

## ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ДОБАВЛЕНИЮ АНТИДЫМНЫХ ПРИСАДОК В ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

В.В. Деркачев

*Обоснован выбор критериев при математическом планировании эксперимента по добавлению антидымных присадок в дизельное топливо.*

*Ключевые слова: дизельное топливо, антидымные присадки, математическое планирование эксперимента.*

Из всевозможных способов подачи антидымных присадок в цилиндр дизеля можно выделить основные: подачу топлива с антидымной присадкой из топливного бака через штатную систему; подачи антидымной присадки через смеситель перед форсункой; подачу антидымной присадки с топливом (частично) через систему впуска; подачу антидымной присадки через двухтопливную форсунку. Последний способ требует отдельно секции топливного насоса высокого давления, но удобен с точки зрения дозирования присадок поворотом плунжера. Первые три способа проще в осуществлении и они сравниваются между собой. На рисунке 1 в виде обобщенной схемы представлены эти способы подачи антидымной присадки. Здесь сплошной линией показан способ подачи через штатную систему питания; пунктиром - способ подачи через смеситель перед форсункой; штрих-пунктиром - способ работы на топливе без присадок; сплошными линиями с -о- - способ работы с подачей топлива и присадок через систему впуска.

Первый способ подачи через штатную систему питания отличается простотой, воспроизводимостью, не требует дополнительных систем и им можно добиться высокой эффективности снижения уровней выбросов твердых частиц с отработавшими газами. Недостатком этого способа является то, что на всех режимах работы дизеля существует расход антидымных присадок с одной стороны и расход антидымных присадок не связан со скоростными и нагрузочными характеристиками с другой, а это значит что происходит необоснованный перерасход антидымных присадок.

Второй способ подачи через смеситель перед форсункой требует дополнительной системы смесеобразования топлив с присадками, нагнетающего насоса в линии топлива с

присадкой и системы регулирования дозированием антидымной присадки в зависимости от положения рейки топливного насоса высокого давления. Недостатком является появление полости расширения перед форсункой в линии высокого давления.

Третий способ требует установки форсунок в системе впуска как у бензиновых двигателей с распределенным впрыском топлива, нагнетающего насоса с системой регулирования в зависимости от положения рейки топливного насоса высокого давления. Недостатком является то, что антидымная присадка подается не в факел топлива, а с частью топлива в воздух на впуск на такте впуска.

При любом из трех способов осуществления подачи антидымных присадок в топлива следует ожидать обнаруженные ранее положительные явления:

- снижение выбросов твердых частиц (ТЧ) с отработавшими газами (ОГ) [1-6];
- смещение процесса сгорания к верхней мертвой точке (ВМТ) по повороту коленчатого вала [5, 6];
- увеличение скоростей тепловыделения [6, 7] между максимальными значениями

$$\left( \frac{dx}{d\varphi} \right)_{\max}^{\wedge} \text{ и } \left( \frac{dx}{d\varphi} \right)_{\max}^{\#};$$

- изменение величин максимальных значений давления в цилиндре  $P_z$  [1, 7] и скорости нарастания давления  $\left( \frac{dP}{d\varphi} \right)_{\max}^{\wedge}$  [1, 6].

А.Л. Новоселовым было показано, что ввиду незначительных по массе добавок антидымных присадок в топливо, они не оказывают заметного влияния на процесс распыливания в цилиндре. Так как изменение критерия Вебера  $We$  характеризующего соотношение сил поверхностного натяжения изменений плотности топлива  $\rho_m$ , коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma_T$ , изменение критерия нестационарности процесса, харак-

## ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ДОБАВЛЕНИЮ АНТИДЫМНЫХ ПРИСАДОК В ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

теризующего соотношения сил поверхностного натяжения, инерции и вязкости также незначительно.

Как отмечалось ранее, при добавлении в топливо антидымной присадки ИХП-706 на основе алкилфенолята бария 0,5 % плотность топлива увеличивать только на 0,45...0,46 %. В то же время, по данным А.И. Толстова, повышение плотности с 0,848 до 0,873 кг/м<sup>3</sup>, то есть на 3 %, приводит к росту дальности факела на 20 %. Оценка увеличения дальности факела только на 0,10...0,15 % поэтому утверждать о воздействии присадок на дальность факела в дизеле не имеет смысла.

Оценка увеличения кинематической и динамической вязкости топлива при добавлении различных металлосодержащих антидымных присадок на средний диаметр капель была проведена по известным уравнениям А.С. Лышевского.

Расчеты [1] показали, что диаметр капель может измениться при добавлении антидымных металлосодержащих присадок лишь на 0,3-0,4 %, что не повлияет на условия испарения капель и развитие процесса сгорания. Чувствительное уменьшение диаметра капель  $d_k$  может иметь место при изменении  $\sigma_T$  не менее чем на 19%.

В процессе исследования встал вопрос об участии компонентов в составе антидымных присадок на процесс образования сажи уже на участке топливоподачи. Поскольку

воздействие на физические свойства топлива не оказывает влияния на мелкость распыления, а процесс сгорания на участке до достижения максимальной температуры цикла в цилиндре идет интенсивнее, судя по результатам обработки индикаторных диаграмм, чем без присадок, встает вопрос о том, что может оказывать влияние на интенсификацию сгорания уже до достижения температуры воспламенения сажи 733°C.

Поскольку работа посвящена выбору и оценке способов подачи антидымных присадок в топливо и был проведен полнофакторный эксперимент, было принято решение о том, чтобы не рассматривать процессы образования и выгорания сажи в цилиндре дизеля, так как они были ранее изучены С.А. Батуриным, В.З. Маховым, А.Л. Новоселовым и другими, а остановиться на оценке по отдельным факторам и для получения математических моделей использовать методы планирования эксперимента.

Оценка вредных выбросов исследование влияния применения антидымных присадок в топливо на экологические и экономические характеристики дизелей в основном производятся экспериментально.

При проведении экспериментов необходимо стремиться к сокращению количества опытов и увеличению объема информации, получаемой из каждого эксперимента.

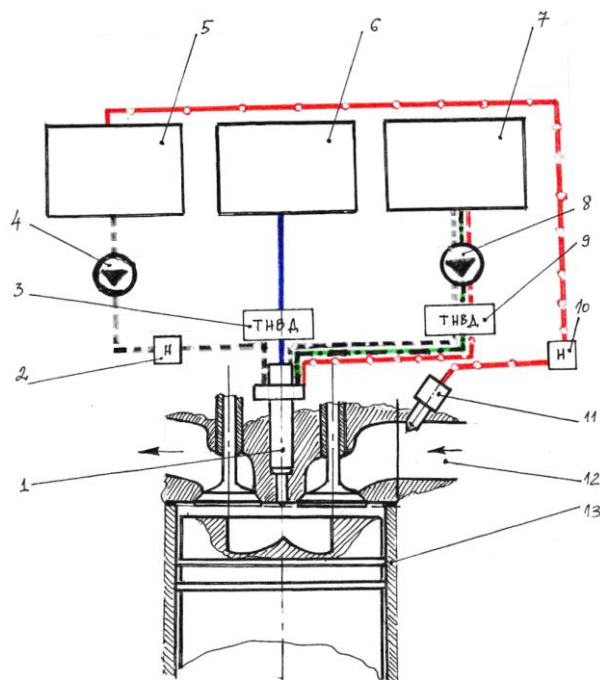


Рисунок 1 –  
Схемы подачи антидымных присадок в цилиндр дизеля:

- 1- форсунка;
- 2, 10- электронасосы;
- 3, 9- топливный насос высокого давления;
- 4, 8- электромагнитные клапаны;
- 5- бак для присадки;
- 6- бак для топлива с присадкой;
- 7- бак для топлива;
- 11- электромагнитная форсунка;
- 12- канал впуска;
- 13- дизель

внутреннего сгорания включает снятие характеристик однофакторного эксперимента, дающих зависимости показателей процесса, вредных выбросов с отработавшими газами при неизменных других параметрах. При этом каждая из характеристик должна иметь не менее пяти экспериментальных точек.

Получение информации о влиянии нескольких параметров на рабочий процесс и уровни вредных выбросов требует большего количества экспериментов. Предварительное изучение закономерностей изменения токсичности отработавших газов и топливной экономичности дизелей позволило осуществить математическое планирование эксперимента. В качестве независимых переменных были приняты величины, характеризующие изменение внешних условий, характеристик рабочего процесса, регулировок топливоподачи, состава топлива. В качестве функций отклика приняты содержание в отработавших газах твердых частиц, оксидов азота, оксида углерода, углеводородов (суммарно).

Дымность и токсичность отработавших газов зависят от многих факторов, в том числе, от среднего эффективного давления -  $p_e$ ; угла опережения начала подачи топлива -  $\theta$ ; отношения хода поршня к диаметру цилиндра -  $S/D$ ; длина свободного пробега струи топлива до стенки камеры сгорания -  $L_{ст}$ ; давление затяжки пружины форсунки -  $P_f$ ; степени сжатия -  $\varepsilon$ ; частоты вращения коленчатого вала -  $n$ ; давления наддувочного воздуха -  $p_k$ ; удельного эффективного расхода топлива -  $g_e$ ; коэффициента избытка воздуха -  $\alpha$ ; температуры отработавших газов перед компрессором -  $T_k$ ; температуры окружающей среды -  $T_0$ ; давление окружающей среды -  $p_0$  и целого ряда других. Влияние этих и других параметров в однофакторных экспериментах изучено В.А. Вагнером, А.Л. Новоселовым, А.С. Лоскутовым и другими [1].

Решение задач настоящего исследования заключалось в оценке способов подачи различных антидымных присадок. При выборе факторов было принято решение о представлении отдельных факторов, характеризующих отдельные понятия в виде критериев. Так критерий тепловой напряженности А.К. Костиным описывает влияние комплекса факторов: средней скорости поршня  $c_m=(s \cdot n)/30$ , м/с; диаметр цилиндра  $D$ , м; коэффициента наполнения цилиндра  $\eta_v$ ; давление воздуха после компрессора  $p_k$ , МПа (для двигателей без наддува  $(p_0 - \Delta p_0)$ , МПа; среднего эффективного давления  $p_e$ , МПа; удельного эффективного расхода топлива  $g_e$ ,

кг/(кВт·ч); температуры воздуха после компрессора  $T_k$ , К (для двигателей без наддува  $T_0 + \Delta T$ , К); температуры окружающей среды  $T_0$ , К. Выражение критерия тепловой напряженности имеет вид

$$q_n = 0,0413 \sqrt{c_m} \left( \frac{1}{\eta_v p_k} \right)^{0,38} \left( g_e T_k / T_0 \right)^{0,88}.$$

В процессе экспериментальных исследований автора в результате обработки материалов испытаний других авторов были связаны показатели тепловой напряженности и выбросов твердых частиц, включая сажу.

Критерий относительной эффективности антидымных присадок разработан автором настоящей работы путем обработки экспериментальных данных. Относительную эффективность антидымных присадок в топливо представлена как функция вида

$$v_{ТЧ} = f(m_{П} / m_T),$$

где  $m_{П}$  - масса антидымной присадки;  $m_T$  - масса топлива.

Обработка экспериментальных данных о влиянии дозировки композиций антидымных присадок на эффективность снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизеля 8Ч 12/12, представленных на рисунке 2, дала возможность получить следующие функции для различных присадок:

- для присадки на основе галогенизированного углерода (рисунок 2), с  $R^2=0,9999$

$$v_{ТЧ}^{АДП-1} = 181 \cdot 10^5 x^3 - 202000x^2 + 738x - 0,0033$$

- для присадки на основе алкилферроцена (рисунок 3), с  $R^2=0,9988$

$$v_{ТЧ}^{АДП-2} = 673000x^3 - 21700x^2 + 238x - 0,0055$$

- для присадки «Парадайн-12» (рисунок 4), с  $R^2=0,9997$

$$v_{ТЧ}^{АДП-3} = 557 \cdot 10^4 x^3 - 91200x^2 + 492x - 0,0224$$

- для присадки на основе галогенизированного йода (рисунок 5), с  $R^2=0,9996$

$$v_{ТЧ}^{АДП-4} = 514 \cdot 10^5 x^3 - 399000x^2 + 1020x - 0,0057$$

где  $x = m_{П} / m_T$ .

За критерий своевременности подачи топлива был принят безразмерный угол опережения начала подачи топлива

$$\tilde{\theta} = \theta_{уст} / \theta_{баз},$$

где  $\theta_{уст}$ ,  $\theta_{баз}$  - регулировочные углы опережения начала подачи топлива по топливному насосу (действительный и установочный на базовой комплектации).

## ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ДОБАВЛЕНИЮ АНТИДЫМНЫХ ПРИСАДОК В ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

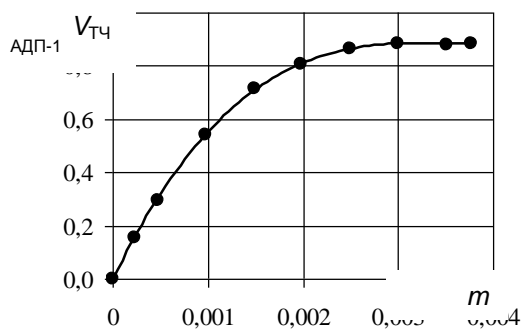


Рисунок 2 - Влияние дозировки антидымной присадки на основе галогенизированного углерода на эффективность снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизеля

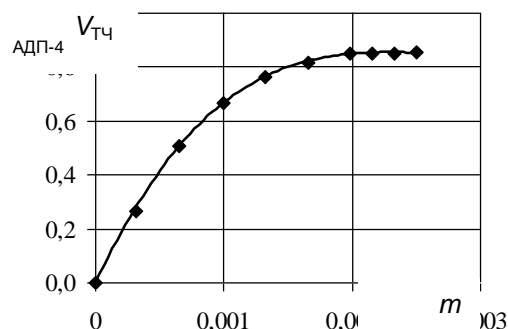


Рисунок 5 - Влияние дозирования антидымной присадки на основе галогенизированного йода в топливо на эффективность снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизеля

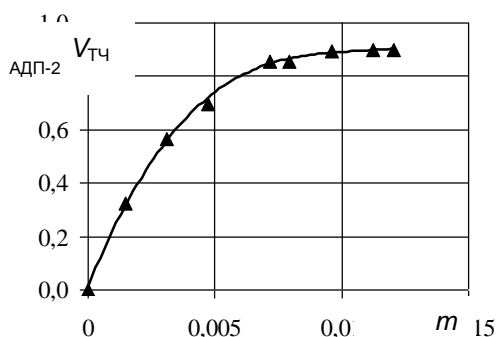


Рисунок 3 - Влияние дозирования антидымной присадки на основе алкилферроцена на эффективность снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизеля

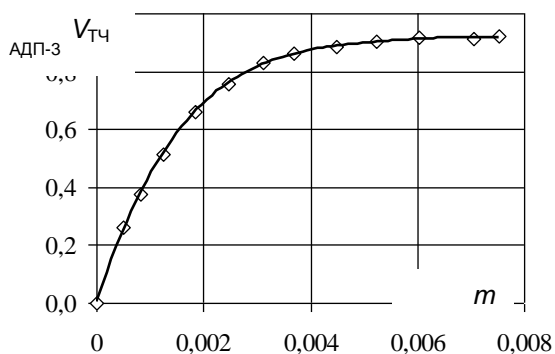


Рисунок 4 - Влияние дозирования антидымной присадки «Парадайн -12» в топливо на эффективность снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизеля

### ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе получены следующие результаты:

- выбраны основные критерии для планирования эксперимента по влиянию антидымных присадок в дизельное топливо;
- математически описано воздействие отдельных антидымных присадок на эффективность снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизелей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагнер, В.А. Снижение дымности дизелей / В.А. Вагнер, А.Л. Новоселов, А.С. Поскутов / Алт. краевое правление Союза НИО СССР. - Барнаул: Б.И., 1991. - 140с.
2. Жегалин, О.И. Каталитические нейтрализаторы транспортных двигателей / О.И. Жегалин, Н.А. Китросский и др. - М.: Транспорт, 1979. - 80с.
3. Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1981. - 160с.
4. Куваева, Е.Н. Влияние многофункциональной присадки на экологические и эксплуатационные свойства моторных топлив: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.07/ Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т.- Тюмень, 2000. - 22 с.
5. Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология: Учебн. для вузов / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. Под ред. В.Н. Луканина. - М.: Высшая школа, 2001. - 273с.
7. Мельберт, А.А. Повышение экологической безопасности поршневых двигателей. - Новосибирск: Наука, 2003. - 170 с.
7. Новоселов, А.Л. Снижение вредных выбросов дизелей /А.Л. Новоселов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова, под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова. - Новосибирск: Наука, 2007.- 139 с.

**Деркачев В.В.**  
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул