

## **КОРРЕКЦИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВПРЫСКИВАНИЯ БЕНЗИНА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **Характеристика проблемы**

Широкое распространение на автомобильном транспорте получили двигатели с микропроцессорными системами управления (МПСУ) и распределенным впрыскиванием бензина. Точное дозирование и мелкое распыливание бензина обеспечивают электромагнитные клапанные форсунки, являющиеся конечными узлами в этих системах.

При подборе форсунок для конкретного двигателя учитывают их основные характеристики: статическую производительность; динамический диапазон работы; минимальную цикловую подачу топлива; время открытия и время закрытия клапана форсунки; угол конуса распыливания и дальнобойность топливного факела; мелкость распыливания и распределение топлива в факеле.

В процессе эксплуатации состояние двигателя, датчиков и исполнительных устройств не остается неизменным и, соответственно, первоначально выбранные оптимальные значения управляющих воздействий не остаются таковыми или просто не воспроизводятся. Изменяются и характеристики форсунок в результате образования отложений в проточной части и распыливающих отверстиях. В разомкнутых программных системах управления нет возможности точно отслеживать эти изменения.

Отложения являются результатом воздействия высокой температуры на топливо. Наиболее интенсивно они накапливаются сразу после остановки двигателя. Температура корпуса форсунки возрастает за счет нагрева от горячего двигателя, а охлаждающее действие потока бензина отсутствует. В рабочей зоне форсунки происходит испарение легких фракций бензина. Постепенно накапливаются тяже-

лые фракции, образуя лаковые отложения, которые превращаются в нерастворимую в бензине пленку, уменьшающую сечение распыливающих отверстий форсунки. Этот необратимый процесс получил название карбонизации.

Кроме того, входной фильтр и проточная часть форсунки загрязняются мелкими механическими примесями, содержащимися в топливе. Поэтому загрязненные форсунки периодически подвергают очистке. Периодичность очистки форсунок зависит от качества бензина и условий эксплуатации. В Украине рекомендуют чистить форсунки через 10 – 15 тыс. км пробега.

Перечисленные выше неисправности являются наиболее распространенными, поэтому на их устранение было направлено основное внимание исследователей и разработчиков. Разработаны и успешно применяются различные моющие жидкости и установки, предназначенные для очистки форсунок. Но не всегда удается полностью очистить форсунки от механических примесей и лаковых отложений, поэтому нет гарантии, что после каждой очистки характеристики форсунки восстанавливаются до уровня исходных. В результате перечисленных негативных процессов нарушается нормальное функционирование двигателя, ухудшается экономичность, повышается токсичность отработавших газов.

Производительность форсунок после очистки проверяют путем статической проливки. Неравномерность подачи топлива не должна превышать 3 – 5 %. Форсунки, не укладываемые в указанный диапазон, отбраковывают. Однако часты случаи, когда очищенные и укладываемые в трех процентный диапазон (по результатам статической проливки)

форсунки, не обеспечивают устойчивую работу двигателя на режимах холостого хода и малых нагрузок. Причина – неравномерность срабатывания клапанов в комплекте форсунок, установленных на двигателе.

Очевидно, что изменение характеристик форсунок приводит к увеличению затрат на эксплуатацию автомобиля в результате ухудшения экономичности двигателя между очистками форсунок, затрат на проведение профилактических работ и, зачастую, на замену работоспособных форсунок.

Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем

Наиболее полно процессы впрыскивания бензина под управлением микропроцессоров и влияние на них различных факторов рассмотрены в работах [1, 2, 3]. Величина цикловой подачи топлива реальной форсунки равна

$$G_{mц} = \int_0^{\tau_{\text{отп}}} \mu f \cdot \sqrt{2\rho_m \cdot (P_a - P_s)} \cdot d\tau, \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{отп}}$  – продолжительность открытого состояния клапана форсунки (продолжительность впрыскивания),  $\mu f$  – эффективное проходное сечение распылителя форсунки,  $\rho_m$  – плотность топлива,  $P_a$  – давление топлива в аккумуляторе,  $P_s$  – давление воздуха во впускном коллекторе.

Для сохранения расходных характеристик форсунок при различных режимах работы двигателя в условиях эксплуатации, подача топлива ведется при постоянном перепаде  $\Delta P_m = P_a - P_s$  между давлением топлива и давлением во впускном трубопроводе после дроссельной заслонки. Для этого в топливной системе установлен стабилизатор перепада давления, редукционный клапан которого с мембранным приводом нагружен пружиной, причем полость над мембраной соединяется с полостью задрессельного пространства.

В основу алгоритма управления форсунками положен принцип базовой и корректирующей матриц с использованием упрощенной зависимости определения цикловой подачи

$$G_{mц} = \mu f_{\text{ср}} \cdot \sqrt{2\rho_m \cdot \Delta P_m} \cdot \tau_y, \quad (2)$$

Длительность управляющего импульса

$$\tau_y = \tau_{\text{б}} \cdot K_{\text{тоо}} \cdot K_{\text{ус}} \cdot K_{\lambda} + \Delta\tau_{\text{аб}}, \quad (3)$$

где:  $K_{\text{тоо}}$ ,  $K_{\text{ус}}$ ,  $K_{\lambda}$  – коэффициенты, учитывающие температуру охлаждающей жидкости, ускорение при холодном двигателе и состав отработавших газов соответственно;  $\tau_{\text{б}}$  – время, определяемое из базовой матрицы;  $\Delta\tau_{\text{аб}}$  – промежуток времени, учитывающий изменение напряжения аккумуляторной батареи.

Для калибровки базовой матрицы используют зависимость  $\tau_{\text{б}} = f(n, M_{\text{кр}})$  как функцию частоты вращения коленчатого вала и нагрузки, которую определяют по одному из параметров: углу поворота дроссельной заслонки; массовому расходу воздуха; разрежению во впускном коллекторе.

В уравнении (2)  $\mu f_{\text{ср}}$ ,  $\rho_m$  и  $\Delta P_m$  – величины постоянные, поэтому управляют топливоподачей, изменяя продолжительность электрического управляющего импульса  $\tau_y$ , подаваемого на обмотку электромагнита форсунки.

Отличия в формулах (1) и (2), вызывающие погрешность в управляющем воздействии, заключаются в следующем.

Во-первых, в уравнении (2) принято постоянное среднее эффективное проходное сечение распылителя форсунки, которое отличается от реального, изменяющегося при подъеме и посадке клапана.

Во-вторых, продолжительность открытого состояния клапана форсунки  $\tau_{\text{отп}}$  отличается от продолжительности электрического управляющего импульса  $\tau_y$ , подаваемого на обмотку электромагнита

форсунки, на величину запаздывания перелета клапана при подъеме и посадке

$$\tau_{впр} = \tau_y - \tau_1 + \tau_2, \quad (3)$$

где  $\tau_1$  – время запаздывания перелета клапана при подъеме,  $\tau_2$  – время запаздывания перелета клапана при посадке.

Несмотря на наличие методических погрешностей, вносимых использованием формулы (2), она используется практически во всех алгоритмах управления впрыскиванием бензина, так как позволяет упростить процесс управления и снизить стоимость аппаратных средств. Кроме того, при всем многообразии схемных и конструктивных решений систем управления, есть возможность выбора форсунок для каждого конкретного двигателя. Фирмы выпускают семейства форсунок с различными статическими расходами, что позволяет обеспечить работу двигателей с разными рабочими объемами цилиндров. Статическая производительность  $q_0$  характеризуется количеством топлива, проходящего через форсунку в единицу времени при заданном давлении и полностью открытом клапане форсунки. Выбирают форсунки по статической производительности

$$q_0 = \frac{G_{мц}}{\tau_{впр}}, \quad (4)$$

где  $G_{мц}$  - цикловая подача бензина на номинальной мощности,  $\tau_{впр}$  - продолжительность впрыскивания на этом режиме.

Учет изменения состояния двигателя и его систем в процессе работы позволил бы сохранить высокое качество управления в процессе эксплуатации автомобиля. Трудность создания самонастраивающихся систем в первую очередь связана со сложностью получения необходимой информации на борту автомобиля. Тем не менее, элементы коррекции все чаще используются в МПСУ. В работе [4] сообщается о внедрении в современные МПСУ метода инди-

видуального управления циклами отдельных цилиндров.

### Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является разработка модели, позволяющей периодически корректировать неравномерность впрыскивания бензина, обусловленную изменением характеристик форсунок в процессе эксплуатации двигателя.

Задачи исследования:

- экспериментальное определение пределов отклонения и степени неравномерности впрыскивания бензина в процессе эксплуатации автомобильного двигателя;
- разработка метода определения динамических характеристик электромагнитных форсунок;
- разработка модели и способа периодической коррекции неравномерности впрыскивания бензина.

### Решение задачи

Процессы в электромагнитных клапанных форсунках моделировали на специальной установке, собранной из серийных компонентов систем распределенного впрыскивания различных автомобилей. Управляющие сигналы на электромагниты форсунок подавали от источника постоянного тока и от генератора прямоугольных импульсов с изменением частоты и длительности. С помощью компьютерной системы записывали: форму управляющего сигнала, силу тока в обмотке форсунки, а с помощью оптоэлектронных датчиков – движение топливной струи на выходе из распылителя, перемещение клапана форсунки. Для этого специально были выбраны форсунки фирмы Бош со штифтовыми распылителями от автомобиля Ford Siera, позволяющие записать непосредственно движение штифта, выступающего на торце распылителя, то есть перемещение клапана. Для испытаний выбрали два комплекта форсунок: комплект №1 форсунок автомобиля Ford Siera (ката-

ложный номер 0 208 150 743; пробег более 240 тыс. км) и комплект №2 новых форсунок автомобиля DEWOO Sens.

На рис. 1 представлены диаграммы процессов в электромагнитной клапанной форсунке из комплекта №1. Видно, что время запаздывания при подъёме клапана больше, чем при посадке. Наличие составляющих ( $\tau_1=1,32\dots1,55$  мс и  $\tau_2=0,55\dots0,89$  мс) приводит к нелинейности характеристики топливоподачи. Нарушение линейности характеристики в значительной мере связано с влиянием переходных процессов открытия и закрытия форсунки. Помимо процессов в самой катушке электромагнита и массы подвижного элемента на эти процессы влияет сила пружины клапана. Увеличение затяжки пружины повышает время открытия форсунки и снижает время ее закрытия. Кроме технологического разброса при изготовлении форсунок в процессе эксплуатации происходит усадка пружин форсунок, износ деталей в местах контакта с пружинами, увеличивается разница во временных интервалах  $\tau_1$  и  $\tau_2$  в комплекте форсунок. Поэтому представляет интерес, какие значения времени запаздывания  $\tau_1$  и  $\tau_2$  в комплекте форсунок, находящихся длительное время в эксплуатации. Испытания проводили на установке, описанной выше, с комплектом форсунок №1. Диаграммы движения топливных струй приведены на рис. 2, а численные значения – в таблице 1. Там же дана разность  $\Delta\tau_k$  для каждой форсунки. Анализ диаграмм перемещение клапана форсунки (рис.1) и сигнала датчика движения топливной струи (рис. 2) показывает, что продолжительность открытого состояния клапана, определяемая между моментами отрыва клапана от седла и его посадкой, не соответствует продолжительности впрыскивания топлива, определяемой между моментом выхода топливной струи из распылителя и её прекращением. Струя запаздывает в среднем на 0,2...0,3 мс.

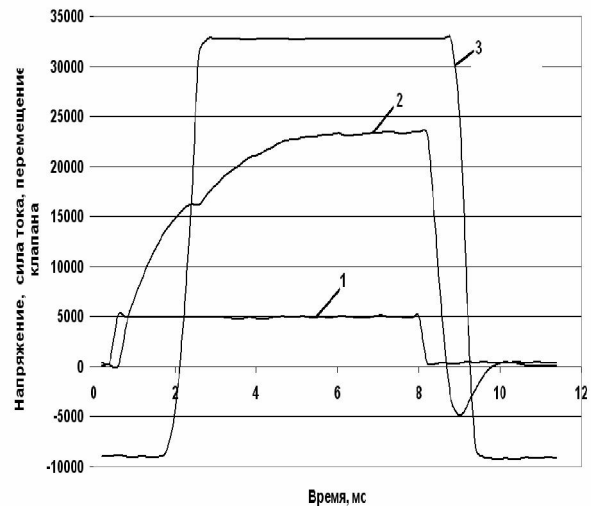


Рис. 1. Процессы в электромагнитной клапанной форсунке:

1 – форма управляющего сигнала, 2 – сила тока в обмотке форсунки, 3 – перемещение клапана

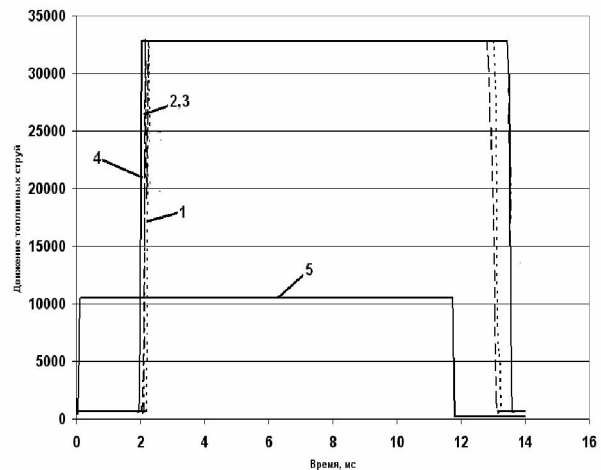


Рис. 2. Диаграммы движения топливных струй комплекта форсунок №1:

1, 2, 3, 4 – сигналы датчиков движения топливных струй соответствующих форсунок (1, 2, 3, 4); 5 – форма управляющего сигнала

Это объясняется дросселированием потока в узкой щели в начале открытия клапана и заполнением объёма между клапаном и распыливающими отверстиями, а после посадки клапана – истечением топлива из этого объёма.

Исходя из этого, в данной работе продолжительность впрыскивания топлива отсчитывали от фронта до спада сигнала оптоэлектронного датчика

движения топливной струи. Запаздывание открытия клапана  $\tau_1$  определяется между фронтами управляющего импульса 5 (рис. 2) и сигналом оптоэлектронного датчика движения топливной струи 4, а запаздывание закрытия клапана  $\tau_2$  – между спадами этих импульсов.

Регистрация движения топливных струй позволяет с высокой точностью определить различия в динамике движения клапанов форсунок различной

конструкции, особенно тех, у которых распылитель представляет собой пластинку с одним, двумя или четырьмя отверстиями, например, как форсунки комплекта 2 нового двигателя автомобиля Sens, прошедшего обкатку.

Кроме динамических характеристик, определяли также статическую производительность и неравномерность подачи форсунок для всех комплектов (таблица 1), причем для комплекта №1 до и после очистки моющей жидкостью.

Таблица 1. Результаты экспериментального исследования характеристик форсунок

№ форсунки	Время запаздывания клапанов форсунок (комплект 1) при $\tau_y = 11,7$ мс				Статическая производительность и неравномерность подачи форсунок (комплект 1) до очистки		Статическая производительность и неравномерность подачи форсунок			
							(комплект 1) после очистки		Новые форсунки (комплект 2)	
	$\tau_1$ , мс	$\tau_2$ , мс	$\tau_{впр}$ , мс	$\Delta\tau_k$ , мс	$q_0$ , мм <sup>3</sup> /мс	$\delta_{см}$ , %	$q_0$ , мм <sup>3</sup> /мс	$\delta_{см}$ , %	$q_0$ , мм <sup>3</sup> /мс	$\delta_{см}$ , %
1	2,00	1,55	11,25	- 0,45	2,966	-	3,0	0	2,051	2,12
2	1,90	1,40	11,20	- 0,50	2,666	10,65	3,0	0	2,007	4,29
3	2,05	1,50	11,15	- 0,55	2,900	2,25	3,0	0	2,073	1,05
4	1,75	1,65	11,60	- 0,10	2,866	3,43	2,91	3,045	2,095	-

Наибольшая неравномерность подачи форсунок комплекта №1, определённая до очистки по статической производительности, оказалась между форсунками 1 и 2 (10,65 %). После очистки статическая производительность форсунок 1 – 3 выровнялась, а неравномерность подачи 3,045 % составила форсунка 4. Для комплекта №2 новых форсунок неравномерность подачи 4,29 % между форсунками 4 и 2.

С учётом времени запаздывания клапанов в комплекте форсунок №1, приведенных в таблице 1, расчетным путем определили неравномерность впрыскивания бензина для каждой форсунки в зависимости от длительности управляющего импульса. Расчеты выполняли по данным до и после очистки. Результаты расчета приведены на рис. 3. Макси-

мальную цикловую подачу обеспечивала форсунка 4 на режиме  $\tau_y = 2$  мс. По отношению к этой форсунке и определяли неравномерность подачи всех форсунок. Кривая 1 - неравномерность подачи между форсунками 4 – 1, кривая 2 - неравномерность подачи между форсунками 4 – 3, кривая 3 - неравномерность подачи между форсунками 4 – 2 (все данные до очистки форсунок), кривая 4 - неравномерность подачи между форсунками 4 – 3 после очистки форсунок. Важно отметить, что статическая производительность форсунки 4 после очистки оказалась меньше всех, но её клапан открывается раньше и закрывается позже всех, поэтому на режимах малых подач  $\tau_y = 2$  мс неравномерность составляет 23 %.

По мере увеличения  $\tau_y$  влияние неуравновешенности времени запаздывания снижается, неравномерность подачи уменьшается и принимает отрицательное значение, что означает превышение цикловой подачи форсункой 3, имеющей большую статическую производительность.

Аналогичные испытания были проведены с комплектом №2 новых форсунок. Наибольшую статическую производительность в этом комплекте имеет форсунка 4. Её клапан открывается раньше и закрывается позже других на 0,1 мс. Результаты расчета приведены на рис. 4. Если неравномерность подачи между форсунками 4 и 2, вычисленная по статической производительности составляла 4,29 %, то с учётом запаздывания на режиме  $\tau_y = 2$  мс она достигает 11,5 %.

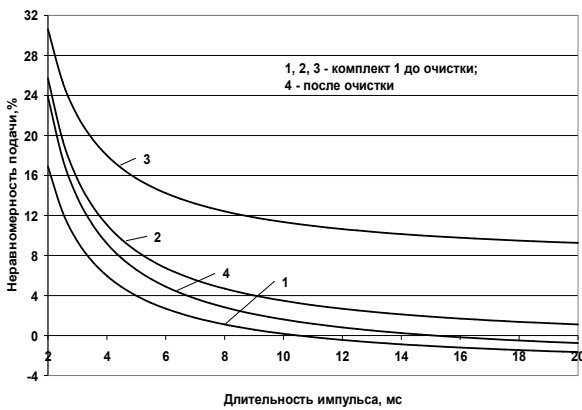


Рис. 3. Неравномерность подачи бензина форсунками комплекта 1 (1, 2, 3 – до очистки, 4 – после очистки форсунок моющей жидкостью)

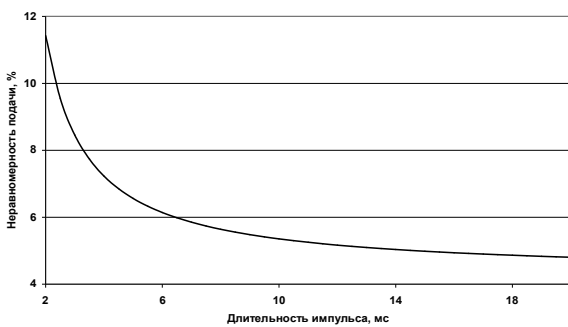


Рис. 4. Неравномерность впрыскивания бензина форсунками комплекта 2

### Модель периодической коррекции неравномерности подачи бензина в процессе эксплуатации

При разработке данной модели принят следующий подход: длительность управляющего импульса  $\tau_y$  изначально формируется в контроллере одинаковая для всех форсунок, а затем в конечной фазе управления корректируется для каждой форсунки с учетом её индивидуальных характеристик. Таким образом, сохраняются основополагающие принципы, используемые в выпущенных ранее и производимых сейчас системах управления: 1) управление топливopодачей с использованием прежних калибровок датчиков, базовой и корректирующей матриц; 2) длительность управляющего импульса  $\tau_y$  определяется по зависимости (3); 3) цикловая подача  $G_{тц}$  определяется по упрощенной зависимости (2).

На основании анализа литературы и результатов эксперимента при построении данной модели приняты следующие допущения:

1) не принимаются во внимание пульсации давления во впускном коллекторе и аккумуляторе топлива, оказывающие влияние на неравномерность цикловой подачи топлива;

2) продолжительность впрыскивания принимается равной продолжительности движения топливной струи;

3) продолжительность впрыскивания не должна превышать длительность управляющего импульса  $\tau_y$ ;

4) максимальная цикловая подача  $G_{тц\max}$  достигается в форсунке, имеющей максимальное проходное сечение распылителя при продолжительности впрыскивания, равной длительности управляющего импульса  $\tau_y$ .

Исходим из общепринятого в двигателестроении принципа определения неравномерности цикловой подачи топлива  $\delta$ , которая является отношением разности максимальной  $G_{mц\max}$  и минимальной  $G_{mц\min}$  цикловых подач форсунками к средней цикловой подаче:

$$\delta = \frac{G_{mц\max} - G_{mц\min}}{G_{mц\text{ср}}} . \quad (5)$$

Средняя цикловая подача

$$G_{mц\text{ср}} = \frac{G_{mц\max} + G_{mц\min}}{2} . \quad (6)$$

Очевидно, что минимальная неравномерность цикловой подачи топлива  $\delta = 0$  достигается при равенстве нулю числителя в уравнении (5).

С учётом уравнения (2) и допущения (пункт 4) максимальная цикловая подача

$$G_{mц\max} = \mu f_{\max} \cdot \tau_y \cdot \sqrt{2\rho_m \cdot \Delta P_m} , \quad (7)$$

где  $\mu f_{\max}$  – максимальное проходное сечение распылителя одной или нескольких форсунок в комплекте.

С учётом принятого в пункте (1) допущения, выражение под корнем в уравнении (7) обеспечивает одинаковые условия для всех форсунок. Следовательно, коррекцию необходимо вводить так, чтобы обеспечить одинаковое для всех форсунок время-сечение.

Коррекцию будем вводить отдельно для каждой форсунки: по проходному сечению распылителя и по длительности управляющего импульса  $\tau_y$ .

Чтобы довести проходное сечение распылителя  $i$  – ой форсунки  $\mu f_i$  до уровня  $\mu f_{\max}$ , необходимо умножить его значение на некоторый коэффициент коррекции  $K_{ki}$ , то есть

$$\mu f_{\max} = K_{ki} \cdot \mu f_i . \quad (8)$$

Назовём это действие статической коррекцией управляющего воздействия на форсунки.

Так как реальная продолжительность впрыскивания меньше длительности управляющего импульса

$\tau_y$ , на величину запаздывания перелета клапана при подъеме и посадке

$$\Delta\tau_{zi} = \tau_1 - \tau_2 , \quad (9)$$

то, чтобы довести продолжительность впрыскивания каждой  $i$  – ой форсункой до уровня  $\tau_y$ , необходимо увеличить длительность исходного управляющего импульса  $\tau_{yi}$  на величину запаздывания перелета её клапана  $\Delta\tau_{zi}$ . Назовём это действие динамической коррекцией. Тогда длительность управляющего импульса  $\tau_{yi}$  данной форсункой

$$\tau_{yi} = \tau_y + \Delta\tau_{zi} . \quad (10)$$

С учётом уравнений (8) и (10) формула (7) приобретает вид

$$G_{mцi} = K_{ki} \cdot \mu f_i \cdot (\tau_{yi} - \Delta\tau_{zi}) \cdot \sqrt{2\rho_m \cdot \Delta P_m} . \quad (11)$$

При микропроцессорном управлении возможна коррекция подачи топлива с учетом нелинейности характеристики форсунок.

#### Выводы:

1. Фазированное впрыскивание обеспечивает равные условия смесеобразования во всех цилиндрах. Но из-за технологического разброса характеристик форсунок существует неравномерность подачи топлива. Если комплект форсунок для двигателя подобран с малыми отклонениями  $\mu f$  (например  $\pm 3\%$ ), а время запаздывания примерно одинаковое, то неравномерность подачи бензина в цилиндры нового двигателя обеспечивается примерно в таких же пределах.

2. Изменение статических и динамических характеристик форсунок в процессе эксплуатации оказывает существенное влияние на неравномерность подачи топлива. Изменение проходного сечения распыливающих отверстий влияет на общую производительность форсунок. Разница в запаздывании перелёта клапанов форсунок в 0,1 мс приводит к росту не-

равномерности на режимах малых подач в 2...2,5 раза.

3. Целесообразно методом проливки определять статическую производительность форсунок, а по движению топливных струй – запаздывание открытия и закрытия клапанов форсунок и периодически во время технического обслуживания автомобиля вводить в блок управления данные о статической и динамической коррекции управляющих импульсов индивидуально для каждой форсунки.

4. Для этого в блоке управления должна быть область перепрограммируемой памяти, доступной для ввода данных через диагностический разъём.

**Список литературы:**

1. *Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей / Ю.И. Будыко, Ю.В. Духнин, В.Э. Коганер и др. – Л.: Машиностроение, 1982. – 144 с.*
2. *Покровский Г.П. Электроника в системах подачи топлива автомобильных двигателей. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 176 с.*
3. *Пинский Ф.А., Давтян Р.И., Черняк Б.Я. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания. Учебное пособие. – М.: Легион-Автодата, 2002. – 136 с.*
4. *Системы управления бензиновыми двигателями. Пер. с нем. Первое рус. изд. – М.: ООО «Книжное изд. «За рулем», 2005, - 480 с.*

УДК 621.431

**О.К. Безюков, д-р техн. наук, В.А. Жуков, канд. техн. наук, О.В. Жукова, асп.**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДВС**

**Введение**

Технический уровень двигателей внутреннего сгорания (ДВС), характеризующий их конкурентно-способность, определяется, главным образом, надежностью и эффективностью, которые закладываются при проектировании, обеспечиваются на стадии производства и проявляются в процессе эксплуатации. В период эксплуатации особенно важное значение имеет использование качественных горюче-смазочных материалов и рабочих жидкостей. Качеству топлив и моторных масел, которое регламентируется соответствующими стандартами, традиционно уделяется большое внимание, при этом вопросы обеспечения и контроля эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей не решены в полной мере.

**Формулирование проблемы**

При решении задачи обеспечения требуемых эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей

необходимо проанализировать условия их работы и сформулировать предъявляемые к ним требования. Этому посвящены работы [1, 2], в которых отмечается, что теплоносители систем охлаждения ДВС должны иметь низкую химическую агрессивность по отношению к основным конструкционным материалам, не иметь склонности к накипеобразованию, расслоению, шламообразованию, в качестве дополнительного требования заявляется возможность целенаправленного воздействия на процессы теплообмена.

В зависимости от температурных условий эксплуатации ДВС, в качестве охлаждающей жидкости используются специально подготовленная вода, или водные растворы этиленгликолей (антифризы).

Вопросам водоподготовки для систем охлаждения ДВС посвящены работы [3, 4], в которых делается вывод, что наиболее эффективным и целесообразным методом улучшения свойств теплоносителей,