

наибольшее влияние на процесс топливоподачи (см. табл. 1).

Сформулированы функциональные ограничения и критерии качества – максимальное давление впрыскивания P_a и расход топлива на управление Q_z , которые позволяют оценить эффективность процесса топливоподачи.

Проведенная оптимизация ЭГФ позволила увеличить давление впрыскивания P_a по сравнению с уровнем давления в гидроаккумуляторе $P_{ак}$ на 15 % (в исходной АТС $P_{ак}$ превышает P_a) и снизить расход топлива на управление в 2 раза.

Определена область эффективной работы АТС в зависимости от давления $P_{ак}$. АТС обеспечивает впрыскивание топлива при изменении давления $P_{ак}$ от 20 до 150 МПа.

Список литературы:

1. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. – М.: Легион - Автодата, 2004. – 344 с. 2. Врублевский А.Н., Григорьев А.Л., Грицюк А.В., Денисов А.В., Щербатов Г.А. Особенности математического моделирования гидромеханических процессов ЭГФ // ДВС, №1, 2007, с. 44 – 52. 3. Врублевский А.Н. Математическая модель движения элементов и течения топлива в полостях низкого

давления электрогидравлической форсунки // Автомобильный транспорт – Харьков: ХНАДУ. – 2008. Вып. 22. – с. 109 – 117. 4. Врублевский А.Н., Григорьев А.Л., Бовда А.М. Математическая модель быстродействующего электромагнита для топливной системы ДВС // Автомобильный транспорт № 19. 2006 - с. 138 - 143. 5. Голубков Л.Н., Рябикин Л.М., Кратко А.П. Методика оптимизации параметров топливного насоса автомобильного дизеля // Рабочие процессы автотракторных двигателей и их агрегатов: Тр. МАДИ. – М., 1983. – с. 42 – 51. 6. Морозов Ю.В. Реализация заданных характеристик впрыскивания топлива путем оптимизации конструктивно-регулируемых параметров топливной аппаратуры: Автореферат дисс... докт. техн. наук. - Харьков., ХарГАЖТ. 1998. 32 с. 7. Дизельная топливная аппаратура: Оптимизация процесса впрыска, долговечность деталей и пар трения / В.Е. Горбаневский, В.Г. Кислов, Р.М. Баширов и др. – М.; изд-во МГТУ, 1996. – 138 с. 8. Кулешов А.С., Грехов Л.В. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. – М.: изд-во МГТУ, 2000. – 64 с. 9. Григор'єв О.Л., Розробка універсальних методів гідродинамічного розрахунку, динамічного аналізу та оптимізаційного синтезу основних елементів паливної апаратури дизелів. Автореферат дис... докт. техн. наук. - Харків., НТУ «ХПИ». 2004. 36 с. 10. Соболев И.М. Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука. 1985. – 110 с. 11. Врублевский А.Н., Абрамчук Ф.И., Зенкин Е.Ю. Принципы организации впрыскивания топлива при помощи электрогидравлической форсунки // Автомобильный транспорт, № 21, 2007, с. 119 – 124.

УДК 621.436

А.А. Лисовал, канд. техн. наук

ПОДГОТОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА К РАСЧЕТНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Введение

Главной задачей расчетных исследований систем автоматического регулирования (САР) двигателей внутреннего сгорания является анализ их устойчивости и показателей переходных процессов. Для этого применяют так называемые динамические математические модели, в которых учитывается инерционность САР [1].

В последнее время широко применяется метод составления динамических математических моделей систем автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ) дизелей на основе использования экспериментальных статических характеристик её звеньев. Основные положения этого метода опубликованы в работах В.И. Крутова, и названо квазистатическим подходом для составления математиче-

ских моделей САРЧ [1,2]. Экспериментальные статические характеристики аппроксимируют соответствующими алгебраическими уравнениями, как правило, полиномами первой, второй и третьей степени с одним или несколькими аргументами [3]. Принимается допущение, что характеристики звеньев САРЧ, полученные на установившихся режимах, справедливы и для переходных процессов. Например, зависимость эффективного крутящего момента дизеля от цикловой подачи топлива на установившихся режимах работы такая же, как и во время переходных процессов. Накопленный опыт подтверждает правомерность такого допущения. Полученные таким методом математические модели используются для определения статических характеристик дизеля с наддувом и для расчетных исследований динамики САРЧ на компьютере.

Единая математическая модель САРЧ дизеля не разработана. Каждый исследователь составляет её самостоятельно, ориентируясь на работы предшественников и свой собственный опыт, стараясь достичь наилучшего совпадения расчетов на модели с реальными результатами исследований.

Математическая модель включает в себе систему дифференциальных и алгебраических уравнений. Для оценки динамики САРЧ решают системы уравнений, используя численные методы интегрирования систем дифференциальных уравнений.

Обзор публикаций

В Национальном транспортном университете (НТУ) совместно с Институтом газа НАНУ ведутся работы по созданию микропроцессорного регулятора (МР) для дизелей с газотурбинным наддувом. Принципиальная схема, которая взята за основу при разработке, защищена патентом Украины [4]. Создан экспериментальный образец МР, который проходит этап доработки. Методика разработки электронного

регулятора и результаты испытаний экспериментального образца МР опубликованы в работе [5].

При разработке динамической модели САРЧ дизеля с газотурбинным наддувом и электронным регулятором за основу взяты разработанные математические модели дизелей типа СМД с универсальным механическим регулятором. Особенности такой модели для автомобильного дизеля СМД-31.15 и результаты расчетных исследований опубликованы в работе [6]. Математическая модель в виде программы была реализована на языке Фортран.

Задачи работы

В статье представлены результаты одного из этапов разработки МР дизеля в соответствии с созданной методикой – этапа разработки динамической модели электронного регулятора и проверки её адекватности. Цель работы – сокращение времени проектных работ, уменьшение количества натурных испытаний, замена их расчетными исследованиями на математической модели для получения параметров настройки микропроцессорного блока управления и исполнительного механизма МР. Динамическая модель МР разработана как самостоятельный блок и будет использована в составе динамической математической модели САРЧ дизеля [7]. Расчетные исследования будут направлены на оценку устойчивости системы и анализ показателей качества переходных процессов.

Исходные данные для математической модели МР дизеля

Экспериментальный образец МР разработан для дизеля СМД-23.07 и состоит из электронного блока управления (ЭБУ), который управляет положением органа топливоподачи через исполнительный электромеханический механизм (ИЭМ). На рис.1 показана функциональная схема МР.

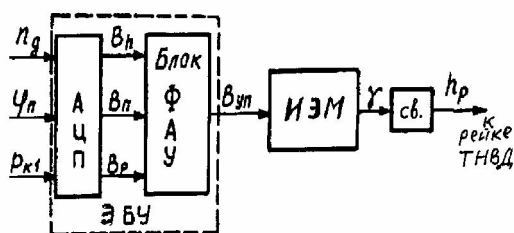


Рис. 1. Функциональная схема МР

Согласно функциональной схеме электронный регулятор рассматривали как два структурных звена системы автоматического регулирования: ЭБУ – безинерционное звено и ИЭМ – инерционное. Блок аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в составе ЭБУ преобразовывает сигналы от датчиков частоты вращения n_d коленчатого вала, положения педали акселератора f_n , давления наддува после компрессора $p_{к1}$ в соответствующие безразмерные цифровые коды B_i , что описано алгебраическими уравнениями.

Блок формирователя алгоритма управления (ФАУ) моделирует работу микроконтроллера (PIC 16F876A фирмы Microchip) практически аналогично разработанному алгоритму управления, отсутствует лишь функция запуска дизеля. В основу математической модели блока ФАУ заложен метод линейной интерполяции в заданной области работы дизеля: верхняя граница – внешняя скоростная характеристика дизеля; нижняя – режим холостого хода; левая – минимальные обороты дизеля под нагрузкой; правая граница – внешняя регуляторная ветвь.

Наши теоретические исследования показали, что обработка сигнала управления $B_{уп}$ происходит в ЭБУ за время до 2 мс, а ИЭМ на обработку этого сигнала затрачивает до 70...90 мс. На основании этого структурное звено ИЭМ в математической модели представлено как инерционное.

Кинематическая связь (св.) преобразовывает угловое перемещение γ вала ИЭМ в линейное перемещение рейки h_p ТНВД. Функциональная схема ИЭМ, который собран на базе деталей и узлов сервопривода, показана на рис.2.

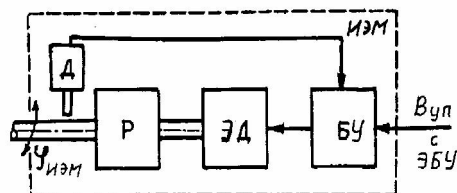


Рис. 2. Функциональная схема ИЭМ

Сервопривод экспериментального образца МР состоит из электродвигателя постоянного тока (ЭД) и шестерёнчатого редуктора (Р) с передаточным числом 335. Сервопривод оборудован обратной связью от датчика (Д) положения выходного вала Р, который подаётся в отдельный блок управления (БУ) ИЭМ. Между БУ ИЭМ и ЭБУ экспериментального МР существует электрическая связь.

Для определения быстродействия собранного ИЭМ производили запись с помощью USB-осциллографа переходных процессов при мгновенной подаче цифрового сигнала в БУ ИЭМ. На валу сервопривода установили шкив диаметром 30 мм, на котором закрепляли грузы весом 50...400 г. Запись осуществляли без фильтрации сигналов. Были получены аperiodические нелинейные переходные процессы, что свидетельствует об инерционности структурного звена ИЭМ. При подъёме веса 400 г вал ИЭМ повернулся на 78° , длительность переходного процесса составила 0,24 с.

Особенности математической модели и проверка её адекватности

Математическую модель непосредственно САРЧ дизеля и её составляющую – модель электронного регулятора, создано на базе математиче-

ского аппарата программного комплекса MATLAB/Simulink. Этот программный комплекс позволяет: составлять алгоритм расчёта практически идентичный функциональной схеме САР; вводить в структурные звенья различные типы нелинейностей, задавать их различными способами; для обеспечения необходимой точности и времени расчёта при интегрировании системы дифференциальных уравнений выбирать соответствующий математический метод; разбивать математическую модель САР на программы-модули, в которые входят структурные звенья (или одно звено) со связями, и независимо от основной программы проводить исследования. Все эти преимущества позволяют сократить время и упростить процедуру отладки алгоритма управления для МР.

Из теории автоматического управления электроприводом известно, что для электродвигателей постоянного тока свойственны механическая, электромагнитная, электростатическая и другие виды инерционности. Наиболее значимые первые два вида инерционности. При разном соотношении постоянных времени T_m (электромеханической) и T_a (электромагнитной) двигателя постоянного тока последний описывают различными типовыми звеньями, которые показаны на рис.3.

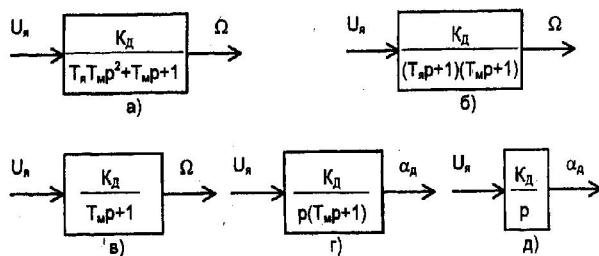


Рис. 3. Типовые звенья электродвигателя постоянного тока с передаточными функциями

Анализ кривых переходных процессов экспериментального ИЭМ на базе сервопривода постоянного тока показал, что их вид близок к экспоненциальной функции. На этом основании постоянной

времени T_a пренебрегли и выбрали для математического описания серводвигателя типовое звено рис.3, в.

Динамическую математическую модель экспериментального электронного регулятора, которая показана на рис.4, разработано и составлено на основе математических блоков системы MATLAB/Simulink.

Входными величинами в динамической математической модели электронного регулятора являются частота вращения n_d коленчатого вала дизеля, относительная координата φ_n положения педали акселератора, давление наддува $p_{к1}$ после компрессора, выходной – координата h_p положения рейки ТНВД.

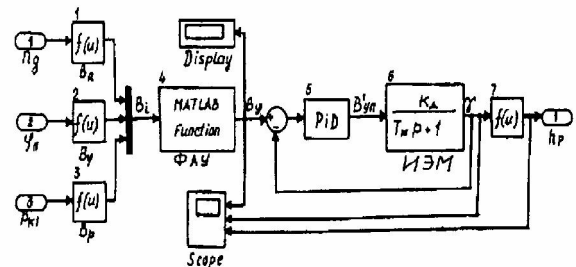


Рис. 4. Динамическая математическая модель экспериментального электронного регулятора

В блоках 1-3 моделируется работа датчиков с АЦП, в блоке 4 на языке программирования MATLAB смоделирована работа блока ФАУ по принципу определения частичных скоростных характеристик методом линейной интерполяции в заранее ограниченной рабочей зоне дизеля. Сигнал из блока 4 как цифровой код $B_{уп}$ поступает в ПИД-регулятор ИЭМ (PID блока 5). После коррекции пропорциональной (П) и интегральной (И) составляющих цифровой сигнал управления $B_{уп}^1$ приходит в передаточную функцию сервопривода (блок 6). Результатом расчёта передаточной функции является угол поворота γ вала ИЭМ. В блоке 7 происходит

перерасчёт γ в координату h_p положения рейки ТНВД в соответствии с кинематической связью между ИЭМ и ТНВД. В сумматор на вход блока 5 подаётся обратная связь из блока 6.

Чтобы модель заработала были определены исходные данные: T_m - электромеханическая постоянная времени электродвигателя постоянного тока; K_d - коэффициент усиления электродвигателя; P - пропорциональная составляющая ПИД-регулятора ИЭМ; I - интегральная составляющая ПИД-регулятора. На стадии проектирования и на основании результатов динамических испытаний экспериментального образца ИЭМ дифференциальной составляющей пренебрегли ($D=0$). Неизвестные величины параметров ИЭМ определяли методом поочередной переборки и одновременного сопоставления результатов расчётов с реальным переходным процессом, границы параметров для «грубой» настройки регулятора ИЭМ: $T_m=0,06...0,25$ с; $K_d=1...10$; $P=0,1...10$; $I=0...5$.

Результаты «точной» настройки параметров регулятора ИЭМ по наибольшему совпадению расчётных переходных процессов с действительным показаны на рис.5.

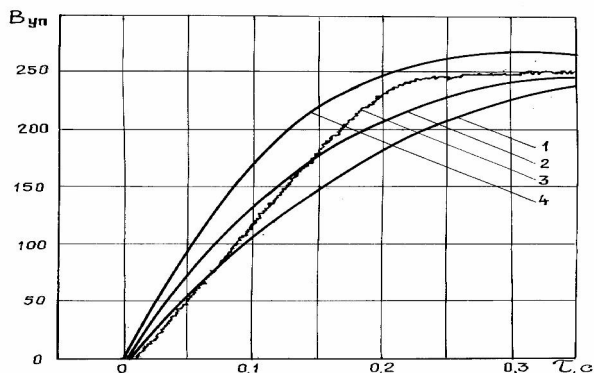


Рис. 5. Переходные процессы ИЭМ: 1,2,4 – расчётные кривые; 3 – экспериментальная кривая при подъёме 400 г груза

Наилучшее совпадение экспериментальной кривой 3 с расчётной 2 получено при параметрах настройки: $T_m=0,12$; $K_d=5$; $P=0,15$; $I=1,8$. Средне-квадратическое отклонение составляет $S_g=14,2$, коэффициент вариации $W_g=8,5\%$.

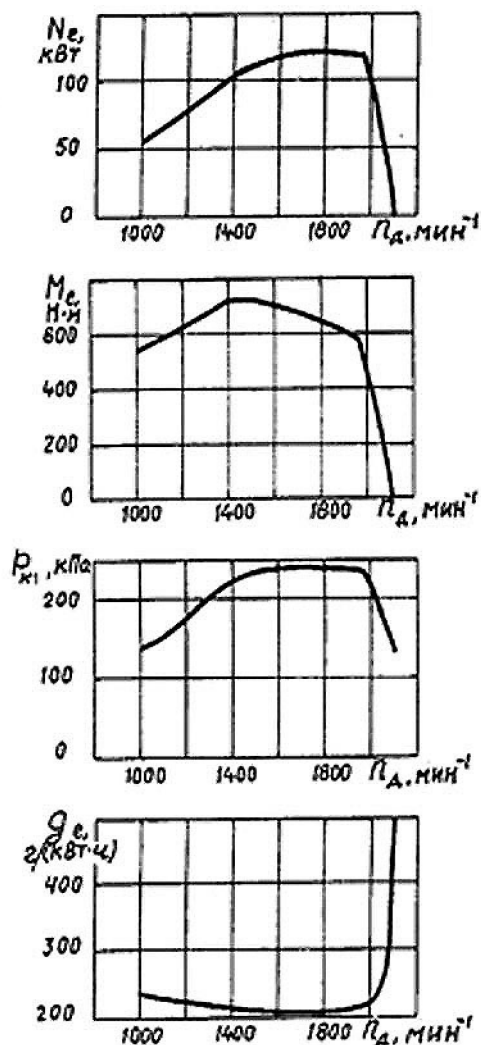


Рис. 6. Расчётные внешние скоростные характеристики дизеля СМД-23.07

После настройки программы-модуля электронного регулятора она была включена в состав динамической математической модели САРЧ дизеля СМД-23.07, которая реализована в той же системе MATLAB/Simulink [7]. Результаты расчёта внешней

скоростної характеристики дизеля СМД-23.07 показані на рис.6. Для дизеля з газотурбинним наддувом скоростні характеристики розраховуємо при використанні той же динамічної математичної моделі [6].

Заключення

Розроблена динамічна математична модель електронного регулятора в програмній середі MATLAB/Simulink, яка моделює роботу експериментального мікропроцесорного регулятора для дизеля з газотурбинним наддувом. Математична модель представляє собою самостійний програмний модуль, який описує структурні зв'язки МР електронний блок управління з заданим алгоритмом і виконавчим механізмом на базі серводвигателя постійного струму. Адекватність математичної моделі перевірялась порівнянням розрахункової кривої перехідного процесу з експериментальною кривою, коефіцієнт варіації склав 8,5%.

УДК: 621.565

Ю.І. Горпинко, канд. техн. наук

КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ ВТОРИННИХ ФАКТОРІВ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОТИСТРУМНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Вступ

Актуальною проблемою криогенних систем, особливо дросельних, є обмеженість досяжної недорекуперації протиструмного теплообмінника використання холоду пари. В ситуаціях малої недорекуперації визначальним чинником для її зменшення постає нейтралізація впливу вторинних ефектів. Незважаючи на значний час вивчення питання, у літературі досі відсутня придатна для інженерних розрахунків методика прогнозування комплексного впливу останніх. Слабко опрацьоване питання впливу

Список літератури:

1. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1979, 615 с.
2. Крутов В.И., Кузьмик П.К. Расчет переходных процессов системы автоматического регулирования дизеля с турбинным наддувом с учетом нелинейных характеристик. – Изд. вузов. Машиностроение, 1969, №10, С. 102-108.
3. Барабашук В.И., Креденцер В.П., Мирошниченко В.И. Планирование эксперимента в технике. – К.: Техніка, 1984. 200 с.
4. Патент № 81160 України на винахід, заявка № а200512272 від 20.12.2005 Дворежимний регулятор частоти обертання двигуна внутрішнього згоряння. Лісовал А.А., Костриця С.В., Майфет Ю.П., Гуменчук М.І., Білай А.В. Опубл.10.02.2007, бюл. № 20.
5. Лісовал А.А. Методика и результаты испытаний микропроцессорного регулятора с программно-измерительным комплексом в его составе //Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. - №2. –С. 15-19.
6. Долганов К.Е. Лісовал А.А., Гуменчук М.И. Улучшение внешней скоростной характеристики дизеля путем автоматического регулирования давления наддува // Авиационно-космическая техника и технология. - 2004. -№ (15).-С.189-193.
7. Лісовал А.А., Костриця С.В., Вербовський О.В. Дизель в системі динамічного моделювання Simulink //Вісник НТУ.- 2007. - №15. – С. 111-116.

вторинних ефектів при зменшенні співвідношення запасів тепла потоків теплообмінного апарату.

У зв'язку з цією проблемою в дослідженнях важко впевнено дати відповідь на два практично важливих, причому не тільки для криогеніки, питання. Наскільки доцільними є спроби підвищити ефективність конкретного теплообмінного апарату без зміни типу його конструкції? Якою є дійсна величина досягнутого в даній конструкції коефіцієнту теплоредачі?