

- использование компрессионной системы для принудительной продувки канала ствола сразу после выстрела.

Литература

1. Жорник А.А. О проблемах загазованности обитаемых отделений танков при стрельбе из основного вооружения. – М.: ВА БТВ, 1996. – 67 с.
2. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. – М.: Оборониздат, 1959.
3. Степанов И.С., Евграфов А.Н., Карунин А.Л. и др. Основы эргономики и дизайна автомобилей и тракторов / Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 256 с.
4. Степанов И.С., Евграфов А.Н., Карунин А.Л. и др. Автомобили и тракторы. Основы эргономики и дизайна / Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 230 с.
5. Медико-технические требования сухопутных войск (МТТ-СВ-86), 1986.
6. 125-мм танковые пушки 2А46М и 2А46М-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Воениздат, 1984. – 192 с.
7. Котровский А.А. и др. Способ снижения загазованности обитаемого отделения военных гусеничных машин. Патент на изобретение РФ № 2393418.
8. Котровский А.А. и др. Способ снижения загазованности обитаемого отделения танка. Патент на изобретение РФ № 2395781.
9. Котровский А.А. и др. Способ удаления пороховых газов из обитаемого отделения танка при стрельбе из основного вооружения. Патент на изобретение РФ № 2420706.
10. Котровский А.А. и др. Способ удаления пороховых газов из обитаемого отделения танка с газотурбинным двигателем. Патент на изобретение РФ № 2420707.

Перспективный электротехнический комплекс управления двигателем внутреннего сгорания автомобилей

д.т.н. Козловский В.Н., к.т.н. Пьянов М.А., к.т.н. Малеев Р.А., к.т.н. Заятров А.В.
ФГБОУ ВПО «ПВГУС», Университет машиностроения, ФГБОУ ВПО «ТГУ»
8 (8482) 48-45-93, kozlovskiy-76@mail.ru, 8 (8482) 54-63-60, avz1988@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена теме разработки и реализации перспективного электротехнического комплекса управления двигателем внутреннего сгорания автомобиля с целью повышения его экологической, экономической эффективности, а также улучшения качества процесса эксплуатации.

Ключевые слова: электротехнический комплекс управления, автомобиль.

Качество функционирования автомобиля определяется рядом технических параметров, существенная часть из которых обеспечивает эффективность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Потребитель в Западной Европе весьма требователен к вопросам топливной экономичности и вредным выбросам. Но при этом автомобиль не должен терять динамические характеристики и гарантировать высокий уровень комфорта.

Серьезной проблемой, препятствующей дальнейшему развитию систем управления силовой установкой автомобиля, является их модульная организация, при которой проявляется эффект децентрализации функций управления.

Использование же современных средств математического имитационного моделирования обеспечивает возможности для проведения комплексных работ, связанных с теоретическим анализом, а также проектированием сложных электротехнических систем автомобилей.

Таким образом, становится актуальной важная научно-техническая задача разработки математических моделей новейших систем определения вязкости моторного масла, регулирования фаз газораспределения двигателя внутреннего сгорания, системы «Старт–стоп» и системы регулирования скорости движения легкового автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости с оптимальными параметрами.

Цель настоящей работы состоит в разработке комплекса математических имитацион-

ных электротехнических систем управления двигателем автомобиля для создания эффективной системы с единым комплексным управлением.

Важным аспектом в решении задач по разработке электротехнических систем управления ДВС является их интеграция в рамках единого комплекса с обеспечением возможности повышения эффективности дальнейших работ, связанных с развитием, а также улучшением их взаимодействия в рамках единой концепции, определяющей общность систем.



Рисунок 1. Концепция архитектуры программного обеспечения КСУД

Представленная на рисунке 1 концепция программного обеспечения контроллера системы управления двигателем (КСУД) позволяет описать взаимосвязи модулей программного обеспечения и их функции, а также иерархию программного обеспечения и привязку к аппаратным ресурсам систем управления ДВС.

Особенностью концепции является возможность её соблюдения как в рамках одного программного продукта на уровне математических моделей с добавлением вставок программного кода, так и на базе проектов. Совместимость достигается за счет преобразований сигналов и типов величин, а проект представляет собой элементы программного кода, полученного с помощью различных инструментов компьютерного моделирования и трансляции его в программные коды.

Система измерения вязкости масла ДВС автомобиля [7, 10, 11].

Динамические характеристики чувствительного элемента, управляемого катушкой с током, описываются системой уравнений:

$$U = iR + L \frac{di}{dt} + i \frac{dl}{dt}; \tag{1}$$

$$P_\delta = -\frac{1}{2} (iN)^2 \frac{d\Lambda_n}{d\delta}; \tag{2}$$

$$P_3 = (m + m') \frac{d^2x}{dt^2} + A \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + B \frac{dx}{dt} + C_x, \tag{3}$$

где: U – напряжение источника питания, i – ток, R – сопротивление обмотки, L – индуктивность катушки, N – число витков обмотки управления, Λ_n – полная магнитная проводимость системы, P_δ – электромагнитное усилие, m – приведенная масса контакт-детали, t – время, x – перемещение, δ – текущее значение зазора, A – коэффициент гидродинамического сопротивления, B – коэффициент вязкого трения, C – жесткость контакт-детали.

Уравнение (3) использует метод присоединенных масс и учитывает эффекты гидроди-

намического сопротивления жидкости при движении контакт–детали и демпфировании тонкой жидкостной пленки в области перекрытия. Здесь к массе чувствительного элемента m прибавляется “присоединенная” масса жидкости, которая находится на поверхности контакт–детали:

$$m = k_{\phi 1} \pi k_{\gamma} \gamma_{\rho} (B/2)^2 \ell_u, \quad (4)$$

где: γ_{ρ} – плотность жидкости, k_{γ} – температурный коэффициент плотности жидкости, B – ширина изгибающейся части, ℓ_u – длина изгибающейся части контакт–детали, $k_{\phi 1}$ – коэффициент формы контакт–детали.

Величины L , P_3 , Λ_n определяются через магнитные проводимости, внешнюю $\Lambda_{\text{вн}}$ и внутреннюю $\Lambda_{\text{вн}}$, параметры обмотки и геркона.

Экспериментальная установка для определения вязкости моторного масла состоит из следующих элементов: источник питания постоянного напряжения 12 В; отладочная плата с микроконтроллером; катушка управления и геркон как чувствительный элемент; макетная плата с подключенным LCD дисплеем и датчиком температуры; вспомогательная макетная плата, на которой располагается схема управления катушкой; соединительные провода.

После моделирования и проведения эксперимента были определены временные параметры срабатывания контакт–деталей при температуре 26°C окружающего воздуха.

Для определения истинного значения вязкости масла был проведен опыт на вискозиметре вибрационного типа SV–10 компании AND. Вязкость чистого моторного масла составила 1230 мПа·с.

С использованием математической модели с полученным значением вязкости было рассчитано время движения контактной группы, которое составило 3114 мкс. Погрешность измерения вязкости составила 3,8 %.

Проведен эксперимент с заполнением контактной пары чувствительного элемента отработанным моторным маслом после его эксплуатации на автомобиле. Пробег легкового автомобиля на данном масле составил 9 тыс. км.

Для определения истинного значения вязкости отработанного масла был проведен опыт на вискозиметре вибрационного типа SV–10. Вязкость чистого моторного масла составила 865 мПа·с.

Используя математическую модель с полученным значением вязкости, было рассчитано время движения контактной группы, которое составило 1663 мкс. Погрешность измерения вязкости составила 4,1 %.

Математическое и имитационное моделирование позволило установить взаимосвязь между геометрическими параметрами чувствительного элемента, силами, действующими на чувствительный элемент, и вязкостью, которая является важным критерием при анализе углеводородных жидкостей. Модель описывает взаимосвязи, позволяет вычислить вязкость жидкости, способствует решению обратной задачи подбора оптимального геометрического соотношения чувствительного элемента и выбора оптимальной схемы управления.

После проведения экспериментов можно прийти к выводу, что метод, основанный на движении пластины в жидкости, позволяет давать количественную и качественную оценку вязкости моторного масла. Результаты измерения времени срабатывания геркона, с его различным заполнением, сходны по величине с результатами, получаемыми в математической модели. Отклонение полученной величины составило не более 4,5 %, что позволяет сделать вывод о применимости математической модели для определения вязкости масла в минимальном объеме в течение небольшого интервала времени.

Система регулирования фазами газораспределения ДВС. В рамках концепции системы регулирования фазами газораспределения в составе контроллера системы управления двигателем (КСУД) разработана математическая имитационная модель, которая позволяет обеспечить оптимальную работу ДВС.

При моделировании системы описан метод синхронизации двигателя с использованием

аппаратных ресурсов процессора, позволяющих делать прерывание по сигналам от датчиков положения коленчатого вала и фаз (ДПКВ или ДФ), а также описан метод повышения точности синхронизации за счет применения дискретных зубьев.

Контроллер управления двигателем посредством изменения скважности управляющего сигнала, подаваемого на клапан OCV, заставляет перемещаться фазер. Система синхронизации позволяет отслеживать положение распредвала, которое используется при расчете отклонения текущего положения распределительного вала (РВ) от уставки, при этом формула расчета отклонения распределительного вала от условного нулевого положения по фронтам РВ:

$$\Delta X = \frac{\Delta T}{T_{zub}} \cdot \alpha_{zub}, \quad (5)$$

где: ΔX – угол между двумя соседними активными фронтами коленчатого вала и распределительного вала; ΔT – интервал времени между двумя соседними активными фронтами коленчатого вала и распределительного вала; T_{zub} – последний измеренный период следования зубьев по коленчатому валу; α_{zub} – угол поворота коленчатого вала, который соответствует одному периоду следования двух соседних зубьев по коленчатому валу без учета выбитых.

Текущее измеренное положение распределительного вала относительно условного нуля, выбранного за систему отсчета, определяется по формуле:

$$X_{n\,izm.} = N_{zub.\,izm.} \cdot \alpha_{zub} + \Delta X, \quad (6)$$

где: $X_{n\,izm.}$ – угол поворота распределительного вала относительно условного нулевого положения до выбранного фронта распределительного вала; $N_{zub.\,izm.}$ – количество зубьев коленчатого вала между условным нулем и выбранным фронтом распределительного вала с учетом пропущенных.

Отклонение от условного нулевого положения – входной параметр для системы управления фазами газораспределения и определяется по формуле:

$$\Delta X_{n\,izm.} = X_n - X_{n\,izm.}, \quad (7)$$

где: $\Delta X_{n\,izm.}$ – отклонение от условного нулевого положения в градусах поворота коленчатого вала; X_n – табличный параметр, который определяет положение фронтов в системе отсчета, связанной с коленчатым валом.

Для определения адаптационных весовых коэффициентов выполняется расчет ошибки для каждого из фронтов распределительного вала:

$$\Delta \Theta_n = X_n - \frac{\sum_{i=0}^n X_{n\,izm.}}{n}, \quad (8)$$

где: $\Delta \Theta_n$ – ошибка отклонения распределительного вала от условного нулевого положения по фронтам; $\sum_{i=0}^n X_{n\,izm.}$ – результат нескольких измерений величины отклонения для каждого из фронтов распределительного вала.

Определение условного нулевого положения выполняется по формуле:

$$X_{n\,apt} = X_n - \Delta \Theta_n, \quad (9)$$

Величина допустимой ошибки определяется по формуле:

$$\Delta \Theta_{n\,max} = \Theta_{crk} + \Theta_{cam} + \Theta_{shk} + \Theta_{pos}, \quad (10)$$

где: Θ_{crk} – допуск на изготовление зубчатого колеса синхронизации коленчатого вала;

Θ_{cam} – допуск на изготовление колеса синхронизации распредвала;

Θ_{shk} – допуск на крутильные колебания коленчатого вала по отношению к распределительному валу;

Θ_{pos} – допуск на погрешность сборки и установки зубчатого колеса.

Адаптированное положение активных фронтов зубчатого колеса распределительного вала находится по формуле:

$$X_{n \text{ ret apted}} = X_n - (\Delta\Theta_n \mp \Delta\Theta_{n \text{ max}}), \quad (11)$$

где: $X_{n \text{ ret apted}}$ – адаптированное крайнее позднее положение.

Для позднего положения ошибка установки ремня ГРМ допустима в небольшом пределе как в раннюю, так и в позднюю сторону.

Адаптированные положения пределов регулирования для раннего упора могут быть найдены из соотношения:

$$X_{n \text{ adv apted}} = X_n - X_{n \text{ reg range}} - (\Delta\Theta_n \mp \Delta\Theta_{n \text{ max}} + \Delta\Theta_{n \text{ reg max}}), \quad (12)$$

где: $\Delta\Theta_{n \text{ reg max}}$ – максимальная ошибка регулирования; $X_{n \text{ reg range}}$ – предел регулирования фаз, определяющий максимальный угол поворота распредвала, при котором обеспечивается отсутствие встречи клапана с поршнем во всем диапазоне управления фазами.

Для оценки качества математической модели были проведены физические эксперименты, позволившие оценить погрешность работы разработанной системы. В рамках работы разработано электронное устройство, позволяющее имитировать сигналы ДПКВ и ДФ и смещение сигнала датчика фаз. Выполнена настройка и проверка математической модели в составе программного обеспечения контроллера управления двигателем.

Система «Старт–стоп» [2, 4, 8, 9, 11]. Система использует ряд штатных компонентов автомобиля, входящих в состав различных систем управления, таких как: электронная система управления двигателем, система комфорта, шасси и других. Основные модули системы связаны между собой интерфейсными шинами для передачи данных. По ним передаются необходимые параметры с заданной частотой обновления и требуемой точностью.

В рамках работы спроектирована модель формирования условия разрешения работы системы. Все условия разделены по приоритетам. Это необходимо для разделения условия по функциональным признакам.

Для обеспечения безопасного для стартера пуска двигателя в режиме «Старт–стоп» применяется специальная модель управления. Запрет прокрутки стартером связан с требованиями ISO к безопасности и качеству работы системы.

При формировании признака «Старт» управление передается функции, которая отвечает за запуск двигателя, разрешение включения топливного насоса, выполняет расчет момента и подачу искры зажигания, включение реле стартера, после чего двигатель запускается.

Экспериментальное исследование времени пуска для контроллера со стандартной прошивкой составило 0,92 с. При реализации системы «Старт-стоп» соответствующий результат составил 0,35 с.

Система регулирования скорости [1, 3, 6, 8, 9, 11]. В состав системы регулирования включены модули, которые отвечают за управление и безопасность. Разработанная модель системы состоит из фильтра скорости; компоненты определения режима регулирования и управления уставкой и типом функции регулирования; компоненты регулирования положения дроссельной заслонки; компоненты приостановки процесса регулирования скорости при изменении номера передачи трансмиссии; компоненты расчета длительности отклонения от заданной скорости; компоненты деактивации.

Для оценки адекватности математической модели выполнен имитационный эксперимент работы системы. Результаты работы показывают, что полученная плавность изменения значения фильтрованной скорости позволяет устранить хлопки дроссельной заслонки и уменьшить вероятность отказа и быстрого износа деталей исполнительных элементов. Запоздывание фильтрованной скорости от действительного значения составляет 150 мс.

Кроме этого, в работе проведено имитационное моделирование режима ограничения

скорости, особенность которого заключается в реализации функции набора скорости до значения уставки под управлением водителя и ограничения ее, несмотря на нажатие педали акселератора, требующее увеличения момента.

Выводы

1. В настоящее время основные разработки сложных комплексов ведутся без привязки к конкретной модификации автомобиля, что приводит к проявлению эффекта децентрализации функций управления. В представленной работе выполнены комплексные исследования по созданию общей концепции, обеспечивающей единый подход в реализации алгоритмов управления, на основе которой в дальнейшем разработаны математические модели систем.
2. Проведенные теоретические исследования показали возможность применения для определения вязкости моторного масла в качестве параметра время движения контактной группы чувствительного элемента.
3. Разработана математическая модель определения вязкости масла, описывающая взаимосвязь между геометрическими параметрами чувствительного элемента, силами, действующими на электрические контакты, и вязкостью жидкости, находящейся между контактами. Предлагаемое устройство определения вязкости позволяет произвести измерения с малой погрешностью за короткий промежуток времени, используя минимальный объем диагностируемой жидкости.
4. Предложена математическая модель системы регулирования фаз газораспределения, позволяющая повысить скорость достижения требуемого момента ДВС автомобиля и расширить диапазон частот вращения двигателя с получением максимального крутящего момента. Экспериментальные исследования показали, что регулированием фаз газораспределения позволило увеличить скорость достижения максимального момента на 12 %.
5. Разработана математическая модель системы «Старт-стоп», позволяющая производить быстрый запуск двигателя с минимальными энергетическими потерями. Используя алгоритмы системы «Старт-стоп», удалось снизить время прокрутки двигателя с 0,9 с до 0,3 с и обеспечить более быстрое определение момента искрообразования и топливоподачи.
6. Предложенная математическая имитационная модель системы регулирования скорости автомобиля позволяет осуществлять управление углом открытия дроссельной заслонки через контроллер системы управления ДВС без применения дополнительных блоков управления, что позволяет обеспечить непосредственное воздействие на исполнительные механизмы.
7. Создание математических имитационных моделей электротехнических систем и их реализация на базе общей концепции построения программно-аппаратного комплекса может позволить производить модернизацию и расширение функций электротехнических систем управления без существенных капиталовложений.

Статья выполнена в рамках работы над грантом Президента РФ по поддержке молодых ученых – докторов наук на 2014 – 2015 гг. № МД-2782.2014.8.

Литература

1. Дебелов В.В. Электронная система регулирования скорости движения автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости / Дебелов В.В., Козловский В.Н., Иванов В.В., Строганов В.Е., Ютт В.Е. // Грузовик. – 2013. – №12. – С. 19 – 23.
2. Дебелов В.В. Электронная система управления автомобиля «Start-Stop» / Дебелов В.В., Козловский В.Н., Ютт В.Е. // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – №2. – С. 6 – 9.
3. Дебелов В.В. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 1. / Дебелов В.В., Козловский В.Н., Строганов В.И., Пьянов М.А. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – №1. – С. 40 – 48.
4. Дебелов В.В. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомоби-

- ля с комбинированной силовой установкой. Часть 2. / Дебелов В.В., Козловский В.Н., Пьянов М.А., Строганов В.И. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – №2. – С. 19 – 28.
5. Дебелов В.В. Моделирование электронной системы VVT управления двигателем легкового автомобиля / Дебелов В.В., Козловский В.Н., Пьянов М.А., Строганов В.И. // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – №4 – С. 5 – 12.
 6. Дебелов В.В. Моделирование электронной системы регулирования скорости движения легкового автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости / Дебелов В.В., Козловский В.Н., Иванов В.В., Строганов В.И. // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2013. – №6. – С. 2 – 7.
 7. Дебелов В.В. Имитационное моделирование электронной системы определения вязкости масла в силовом агрегате автомобиля / Слукин А.М., Дебелов В.В., Козловский В.Н., Иванов В.В. // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – №5. – С. 2 – 5.
 8. Козловский В.Н. Моделирование электрооборудования автомобилей в процессах проектирования и производства: монография / В.Н. Козловский. – ФГБОУ ВПО «ТГУ» – 2009. – 227 с.
 9. Козловский В.Н. Обеспечение качества и надежности электрооборудования автомобилей: монография / В.Н. Козловский. – ФГБОУ ВПО «ТГУ» – 2009. – 274 с.
 10. Инновационные методы исследования качества и надежности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой: монография / В.И. Строганов, В.Н.Козловский. – МАДГТУ «МАДИ» – 2012. – 228 с.
 11. Строганов В.И. Моделирование систем электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой в процессах проектирования и производства: монография / В.И. Строганов, В.Н.Козловский. – МАДГТУ «МАДИ» – 2014. – 264 с.

Пусковое устройство с молекулярным накопителем энергии

к.т.н. доц. Лебедев С.А.¹, Гаврицкий Д.А.¹, к.т.н. доц. Антипенко В.С.²
¹Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище
им. генерала армии В.Ф. Маргелова (РВВДКУ), ²МГУСП (МИИТ)
8-920-638-45-00, S.A.Lebedev73@mail.ru

Аннотация. В статье представлена классификация вспомогательных источников тока и пусковых устройств, сформулированы основные требования к ним. Раскрыта возможность и перспективы использования молекулярных накопителей энергии в составе пусковых устройств. Описано разработанное переносное пусковое устройство ППУ-14 и результаты испытаний.

Ключевые слова: пусковые устройства, классификация, молекулярный накопитель энергии.

Пуск автомобильных двигателей вызывает особые затруднения в зимний период, особенно в холодных климатических зонах, когда требуются значительные трудовые и энергетические затраты, которые весьма продолжительны по времени и могут быть причиной больших простоев автомобиля. Для нормального функционирования автотранспорта в северных районах идут по пути улучшения пусковых качеств двигателей внутреннего сгорания (ДВС) за счет технических характеристик систем электростартерного пуска (СЭП).

Применяемые на автомобилях СЭП постоянно совершенствуются за счет оптимизации конструкций стартеров и применения новых типов необслуживаемых стартерных свинцовых аккумуляторных батарей (АБ) [1 – 4]. В стационарных условиях хранения военной автомобильной техники (ВАТ) для пуска ДВС применяют различные пусковые устройства. Все это позволяет повысить надежность пуска автомобильных двигателей.

Однако в связи с наличием определенных недостатков у стартерных свинцовых АБ проявляется интерес к использованию в СЭП и в составе вспомогательных пусковых