ-РК принадлежит к классу термодинамических программ, т.е цилиндры двигателя в ней рассматриваются как открытые термодинамические системы. В ней использована РК-модель смесеобразования и сгорания в дизеле, которая позволяет рассчитывать скорость тепловыделения с учетом :

- формы камеры сгорания (рис. 1);
- интенсивности вихря;
- количества, диаметра и направления сопловых отверстий (рис. 2);
- формы характеристики впрыска, включая многофазный впрыск (рис. 3);
- взаимодействие струй между собой.

РК-модель позволяет оптимизировать форму камеры сгорания и конструкцию топливной аппаратуры.

Встроенная программа визуализации *"Fuel Spray Visualization"* позволяет в наглядной форме анализировать подвижную картину взаимодействия топливных струй со стенками камеры сгорания, воздушным вихрем и между собой (рис.4).

Проведены расчеты рабочего процесса дизеля Д-245 на номинальном режиме на при частоте вращения коленчатого вала дизеля  $n = 2400$  об/мин с использованием дизельного топлива и с использованием биотоплив SME B100, SME B40 и SME B20, содержащих соответственно 100%, 40% и 20% биодизеля.

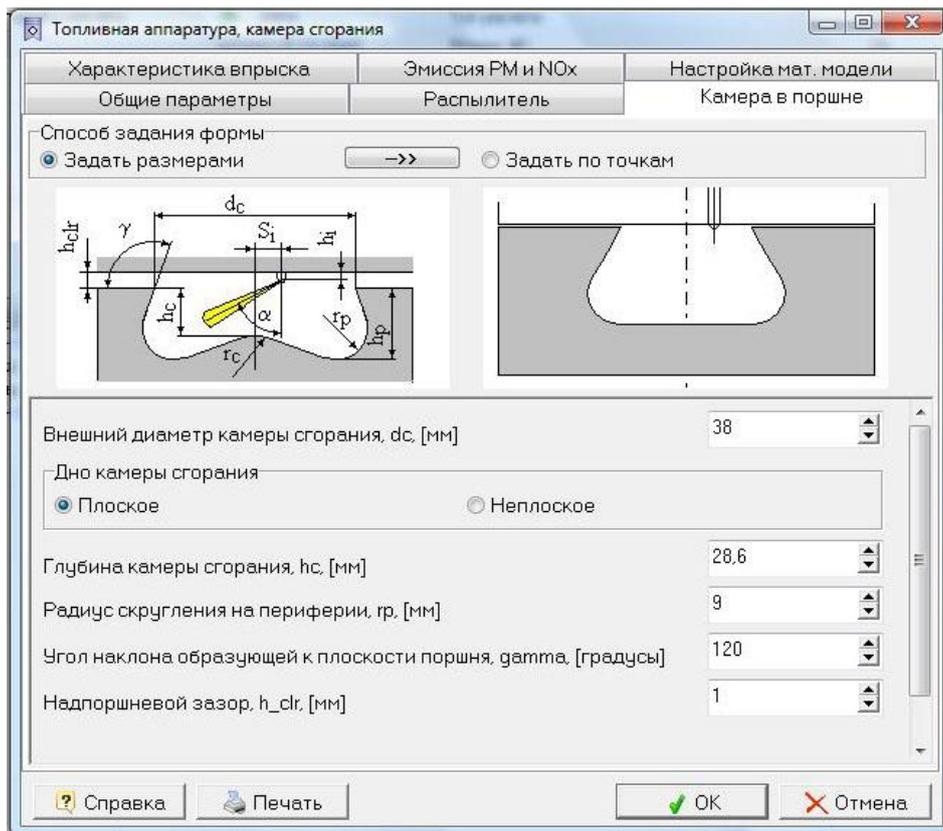


Рис. 1. Размеры камеры в поршне.

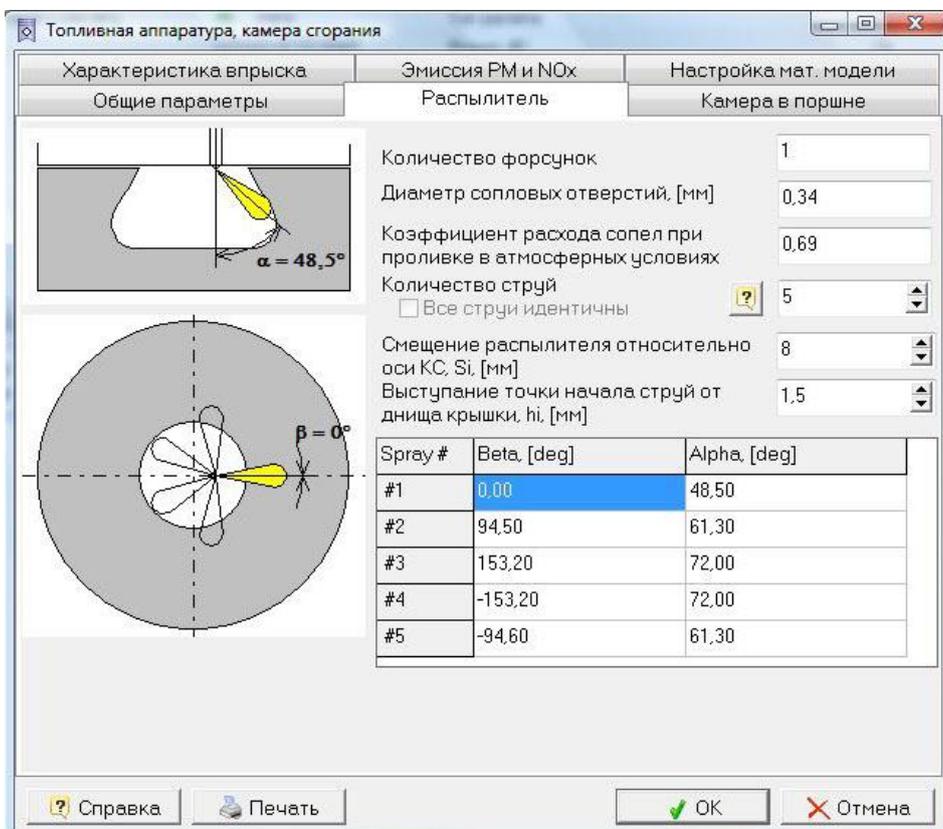


Рис. 2. Параметры распылителя

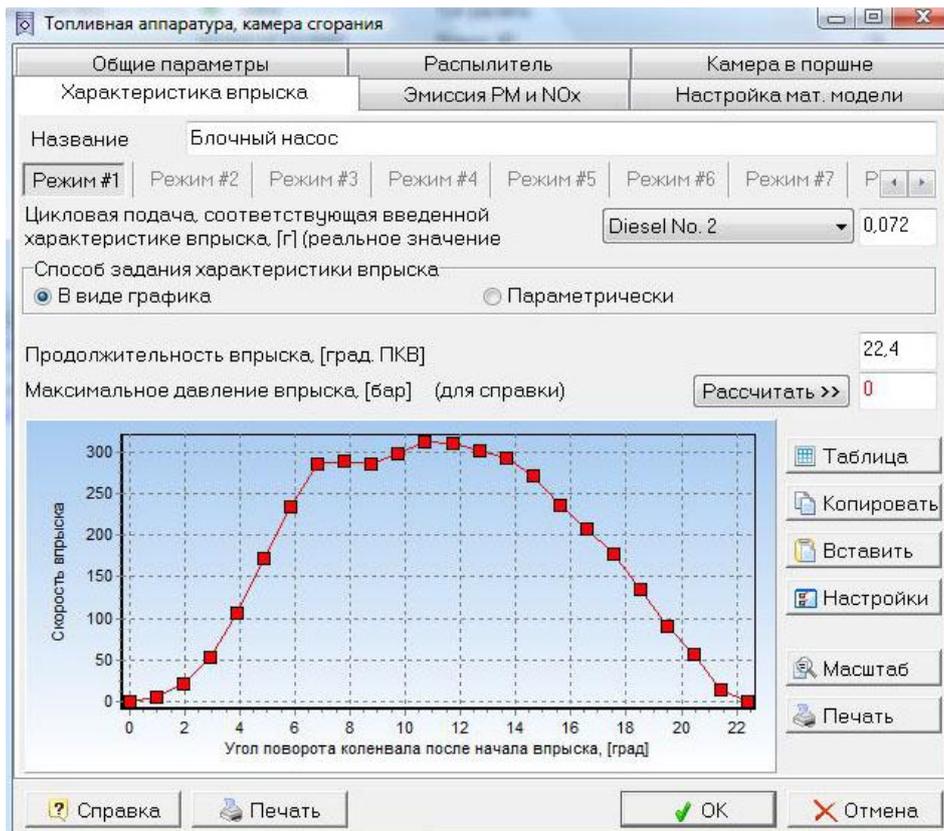


Рис. 3. Характеристика впрыска.

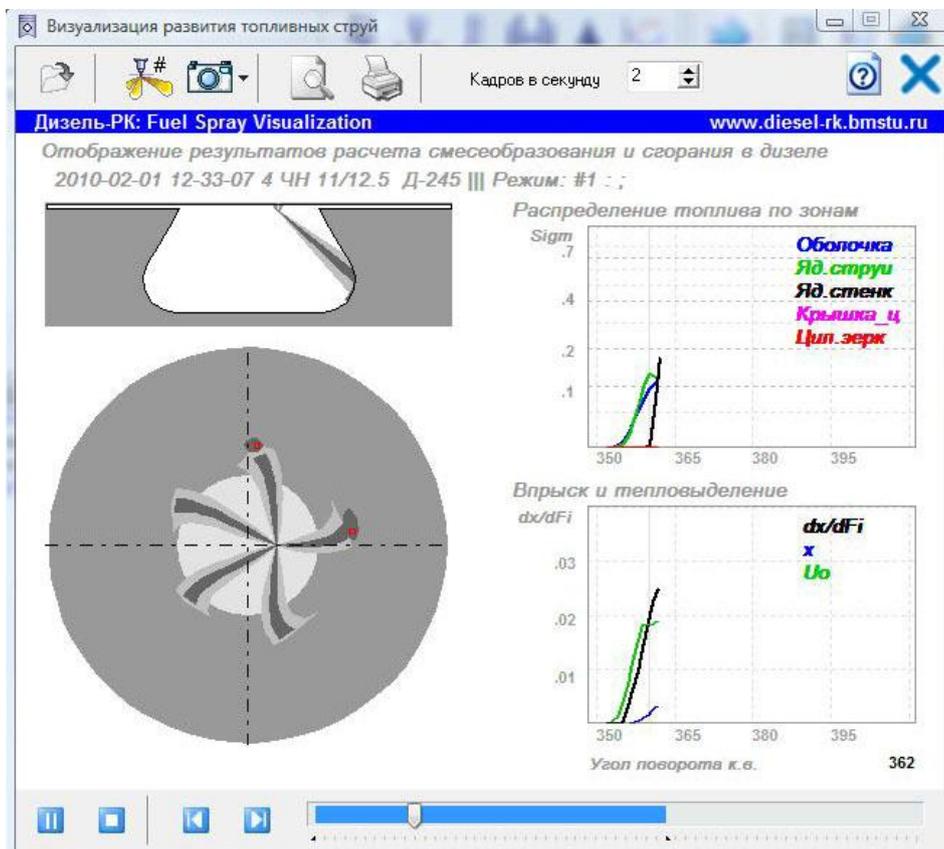


Рис. 4. Визуализация расчетов смесеобразования и сгорания.

Анализ рассчитанных параметров рабочего процесса (табл. 1) показывает, что при одинаковой цикловой подаче для всех топлив и равной 0,072 г увеличение доли биодизеля в биотопливе приводит к уменьшению мощности  $N_e$  с 84,54 до 69,60 (кВт), увеличению удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  с 245,3 до 298,0 (г/(кВт\*ч)), уменьшению среднего эффективного давления  $P_e$  с 8,90 до 7,32 (бар) и уменьшению эффективного КПД  $\eta_e$  с 0,345 до 0,334.

Таблица 1 – Параметры рабочего процесса

Топливо	H	C	O	$N_e$	$g_e$	$P_e$	$\eta_e$
Diesel No.2	0,87	0,126	0,004	84,54	245,3	8,90	0,345
SME B100	0,773	0,118	0,108	69,60	298,0	7,32	0,334
SME B40	0,829	0,123	0,047	78,42	264,4	8,25	0,341
SME B20	0,849	0,124	0,025	80,45	257,8	8,47	0,339

Очевидно, что уменьшение мощности связано с меньшим содержанием в биотопливах углерода C и водорода.

Экологические показатели показаны в таблице 2. Увеличение содержания биодизеля в биотопливе приводит к снижению дымности, уменьшению выбросов твердых частиц, увеличению выбросов  $CO_2$ ,  $NO_x$ , при этом комплекс суммарной эмиссии  $NO_x$  и твердых частиц для дизтоплива равен 1,133 и соответственно снижается с увеличением доли биодизеля до 0,96 для топлива SME B100.

Таблица 2 – Экологические показатели

Топливо	Hartridge	Bosh	K	PM	$CO_2$	$NO_x$	NO	SE	$SO_2$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diesel No.2	9,49	1,036	0,233	0,2557	790,37	252,70	1,964	1,133	0
SME B100	2,91	0,319	0,069	0,0714	853,06	533,42	5,048	0,960	0,0298
SME B40	4,89	0,536	0,117	0,1202	812,57	367,47	3,082	0,841	0,0110
SME B20	8,75	0,958	0,214	0,2423	811,05	280,80	2,291	1,135	0,0054

Hartridge - эмиссия дыма по шкале Хартриджа  
Bosh - эмиссия дыма по шкале Бош  
K, – коэфф. абсол. светопоглощения ОГ по ЕЭК, [1/m]  
PM - эмиссия твердых частиц [(г/кВт\*ч)]  
CO<sub>2</sub> - эмиссия диоксидов углерода [(г/кВт\*ч)]  
NO<sub>x</sub> - концентрация влажных NO<sub>x</sub> [(1/млн, (ppm) ]  
NO - эмиссия NO<sub>x</sub> [г/(кВт\*ч)] (Zeldovich)  
SE - комплекс суммарной эмиссии NO<sub>x</sub> и PM  
SO<sub>2</sub>- эмиссия SO<sub>2</sub> [г/кВт\*ч]

Сравнение приведенных выше расчетных данных с результатами испытаний дизеля Д-245 [3,4] показывает согласование расчетных и экспериментальных данных.

*Выводы.* С помощью программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК проведены расчеты рабочего процесса и определены экологические показатели дизеля Д-245. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях по применению биотоплив для двигателей, применяемых для сельскохозяйственной техники.

Программа может быть использована в учебном процессе для изучения методов математического моделирования при подготовке специалистов по специальности поршневые двигатели внутреннего сгорания, причем расчеты могут производиться через Интернет.

#### Литература

1. *Кулешов А.С.* Многозонная модель для расчета сгорания в дизеле. 1 Расчет распределения топлива в струе: - Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана / *А.С. Кулешов.* - Сер. «Машиностроение». 2007.- 18-31с.
2. *Кулешов А.С.* Многозонная модель для расчета сгорания в дизеле. 2. Расчет скорости тепловыделения при многократном впрыске: Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана./ *А.С. Кулешов.* - : Сер.«Машиностроение», 2007. 32-45.с.
3. *Гайворонский А.И.* Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / *А.И.Гайворонский, В.А.Марков, Ю.В.Илатовский.* – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480 с.
4. *Девянин С.Н.* Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / *С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов.* - Харьков. : «Новое слово», 2007. – 451 с.
5. *Мурай С.В.* Расчет параметров рабочего процесса двигателя МемЗ 2471 га номинальном режиме с помощью программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК/ *С.В.Мурай, Л.П.Данилевич, А.И.Квашневский, О.И.Олешко* // Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет – Вип. 9.Т2-Мелітополь: ТДАТУ, 2009. - 96-104 с.

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕСУ І  
ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬ Д-245  
НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДИЗЕЛЬ-РК**

Журавель Д.П., Мурай С.В.

*Анотація – за допомогою програмного комплексу ДИЗЕЛЬ-РК  
розраховані параметри робочого процесу та визначено екологічні  
показники дизеля Д-245 на номінальному режимі.*

**MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS AND  
DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL INDICATORS DIESEL  
D-245 AT THE NOMINAL REGIME THROUGH THE PROGRAM  
DIESEL-RK**

D.Juravel, S. Muray.

*Summary*

**Through software DIESEL-RK calculated parameters of the  
working process and identified the environmental performance of di-  
esel d-245 at the nominal mode.**