

**А. В. Ващула<sup>1,2</sup>, Л. Г. Сапун<sup>1</sup>, А. В. Захаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: zaharov\_av7@tut.by

<sup>2</sup>ГУ «Белорусская МИС»

п. Привольный, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь

belmis@mail.belpak.by

## **ВЛИЯНИЕ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ Д-245 ОАО «УКХ «МИНСКОГО МОТОРНОГО ЗАВОДА» НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

В статье рассмотрены вопросы ограничения по снижению уровня эмиссии отработавших газов в соответствии с Правилами ЕЭК ООН 49-02В (Евро 2). Приведен выбор базовой характеристики зависимости угла опережения впрыска топлива и частоты вращения от топливной экономичности и токсичности отработавших газов. Предложены дополнительные конструктивные мероприятия для обеспечения норм выброса вредных веществ Евро 2 двигателем Д-245.

*Ключевые слова:* двигатель, автоматическая система управления топливopодачи, угол опережения впрыска топлива, токсичность отработавших газов.

**A. V. Vashchula<sup>1,2</sup>, L. G. Sapun<sup>1</sup>, A. V. Zakharov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»*

*Minsk, Republic of Belarus*

*e-mail: zaharov\_av7@tut.by*

<sup>2</sup>*SI «Belarussian MTS»*

*Privolny, Minsk district, Minsk region, Republic of Belarus*

*belmis@mail.belpak.by*

## **INFLUENCE OF THE ANGLE OF ADVANCE OF INJECTION OF FUEL OF THE Д-245 ENGINE OF MINSKOGO MOTORNOGO ZAVODA ON ECOLOGICAL INDICATORS**

In article questions of restriction on drop of level of emission of the fulfilled gases according to UNECE Regulations 49-02B are considered (Euro 2). The choice of basic characteristic dependence of angle of advance of injection of fuel and rotary speed on fuel efficiency and toxicity of the fulfilled gases is given. Additional constructive actions for ensuring norms of blowout of harmful substances of Euro 2 Д-245 engine are offered.

*Keywords:* the engine, automatic control system of fuel feeding, fuel injection angle of advance, toxicity of the fulfilled gases.

### **Введение**

Ограничения по снижению уровня эмиссии отработавших газов и уровню шума работы, наряду с обеспечением более низкого расхода топлива постоянно формирует новые требования к системе топливopодачи дизельных двигателей.

На современном этапе эти показатели, в полной мере, могут обеспечиваться 3-мя путями.

Первый – совершенствование конструкции (оптимизация размерности, выбор типа камеры сгорания и степени сжатия, уровня форсирования, создание вихревого движения воздушного заряда в камере сгорания). Но он реален только на стадии создания дизеля. Поэтому говорить о нем, применительно к серийным тракторным дизелям, – смысла нет.

Второй – оснащение серийных дизелей устройствами и системами очистки отработавших газов. Это могут быть, прежде всего, термические, каталитические, восстановительные или жидкостные нейтрализаторы, фильтры различных конструкций. Т. е. данный путь предусматри-

вает очистку отработавших газов от уже образовавшихся в них токсичных компонентов и позволяет снизить выбросы продуктов неполного сгорания топлива – монооксида углерода, углеводородов и твердых частиц (сажи), причем значительно. Но он недостаточно эффективен при очистке отработавших газов от особо вредных компонентов – оксидов азота [1, 2].

Поэтому наиболее оптимальным следует считать третий путь – применение автоматических систем управления (АСУ) рабочим процессом, способных создать такие условия, при которых уменьшается образование токсичных компонентов в самой камере сгорания.

### Основная часть

Автоматические системы управления могут обеспечить оптимальные, для данного режима работы дизеля, коэффициент избытка воздуха, угол опережения впрыскивания топлива, фазы газораспределения; улучшить качество распыливания топлива; организовать рециркуляцию отработавших газов и подачу воды в камеру сгорания. Прежде всего потому, что АСУ – чрезвычайно гибкие, способные адаптироваться к широким диапазонам скоростных и нагрузочных режимов работы дизеля системы, в том числе к особо опасным в экологическом смысле режимам с пониженной частотой вращения коленчатого вала и частичными нагрузками.

Наиболее простое и в то же время достаточно эффективное средство воздействия АСУ на рабочий процесс дизеля – управление топливоподачей, а именно цикловой подачей и моментом начала впрыскивания топлива (углом опережения впрыскивания). Причем сильнее всего на выбросы особенно вредных компонентов отработавших газов, оксидов азота, влияет именно угол опережения впрыскивания, т. к. от этого угла зависят период задержки воспламенения, характеристики первой фазы сгорания и максимальная температура в камере сгорания.

Так, чем меньше угол опережения, тем меньше период задержки воспламенения и максимальная температура сгорания топлива, тем дальше по линии расширения смещается процесс сгорания и тем, следовательно, меньше образуется оксидов азота. Правда, при этом возникает другая опасность – ухудшение топливной экономичности и увеличение выбросов продуктов неполного сгорания топлива, т. е. монооксида углерода, углеводородов и сажи, особенно на режимах с большими нагрузками (полной подачи топлива). Поэтому на них, АСУ должна существенно уменьшать угол опережения впрыскивания. А на режимах с малыми нагрузками – несколько меньше и только для снижения выбросов оксида азота, так как здесь топливо успевает сгорать и без такого уменьшения.

Выбор оптимального закона управления топливоподачей (базовой характеристики управления углом опережения впрыскивания), оптимизирующего ее как по экономичности, так и токсичности отработавших газов, – задача трудная, поскольку экономические и экологические показатели дизелей находятся в сложной зависимости. Находят его, в общем случае, разными методами: иерархической последовательностью частных критериев; определением множества неулучшаемых точек и т. п. Однако выбор базовой характеристики для дизеля Д-245 облегчается: он, работая при  $\theta = 19^\circ$  поворота коленчатого вала (п. к. в.), выбрасывает с отработавшими газами монооксида углерода и углеводородов меньше (соответственно 2,1 и 0,46 г/(кВт·ч), чем это допускается нормами Евро 2 (4,0 и 1,1 г/кВт·ч). Кроме того, количество выбрасываемых им твердых частиц можно существенно (на 70–80% и более) снизить с помощью фильтра в выпускной системе. В итоге задача определения базовой характеристики управления для него сводится к оптимизации лишь по двум критериям – топливной экономичности и выбросу оксидов азота. Что и было сделано после принятия решения устанавливать дизели Д-245 на автомобиль МАЗ 4570 и его модификации.

Для этой цели провели серию экспериментов, в ходе которых, при разных углах опережения впрыскивания и разных частотах вращения коленчатого вала, определяли удельные эффективные расходы топлива и концентрации оксидов азота в отработавших газах (рис. 1).

Итогом обработки множества таких графиков и стала базовая характеристика, оптимизированная по топливной экономичности и токсичности отработавших газов (рис. 2).

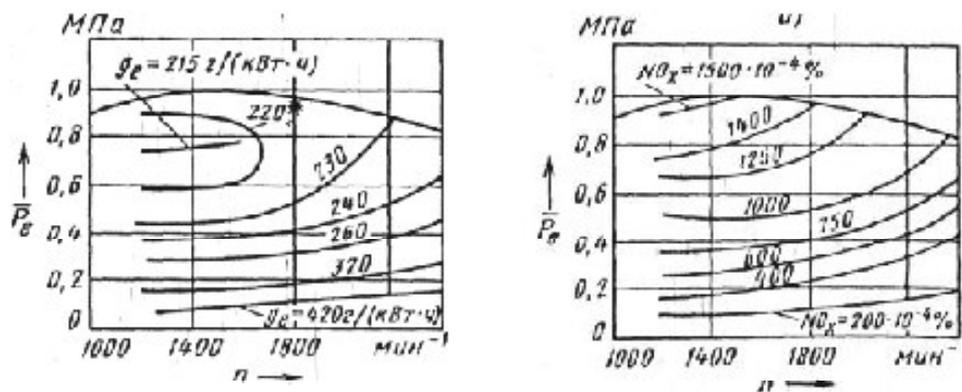


Рис. 1. – Диаграмма изменения  $NO_x$  и  $g_e$ , г/кВт·ч, при различных  $n$ , мин<sup>-1</sup>

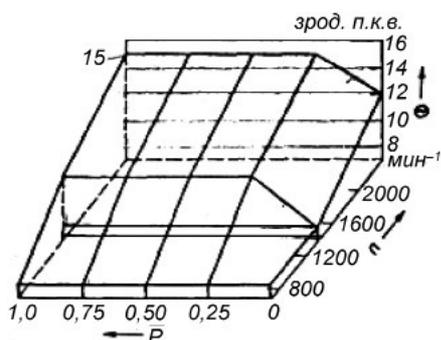


Рис. 2. – Базовая характеристика, оптимизированная по топливной экономичности и токсичности отработавших газов

Как видно из рисунка, характеристика предусматривает, что угол опережения впрыскивания уменьшается с 15° п.к.в. на номинальном режиме работы дизеля до 8° п.к.в. до ВМТ на режимах холостого хода. Благодаря этому, при работе дизеля по 13-ступенчатому циклу, выбросы оксидов азота снижаются с 11,8 до 6,0 г/(кВт·ч). То есть, по данному показателю, обеспечиваются требования Евро 2. И хотя вместе с тем несколько возрастают выбросы монооксида углерода (с 2,1 до 3,4 г/(кВт·ч)) и углеводородов (с 0,46 до 0,6 г/(кВт·ч)), нормы данного стандарта выполняются и по ним. Средний же удельный расход топлива возрастает незначительно – с 313 до 318 г/(кВт·ч), или с 230 до 234 г/(л.с·ч).

Приведенные результаты экспериментальных и расчетных исследований дают базу для создания конструкции системы автоматического управления топливоподачей для

двигателя Д-245, обеспечивающей нормы выброса вредных веществ в соответствии с Правилами ЕЭК ООН 49-02В.

### Заключение

Обеспечение норм выброса вредных веществ в соответствии с Правилами ЕЭК ООН 49-02В также можно обеспечить следующими конструктивными доработками на основе опыта Минского моторного завода (ММЗ):

- применение топливных насосов размерности 11×12 мм (ЯЗДА и «Моторпал») для обеспечения давления впрыска 90–100 МПа.
- применение форсунки с уменьшенной массой подвижных деталей и с давлением начала подъема иглы 24 МПа (и пятисопловые распылители с объемом предсоплового канала 0,3 мм<sup>3</sup>);
- выполнение головки цилиндров с винтовыми впускными каналами;
- применение турбокомпрессора, регулируемого по наддуву;
- обеспечение уменьшения расхода масла на угар в цилиндропоршневой группе до 0,4 г/кВт·ч.
- применение охладителя надувочного воздуха.

Так же обеспечение норм выброса вредных веществ в соответствии с нормами Евро 2 позволит применение аккумуляторных систем топливоподачи типа Common Rail 2-го поколения с электрогидравлическими форсунками.

### Список использованных источников

1. Грехов Л. В., Габитов И. И., Неговора А. В. Конструкция, расчет и технический сервис топливоподающих систем дизелей: Учебное пособие. – М: Легион-Автодата, 2013. – 292 с.
2. Применение аккумуляторной системы топливоподачи на двигателях производства ОАО «УКХ «Минский моторный завод» / А. В. Ващула, Л. Г. Сапун, А. В. Захаров, В. П. Бакиновский / Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – 2018. – Вып. 52. – С. 259–261.