

С учетом шести цилиндров крутящий момент будет составлять 10338 Нм для ДВС с центральным КШМ и 23910 Нм для ДВС с КШМ со сдвоенными кинематическими связями. Снижение суммарного крутящего момента для ДВС с центральным КШМ по сравнению с данными теплового расчета обусловлено значительными величинами сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс.

$$\text{Величина ошибки } \Delta = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \cdot 100 \text{ между ре-}$$

зультатами теплового и динамического расчетов составляет 4,6% при вычислении среднего значения крутящего момента за цикл и 0,5% при вычислении суммарного крутящего момента.

Заключение

С учетом допущения об аналогичных значениях параметров теплового расчета для случаев ДВС с центральным КШМ и дезаксиальным КШМ со сдвоенными кинематическими связями и разницы в значениях радиусов кривошипов, КШМ со сдвоенными кинематическими связями имеет некоторое преимущество в динамических показателях по сравнению с центральным КШМ.

Кроме того, сравнительный анализ направлений векторов суммарных сил действующих в

КШМ, и направлений движения поршней на каждом из тактов свидетельствует о более выгодном их сочетании на тактах впуска, рабочего хода и выпуска. На такте сжатия дезаксиальный КШМ со сдвоенными кинематическими связями несколько проигрывает центральному КШМ.

Список литературы:

1. Пат. № 2382891 Российской Федерации, МПК F02B 75/32; Кривошипно-шатунный механизм со сдвоенными кинематическими связями / А. А. Грабовский, А. А. Грабовский; заявитель и патентообладатель А. А. Грабовский. - № 2008110199; Заявлено 17. 03. 2010, Опубликовано 27. 02. 2010 г., Бюл. № 6. 2. Грабовский А.А. Кинематика кривошипно-шатунного механизма с двумя колленчатыми валами/ А.А. Грабовский, Е.С. Аверьянова // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М.: МГТУ «МАМИ». – № 2 (8). – 2009. – 317 с.

Bibliography (transliterated):

1. Pat. № 2382891 Rossijskoj Federacii, MPK F02B 75/32; Krivoshipno-shatunnyj mehanizm so s dvoennymi kinematicheskimi svjazjami / A. A. Grabovskij, A. A. Grabovskij; zajavitel' i patentoobladatel' A. A. Grabovskij. - № 2008110199; Zajavleno 17. 03. 2010, Opubliko-vano 27. 02. 2010 g., Bjul. № 6. 2. Grabovskij A.A. Kine-matika krivoshipno-shatunного mehanizma s dvumja kollenchatymi valami/ A.A. Grabovskij, E.S. Aver'janova // Izvestija MGTU «MAMI». Nauchnyj recenziruemyj zhurnal. – M.: MGTU «MAMI». – № 2 (8). – 2009. – 317 s.

УДК 621.433.2

А.А. Дзюбенко, канд. техн. наук, В.М. Манойло, канд. техн. наук,
М.С. Липинский, инж.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА «PEAK & HOLD» В СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПОДАЧИ ГАЗА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ 6ГЧН 13/14

Введение

На кафедре ДВС ХНАДУ ведутся работы по совершенствованию газового двигателя, конвертированного из дизеля. При проведении стендовых испытаний газового двигателя 6ГЧ 13/14 стало очевидным, что применение классических систем питания газом не обеспечивает необходимого уровня своего технического соответствия и не отвечает требованиям, предъявляемым к системам питания современных силовых агрегатов. Поэтому на данном этапе работы возникла необходимость в создании системы распределенной подачи газа для двигателя 6ГЧН 13/14.

Синтез системы управления подачей газа является комплексной задачей и предусматривает не

только структурную реализацию конкретной схемы. Необходимо учитывать конфигурацию объекта управления и особенности привязки к нему, а также конструкцию исполнительных устройств, особенно когда динамические характеристики последних находятся в сложной зависимости от параметров рабочего процесса.

Так динамика работы электромагнитного донатора газа (ЭДГ) (время полного открытия и закрытия клапана), кроме собственных конструктивных параметров, определяется перепадом давления газа на клапане ЭДГ и параметрами сигнала управления. При этом время запаздывания полного открытия клапана может быть соизмеримо с требуемой длительностью импульса управления. Для уст-

ранения подобного рода недостатков необходима разработка и внедрение мероприятий направленных на улучшение динамики работы клапанов ЭДГ, учета фазового сдвига и распределения сигналов управления электромагнитами.

Анализ публикаций

Улучшение динамики работы ЭДГ достигается разными способами. На этапе разработки – это проектирование якоря (клапана) с минимальной массой, подбор жесткости возвратной пружины, использование обмотки электромагнита с малой индуктивностью [1].

Некоторые фирмы изготавливают дозаторы с запорной тарелкой или, как их еще называют, с компенсацией давления [2], конструктивной особенностью которых является то, что давление газа не создает противодействия движению запорного клапана. Однако такие клапаны подачи газа имеют большую производительность и используются на стационарных двигателях с мощностью 150...500 кВт/цикл.

Наиболее целесообразным методом улучшения динамики ЭДГ, в данном случае, есть форсирование тока при подаче сигнала управления, для обеспечения ускоренного накопления энергии, необходимой для срабатывания клапана, и дальнейшее снижение тока до значения, достаточного для удержания клапана в открытом состоянии. Такой метод управления соленоидами электромагнитных клапанов получил название «Peak & Hold» (с англ. – всплеск и удержание). Наиболее распространенными способами его реализации является система с источником высокого напряжения, в котором снижение тока до значения удержания реализуется путем перехода к широтно-импульсной модуляции, или система с двумя источниками питания – высокой для форсирования тока, и низкой для его удержания [3,4].

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является проверка эффективности конструктивного решения построения системы распределенной подачи газа с реализацией форсирования тока по принципу «Peak & Hold», определение влияния системы на динамические и расходные характеристики ЭДГ, определение общей структуры системы, решение задач привязки к объекту управления и согласование динамических параметров исполнительных устройств с динамикой работы ДВС.

Работа схемы форсирования тока ЭДГ

Для построения системы управления (СУ) распределенной подачи газа была выбрана схема форсирования тока с двумя уровнями питающих напряжений. Фрагмент схемы реализации метода «Peak & Hold» для подключения одного дозатора газа приведен на рис.1. Схема состоит из двух источников питания U_H – высокого и U_L – низкого напряжения, разделительного диода $VD1$, двух электронных ключей $VT1$ – высокого и $VT2$ – низкого напряжения, их драйверов $DA1$ и $DA2$ и катушки электромагнита (ЭМ) дозатора газа. В качестве электронных ключей использованы силовые MOSFET транзисторы.

Низковольтный ключ (НК) играет роль общего коммутатора тока, при его закрытом состоянии ток через обмотку электромагнита не протекает. Драйверы $DA1$ и $DA2$ обеспечивают динамику работы транзисторов, а диод $VD1$ блокирует протекание тока высоковольтного источника через низковольтный.

При подаче входного сигнала управления, коммутация происходит по следующей схеме (рис.2). Сначала открывается НК конкретного дозатора (t_1), что обеспечивает появление тока подмагничивания, потом, не закрывая НК, открывается высоковольтный ключ (ВК) (t_2), это приводит к быстрому нарастанию тока, создаваемого магнитное усилие, необходимое для открытия клапана ЭДГ (t_3). После срабатывания клапана, высоковольтный ключ закрывается (t_4), а низковольтный остается открытым, обеспечивая протекание тока, достаточного для удержания клапана в открытом состоянии. При снятии управляющего сигнала НК закрывается (t_5) и протекание тока в обмотке электромагнита прекращается, накопленная магнитная энергия рассеивается, и клапан закрывается (t_6).

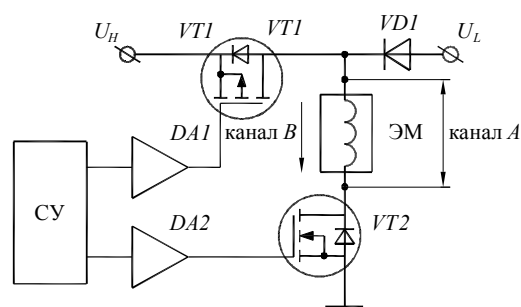


Рис.1. Схема реализации метода «Peak & Hold»

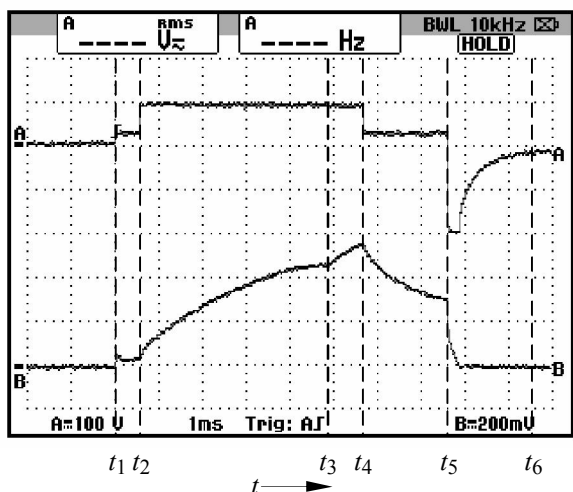


Рис. 2. Осциллограмма напряжения (A) и тока (B) при форсировании тока ЭДГ

Исследование предложенной схемы форсирования тока ЭДГ проводилось на специальном стенде [5]. Технические возможности испытательного безмоторного стенда позволяют определять динамические и расходные характеристики испытуемого ЭДГ. Оценка динамических и расходных показателей опытного образца ЭДГ проводилась при фиксированных частотах вращения коленчатого вала ($n_{ДВС} = 700, 1400, 2100 \text{ мин}^{-1}$), а длительность импульса управления ($t_{упр.имп}$) варьировалась от 6 до 16 мс, с шагом варьирования в 2 мс. При этом оценивалось время начала задержки открытия ($t_{зад.откр}$), полное время открытия ($t_{откр}$), длительность закрытия ($t_{закр}$) и полное время открытого состояния клапана ($t_{откр.клап}$) ЭДГ (рис.3).

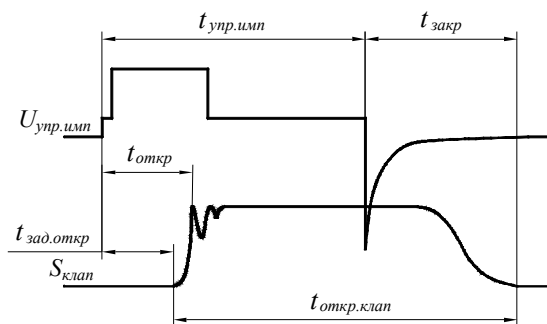


Рис. 3. Диаграмма процесса регистрации временных интервалов работы ЭДГ

Сравнительный анализ метода форсирования тока с импульсом управления $U_H = 90 \text{ В}$, $U_L = 24 \text{ В}$ и импульсом управления постоянного напряжения в 60 В показал уменьшение времени задержки открытия клапана (табл.1), с момента подачи входного сигнала, в среднем на 12 % во всем диапазоне имитируемых режимов работы ДВС. При давлении газа в полости ЭДГ 0,2 МПа оно не превышает 5 мс, что для электромагнитных газовых дозаторов с производительностью свыше 4,5 м³/ч является вполне приемлемым. Разница (Δt) между временем полного открытия клапана ЭДГ ($t_{откр.клап}$) и длительностью импульса управления ($t_{упр.имп}$), при реализации форсирования тока по методу «Peak & Hold», не превышает 2,5 мс и является практически постоянной величиной (табл. 1) в отличие от подачи импульса управления при постоянном напряжении.

Таблица 1. Результаты оценки временных параметров работы ЭДГ в зависимости от способа реализации сигнала управления

$n_{ДВС}$	$t_{упр.имп}$	$U_{имп.упр} = 60В$					$U_{имп.упр} = 90+24В$				
		$t_{зад.откр}$	$t_{откр}$	$t_{закр}$	$t_{откр.клап}$	Δt	$t_{зад.откр}$	$t_{откр}$	$t_{закр}$	$t_{откр.клап}$	Δt
мин^{-1}	мс	мс	мс	мс	мс	мс	мс	мс	мс	мс	мс
700	6	5,6	6,41	4,75	5,77	-0,23	4,56	4,88	6,93	8,56	2,56
	8	5,62	6,43	7,71	10,37	2,37	4,53	4,85	6,63	10,44	2,44
	10	5,65	6,41	7,81	12,29	2,29	4,53	4,87	6,56	12,12	2,12
	12	5,58	6,46	7,86	13,86	1,85	4,52	4,86	6,32	13,72	1,72
	14	6,01	6,79	7,92	15,76	1,76	4,65	5,01	6,52	15,66	1,66
	16	5,93	6,8	8,03	17,78	1,78	4,53	5,03	6,63	17,9	1,9
1400	6	5,61	6,29	2,07	2,26	-3,74	4,51	4,86	6,67	8,07	2,07
	8	5,63	6,46	5,99	8,04	0,04	4,39	4,85	6,79	10,43	2,43
	10	5,58	6,44	7,55	12,27	2,27	4,46	4,87	6,59	11,87	1,87
	12	5,52	6,44	7,63	13,96	1,96	4,51	4,94	6,6	13,76	1,76
	14	5,92	6,69	7,73	15,65	1,65	4,62	5,07	6,27	15,53	1,53
	16	5,95	6,78	7,75	18,30	2,3	4,27	4,74	6,83	18,18	2,18
2100	6	5,75	6,52	1,93	2,43	-3,57	4,48	4,9	6,7	8,08	2,08
	8	5,84	6,61	6,83	9,14	1,14	4,43	4,88	7,09	10,59	2,59
	10	5,84	6,62	7,21	11,72	1,72	4,46	4,86	6,64	12,12	2,12
	12	5,94	6,6	7,42	13,45	1,45	4,46	4,86	6,88	14,07	2,07
	14	6,01	6,8	7,41	15,38	1,38	4,44	4,84	6,76	16,3	2,3
	16	6,13	6,93	7,51	16,98	0,98	4,64	5,08	6,7	17,53	1,53

Характеристики расхода газа через ЭДГ при управлении с форсированием тока носят более стабильный характер, в отличие от управления при постоянном напряжении. Стабилизация характеристик расхода газа позволяет обеспечивать необходимую цикловую подачу на всех нагрузочных и скоростных режимах работы ДВС. Кроме того, показания расходомера при испытаниях стабилизируются и имеют лучшую повторяемость. Фрагмент полученной расходной характеристики ЭДГ приведен на рис.4.

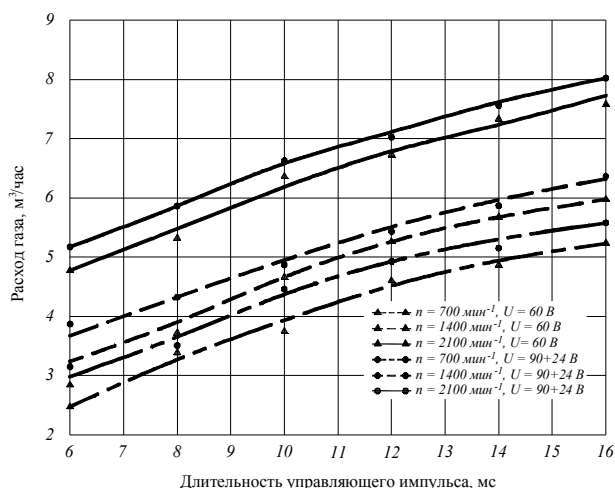


Рис. 4. Зависимость расхода газа через ЭДГ от длительности импульса управления при различных способах управления дозатором

При реализации метода «Peak & Hold» также

наблюдается снижение тепловой нагрузки на катушки электромагнитов дозаторов, что связано с уменьшением накапливаемой энергии и более быстрым ее рассеиванием при выключении.

Структурная схема системы распределенной подачи газа

Структурная схема системы распределенной подачи газа представлена на рис.5, функционально она разделена на два блока: блок управления и блок силовой коммутации. Это позволяет разгрузить микропроцессорное устройство, что должно снизить его стоимость за счет использования двух микропроцессоров с менее высокими требованиями к характеристикам и меньшей периферией, а также упрощения программного обеспечения.

Блок управления отвечает за сбор и обработку информации, получаемую от датчиков, и формирование сигналов управления силовым блоком коммутации в соответствии с газораспределением двигателя. Датчики начала отсчета (ДНО) и угловых импульсов (ДУИ) – индукционные датчики, которые отвечают за синхронизацию системы по специальному маркерному диску, установленному на валу привода топливного насоса высокого давления (ТНВД). Датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ) отображает текущий угол открытия дросселя, который характеризует нагрузку двигателя и вместе с частотой вращения коленчатого вала является опорным параметром для расчета необходимого количества топлива (цикловой подачи).

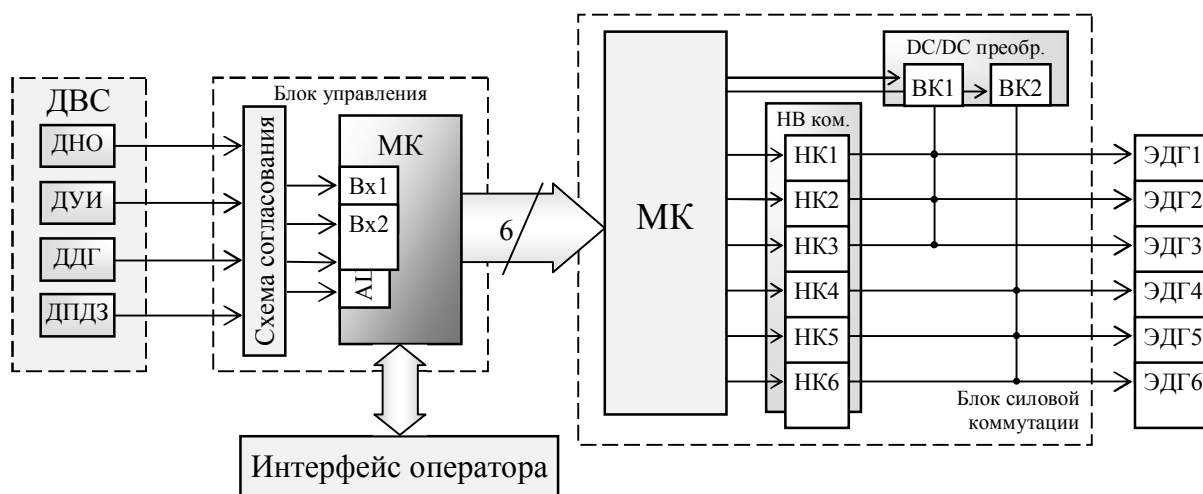


Рис. 5. Структурная схема системы распределенной подачи газа

При работе двигателя на режимах полной нагрузки расход топлива существенным образом возрастает, что приводит к падению суммарного давления газа на входе ЭДГ. По сигналу датчика давления газа (ДДГ) блок управления вводит коррекцию к длительности открытого состояния ЭДГ для обеспечения расчетной цикловой подачи топлива.

Интерфейс оператора позволяет в реальном масштабе времени наблюдать за текущими данными, такими как частота вращения коленчатого вала ДВС, угол открытия дроссельной заслонки, длительность импульса управления, и задавать корректирующее влияние на расчеты необходимого времени открытого состояния ЭДГ.

Блок силовой коммутации распределяет входные сигналы, которые формирует блок управления по каналам ЭДГ, и генерирует сигналы форсирования тока управления электромагнитами. В качестве

источника высокого напряжения служит повышающий DC/DC преобразователь, который стабилизирует выходное напряжение на уровне 90 В.

Во избежание перекрытия сигналов высокого напряжения, подаваемого на дозаторы, управление было разделено на два канала: первый – дозаторы 1, 2 и 3 цилиндров, второй – дозаторы 4, 5 и 6 цилиндров. Каждый канал обслуживается одним ВК и тремя НК по одному на каждый ЭДГ.

Синхронизация системы по угловому положению коленчатого вала

Как было отмечено раньше, синхронизация работы системы подачи газа по цилиндрам происходит при помощи двух датчиков и специального маркерного диска (рис.6), который установлен на фланец привода ТНВД с приводом от распределительного вала.

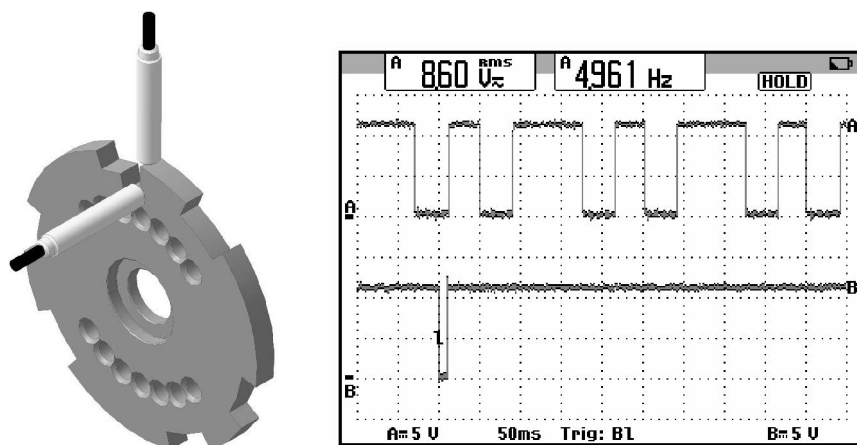


Рис.6. Внешний вид узла синхронизации и осциллограмма сигналов ДНО и ДУИ

Двигатель 6ГЧН 13/14 имеет V-образное расположение цилиндров. При этом углы вспышек между цилиндрами составляют 90°-150°-90°-150°-90°-150°, согласно порядку их работы 1-4-2-5-3-6. [6]. Поэтому при разработке системы зажигания для газового двигателя 6ГЧН 13/14 на базе дизеля, был разработан специальный маркерный диск [7], геометрическая конфигурация которого позволяет использовать его и для формирования сигналов системы подачи газа. Диск имеет шесть секторных вырезов, длина которых отвечает минимальному углу опережения зажигания, а задняя грань (по ходу вращения) фиксирует положение ВМТ соответствующего цилиндра в такте сжатия, и отслеживается продольным датчиком угловых импульсов. Один из вырезов диска имеет углубление, длиной

вдвое меньшей, чем длина основного сектора, который отвечает первому цилиндру, и его положение фиксирует поперечный датчик начала отсчета.

В качестве датчиков использованы индукционные датчики со встроенным формирователем сигнала и выходом типа открытый эмиттер. Такие датчики имеют широкие диапазоны напряжения питания и рабочей температуры и менее чувствительны к механическим вибрациям.

Смещение сигнала ДУИ на 90...120 град.п.к.в. позволяет использовать его и для распределения подачи газа по цилиндрам. При этом подача сигнала на открытие ЭДГ будет отвечать положению поршня конкретного цилиндра в начале такта выпуска, а закрытие определяется необходимой длительностью подачи газа, но не позже,

чем переход из такта впуска в такт сжатия. Подача газа происходит во впускной коллектор в область впускного клапана, и в зависимости от режима работы двигателя будет частично или полностью перекрываться с фазой открытия впускного клапана. Так при работе двигателя на частоте вращения коленчатого вала 2100 мин⁻¹ максимальная продолжительность подачи газа, с учетом задержки на открытие клапана ЭДГ, составит 22 мс.

Выводы

Выполнена проверка эффективности системы распределенной подачи газа с форсированием тока по принципу «Peak & Hold», в которой использована двух-ключевая схема форсирования тока и алгоритм коммутации ключей. Такое конструктивное исполнение системы позволило стабилизировать время задержки открытия клапана и учесть его при формировании сигналов управления. Такой способ управления дал возможность структурно разделить систему на два программно независимых блока и локализовать алгоритмы их работы. Временную привязку системы подачи газа к двигателю было реализовано за счет узла синхронизации системы зажигания путем сдвига фазы сигналов датчиков.

Список литературы:

1. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты / А.Г. Сливинская // пос. для студ. вузов. – М.: «Энергия», 1972. – 248 с. 2. HEINZMANN: Цифровые регуляторы частоты вращения. Клапаны подачи газа: [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: www.heinzmann.com/en/engine-and-turbine-management/download-etm/doc_download/389-manual-megasol-russian 3. Методы впрыска топлива: [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: http://www.avtodoktor.msk.ru/files/fuel_injection_methods.pdf

4. Бudyiko Ю.И. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей / Ю.И. Бudyiko, Ю.В. Духнин, В.Э. Коганер, К.М. Маскенсков // 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1982. – 144 с. 5. Манойло В.М. Стенд для дослідження витратних та динамічних характеристик електромагнітних дозаторів систем живлення газових ДВЗ / В.М. Манойло, О.А. Дзюбенко, М.С. Липинський // Вісник СевНТУ: збірник наукових праць / Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – Вип. 122/2011. – С. 77-81. 6. Двигатели ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 / [Чернышев Г.Д., Ершов М.В., Крашенинников Д.Н. и др.]; под ред. Г.Д. Чернышева. – М.: Машиностроение, 1968 – 230 с. 7. Конструктивные особенности электронного датчика частоты вращения и положения привода вала газового двигателя 6Ч 13/14 / В.М. Манойло, А.И. Воронков, Ю.Н. Бороденко [и др.] // Вестник ХНАДУ: сборник научных трудов. – Х.: ХНАДУ, 2007. – Вып. 38. – С. 327-335.

Bibliography (transliterated):

1. Slivinskaya A.G. Elektromagnitny i postoyannyye magnitny / A.G. Slivinskaya // pos. dlya stud. vuzov. – M.: «Energiya», 1972. – 248 s. 2. HEINZMANN: Tsifrovyye regulyatoryi chastoty vrascheniya. Klapanyy podachi gaza: [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa k istochniku: www.heinzmann.com/en/engine-and-turbine-management/download-etm/doc_download/389-manual-megasol-russian 3. Metodyi vpryska topliva: [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa k istochniku: http://www.avtodoktor.msk.ru/files/fuel_injection_methods.pdf 4. Budyiko Yu.I. Apparatura vpryska legkogo topliva avtomobilnykh dvigateley / Yu.I. Budyiko, Yu.V. Duhnin, V.E. Koganer, K.M. Maskenskov // 2-e izd. pererab. i dop. – L.: Mashinostroenie, 1982. – 144 s. 5. Manoylo V.M. Stend dlya doslIdzhennyya vitratnih ta dinamichnih harakteristik elektromagnitnih dozatoriv sistem zhivlennyya gazovih DVZ / V.M. Manoylo, O.A. Dzyubenko, M.S. Lipinskiy // VIsnik SevNTU: zbrInik naukovih prats / SerIya: MashinopriIadobuduvannya ta trans-port. – Sevastopol.: SevNTU, 2011. – Vip. 122/2011. – S. 77-81. 6. Dvigateli YaMZ-236, YaMZ-238 / [Chernyishev G.D., Ershov M.V., Krashenimnikov D.N. i dr.]; pod red. G.D. Chernyisheva. – M.: Mashino-stroenie, 1968 – 230 s. 7. Konstruktivnyie osobennosti elektronnoogo datchika chastoty vrascheniya i polozheniya privoda vala gazovogo dvigatelya 6Ch 13/14 / V.M. Manoylo, A.I. Voronkov, Yu.N. Borodenko [i dr.] // Vestnik HNADU: sbornik nauchnyih trudov. – H.: HNADU, 2007. – Vyip. 38. – S. 327-335.

УДК 621.436-57

А.В. Грицюк, д-р техн. наук

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПЛАНИРУЕМОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПУСКА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Введение

Основным принципом повышения технического уровня двигателя внутреннего сгорания в отечественном двигателестроении, вплоть до недавнего времени, являлась стендовая доводка параметров рабочего процесса, преимущественно на двух режимах внешней скоростной характеристики – режиме номинальной мощности и режиме мак-

симального крутящего момента. Наличие в секторе автомобильных ДВС дизельных двигателей делает целесообразным расширение области исследования и обеспечения рациональных параметров их работы при пусковых частотах вращения коленчатого вала (КВ). Если ранее технические требования к пусковым качествам дизелей прописывались в общих требованиях к ДВС и строго контролирова-