



УДК 621.436

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ РАСПЫЛИТЕЛЯ ТОПЛИВНОЙ ФОРСУНКИ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ДИЗЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

### EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE FUEL NOZZLE ATOMIZER DESIGN ON THE DIESEL WORKING PROCESS USING MATHEMATICAL MODELING

**Барри Мамаду Ури Бинта**, магистрант каф. «Турбины и Двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: ourybinta@gmail.com, Тел.: +7(932)606-99-96

**Плотников Леонид Валерьевич**, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: leonplot@mail.ru. Тел.: +7(922)291-64-50

**Barry Mamadou Oury Binta**, master student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: misnikmariya@yandex.ru, Тел.: +7(912)644-75-49

**Leonid V. Plotnikov**, Candidate of technical Sc., Associate Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: leonplot@mail.ru. Ph.: +7(922)291-64-50

**Аннотация:** В данной статье приводятся результаты оптимизации конструкции распылителя топливной форсунки с целью снижения удельного расхода топлива и концентрации вредных веществ в отработавших газах на основе численного моделирования. Исследование выполнено в программном комплексе Дизель-РК, разработанном в МГТУ им. Н. Э. Баумана. В качестве базового двигателя для исследования был выбран дизель СМД-31. Установлено, что оптимальные технико-экономические и экологические показатели дизеля СМД-31 достигаются при использовании топливной форсунки, имеющей 4 распыливающих отверстия с диаметром 0,29 мм.

**Abstract:** The results of the optimization of the design of the atomizer fuel injector to reduce specific fuel consumption and the concentrations of harmful substances in exhaust gases on the basis of numerical simulation are presented in the article. The study was carried out in the program complex Diesel-RK developed by the MGTU named after N. E. Bauman. Diesel SMD-31 was chosen as the base engine for the study. It is established that optimal techno-economic and environmental indicators of diesel engine SMD-31 are obtained by using fuel injectors with 4 spray holes with a diameter of 0.29 mm.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания; топливо; экологичность; удельный расход топлива; мощность; концентрация влажных NO<sub>x</sub>; распыливающие отверстия.

**Key words:** internal combustion engine; fuel; ecological compatibility; specific fuel consumption; puffiness; concentration of wet NO<sub>x</sub>; spray holes.

#### ВВЕДЕНИЕ

Сегодня проблемы снижения потребления природных ресурсов и улучшения экологических показателей окружающей среды становятся все более острыми. Поэтому основные требования к двигателю внутреннего сгорания – это требования к их экономичности и экологичности [1]. Один из возможных способов выполнения этих требований заключается в усовершенствовании рабочего процесса двигателя. В частности, процесс топливоподачи оказывает существенное влияние на рабочий процесс, следовательно, конструкция топливоподающей аппаратуры влияет на экономические и экологические показатели дизеля [1]. При этом, одним из важных элементов

топливоподающей аппаратуры является распылитель форсунки. От распылителя форсунки зависят основные факторы распыливания, которые можно оценить по двум критериям: мелкость (дисперсность) и однородность распыливания [2].

В данной работе приводятся результаты оптимизации конструкции распылителя топливной форсунки с целью снижения удельного расхода топлива и концентрации вредных веществ в отработавших газах на основе численного моделирования.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве базового двигателя для исследования был выбран дизель СМД-31. Двигатель СМД-31

является четырёхтактным шестицилиндровым дизельным двигателем с жидким охлаждением, с турбокомпрессором и охладителем наддувочного воздуха. Он имеет следующие параметры: диаметр цилиндра – 120 мм; ход поршня – 140 мм; номинальная частота вращения коленчатого вала – 2000 мин<sup>-1</sup>; количество распыливающих отверстий форсунки – 4; диаметр распыливающего отверстия – 0,29 мм; удельный расход топлива – 224 г/(кВт·ч); давление впрыска топлива при номинальном режиме работы – 17,5 МПа.

Математическое моделирование проводилось на основе программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК, разработанного в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Моделирование выполнялось для частот вращения коленчатого вала 800-2500 мин<sup>-1</sup>. Все отверстия распылителя были расположены под углом 75° относительно оси форсунки. На первом этапе моделирование рабочего процесса выполнялось при постоянном диаметре распыливающего отверстия, равного 0,29 мм, но с разным их количеством 3, 4, 6 и 8. Далее на втором этапе было выполнено моделирование при постоянном количестве распыливающих отверстий, но с разными диаметрами 0,15 мм, 0,25 мм, 0,29 мм и 0,35 мм. После этого были выбраны оптимальные количества и диаметр распыливающих отверстий с учетом достижения минимального расхода топлива и токсичности отработавших газов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты моделирования первого этапа исследований рабочего процесса дизеля с различными количествами распыливающих отверстий в топливной форсунке представлены на рис. 1. Как и следовало ожидать, при увеличении количества отверстий распылителя от 3 до 6, мощность и соответственно крутящий момент двигателя увеличиваются примерно на 4 %. Это можно объяснить тем, что в камеру сгорания дизеля подается большее количество топлива. При этом происходит снижение удельного расхода топлива в среднем на 6 % из-за более полного сгорания топлива, связанного с более равномерным распределением топлива по объему камеры сгорания. Однако, концентрация влажного NO<sub>x</sub> увеличивает в 2 раза, что связано с ростом максимальной температуры в камере сгорания дизеля. При дальнейшем увеличении числа распыливающих отверстий до 8 мощность двигателя снижается, а удельный расход топлива увеличивается, что объясняется ухудшением процесса смесеобразования и сгорания.

Таким образом, задача выбора оптимального количества распыливающих отверстий двигателя не простая, поскольку при улучшении одного параметра ухудшаются другие. По мнению авторов, для данного дизеля оптимальное количество распыливающих отверстий составляет 4, поскольку в этом случае получаются

достаточно высокие значения технико-экономических параметров и относительно низкая токсичность отработавших газов.

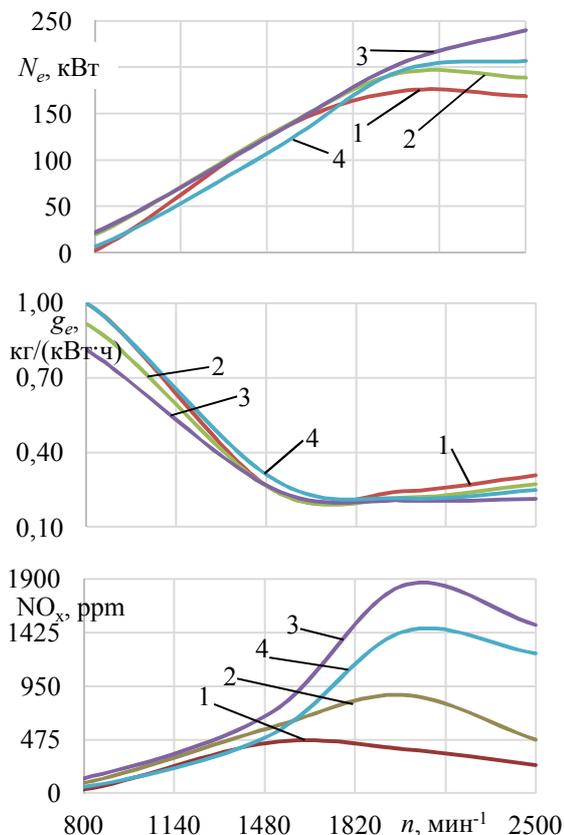


Рис. 1. Зависимости мощности  $N_e$ , удельного расхода топлива  $g_e$  и концентрации влажных  $\text{NO}_x$  от частоты вращения коленчатого вала  $n$  при разных количествах отверстий форсунки: 1 – 3; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 8

Также для форсунки с 4-мя распыливающими отверстиями было исследовано влияние этого диаметра на средний диаметр капелек распыленного топлива, который в свою очередь влияет на мелкость (дисперсность) распыливания топлива [2]. На рис. 2 показана зависимость среднего диаметра капли от диаметра распыливающего отверстия при разных частотах вращения коленчатого вала дизеля.

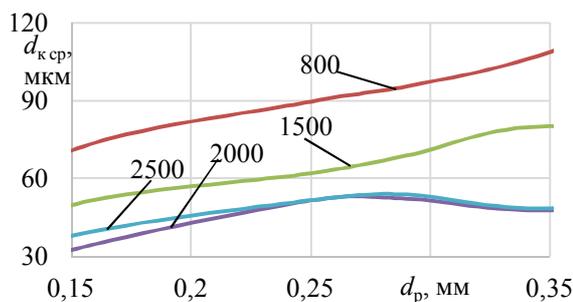


Рис. 2. Зависимость среднего диаметра капли от диаметра распыливающих отверстий при разных режимах работы двигателя

Из рис. 2 видно, что на низких частотах вращения коленчатого вала дизеля и при больших диаметрах распыливающего отверстия распылителя наблюдаются максимальные средние диаметры капель. С уменьшением диаметра отверстия средний диаметр капель топлива уменьшается, что, соответственно, приводит к повышению дисперсность распыливания. При этом, диаметр распыливающих отверстий имеет влияние на дальность, т. е. на глубину проникновения топливной струи – с увеличением диаметра отверстий струя становится компактнее, и ее дальность увеличивается [2]. На втором этапе было исследовано влияние распыливающих отверстий на технико-экономические и экологические показатели дизеля. На рис. 3 представлены скоростные характеристики дизеля с форсунками, имеющими разные диаметры распыливающих отверстий (от 0,15 до 0,35 мм).

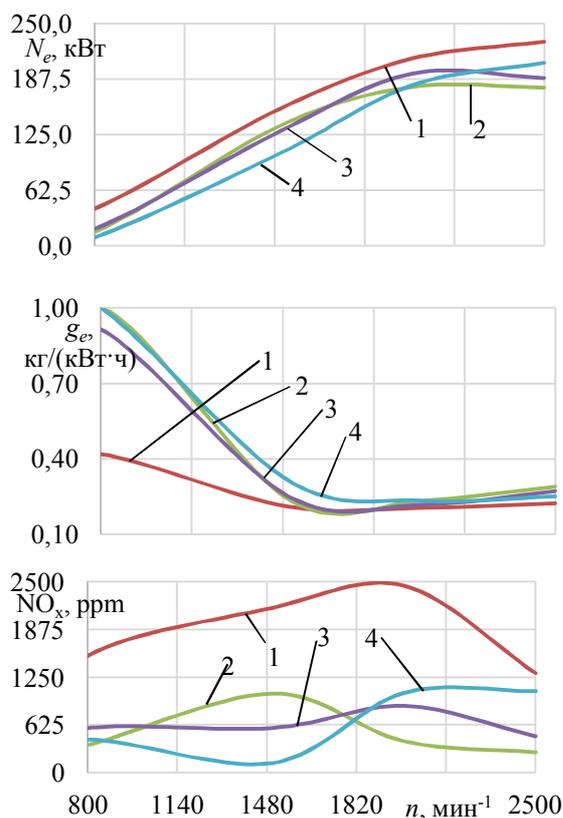


Рис. 3. Зависимости мощности  $N_e$ , удельного расхода топлива  $g_e$  и концентрации влажных  $\text{NO}_x$  от частоты вращения коленчатого вала  $n$  при использовании форсунок с различными диаметрами распыливающих отверстий: 1 – 0,15 мм; 2 – 0,25 мм; 3 – 0,29 мм; 4 – 0,35 мм

Результаты моделирования рабочего процесса показали, что максимальная мощность дизеля достигается при установке форсунки с диаметром распыливающего отверстия 0,15 мм. Максимальное увеличение мощности составляет 7,7% по сравнению с базовым дизелем. При этом происходит снижение удельного расхода топлива также на 7,7%. Однако, наблюдается существенный рост концентрации влажных  $\text{NO}_x$  в 2,5-3,0 раза, что превышает допустимые нормы. Как опыт показал, лучше установить форсунку с диаметром распыливающего отверстия 0,29 мм.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

- оптимальные технико-экономические и экологические показатели дизеля СМД-31 достигаются в случае, если конструкция распылителя форсунки имеет 4 распыливающих отверстия с диаметром 0,29 мм;
- увеличение количества распыливающих отверстий до 6 приводит к росту мощности дизеля на 4 %, снижению удельного расхода топлива на 6 %, увеличению выбросов  $\text{NO}_x$  в 2 раза (что не допустимо);
- уменьшение диаметра распыливающих отверстий до 0,15 мм приводит к росту мощности дизеля на 7,7 %, снижению удельного расхода топлива также на 7,7 %, увеличению выбросов  $\text{NO}_x$  в 2,5-3,0 раза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков В. А., Девянин С. Н., Тихонов А. В. Влияние конструкции распылителя форсунки на показатели транспортного дизеля // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2004. № 1. С. 22-28.
2. Шароглазов Б. А., Шишков В. В. Поршневые двигатели: теория, моделирование и расчет процессов; учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания». Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 525 с.
3. Луканин В. Н., Морозов К. А., Хачиян А. С. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2007. 479 с.