

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ САР ДИЗЕЛЯ С АККУМУЛЯТОРНОЙ ТС В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

В статье описаны: способ создания модели системы автоматического регулирования дизеля с аккумуляторной топливной системой в пространстве состояний и численный метод ее расчета. Полученный инструмент позволяет упростить моделирование переходных процессов в дизеле с целью создания доступных методов анализа и синтеза такой САР, в том числе – с адаптивным алгоритмом регулятора.

Введение

Всякий ДВС, и в частности – дизель, как первичный источник механической энергии, должен обеспечивать производство нужной мощности при изменении величины подключенной к нему нагрузки и/или рабочих условий. Иными словами, двигатель должен быть управляемым объектом. Для выполнения этого важного условия в дизеле служат: контур высокого давления системы топливоподдачи – топливная аппаратура (ТА), и, обязательно, регулятор частоты вращения коленчатого вала. Именно с помощью этих двух узлов обеспечивается точное дозирование цикловой подачи топлива в соответствии режимом двигателя, что и обуславливает устойчивость его работы.

Оба указанных узла имеют разнообразные конструктивные исполнения и принципы действия. Укрупненно их можно классифицировать следующим образом.

Топливная аппаратура:

– гидромеханическая¹, непосредственного действия – наиболее распространенный до конца XX века тип дизельной ТА. Сюда относятся как разделенные, так и неразделенные системы (насосфорсунки). Классификационным признаком этого типа является обеспечение распыливания топлива в цилиндр через запорный орган, открывающийся под действием высокого давления топлива (гидравлически) и закрывающийся механическим устройством (например – пружиной);

– электрогидравлическая², как с непосредственным, так и с аккумуляторным способом впрыскивания. Классификационный признак – открытие и запираение форсунки производится гидравлически, под действием давления топлива, но инициируются эти процессы отдельным клапаном, управляемым электрическим устройством – электромагнитом, пьезоактуатором и др. [1];

– пневматическая, являлась неотъемлемой составной частью так называемого «компрессорного дизеля». Распыливание топлива в цилиндре ею обеспечивалось с помощью сжатого воздуха. Этот тип ТА, так же, как и сам «компрессорный дизель» считается устаревшим еще с 40-х годов прошлого столетия и в настоящее время не выпускается.

Регуляторы частоты вращения:

– механические³, классификационным признаком которых является наличие механического чувствительного элемента, следящего за скоростью вращения коленчатого вала двигателя путем непосредственного кинематического соединения с ним;

– электронные, по сути представляющие собой алгоритм, генерирующий регулирующее воздействие на основе результатов обработки информации, поступающей от соответствующих датчиков;

– пневматические и гидравлические⁴, реагирующие, соответственно, на изменение давления во впускном коллекторе, в масляной магистрали или др.

Сопоставив приведенные в классификации системы, можно увидеть, что они не только взаимосвязаны, но и имеют общий путь эволюции, что проиллюстрировано в виде квадратной матрицы на рис. 1.

Приведенная на рисунке матрица отображает возможные комбинации типов ТА и регуляторов частоты вращения. При этом, что очевидно, использование электрогидравлической ТА в паре с механическим регулятором на настоящем этапе развития науки и технологий нецелесообразно, поскольку сопряжено с неоправданными сложностями преобразования механического сигнала в электрический. В остальном же прослеживается четкий эволюционный путь от появления гидромеханической ТА до усовершенствования и распростране-

¹ Этот тип ТА появился в 1927 году благодаря фирме «Bosch» и на пике своего развития представлял собой конструктивно и технологически достаточно продвинутые технические системы.

² Данный тип ТА призван заменить гидромеханическую, так как последняя не обеспечивает соблюдения жестких норм на токсичность ОГ дизеля.

³ Отличаются высокой надежностью и удобством обслуживания, но могут работать лишь с ТА гидромеханического типа.

⁴ Применяются редко, поскольку не обеспечивают высоких современных требований к качеству и многообразию функций процесса регулирования.

ния электрогидравлической ТА в настоящее время. Причем, каждому из квадрантов, пересекаемых стрелкой направления развития, соответствует определенное сочетание типов систем.

Процесс становления начался с выпущенной фирмой «Bosch» ТА с механическим двухрежимным регулятором [1]. Следующий этап эволюции связан с прогрессом в области электроники и средств автоматизации в начале 80-х годов XX века. Используя электронные схемы для обработки информации и электропривод для исполнительных устройств гидромеханической ТА, появилась возможность повысить точность управления режимами работы двигателей, что положительно сказалось на их экономических и экологических показателях.

Бурное развитие электроники и микропроцессорной техники на рубеже XX-XXI столетий обусловило появление электрогидроуправляемых систем впрыскивания топлива. К ним, помимо аккумуляторных (так называемые «Common Rail»), относятся системы с индивидуальными насосными секциями (UPS) и насос-форсунки (UIS) с электромагнитными управляющими клапанами. Функционирование таких систем обеспечивается специальными алгоритмами, реализованными в электронных блоках управления (ЭБУ) двигателя. Эти алгоритмы включают в себя и электронный регулятор, обеспечивающий требуемое качество работы двигателя не только на установившихся, но и на переходных режимах. Внедрение топливных систем с электронным управлением можно назвать революцией, произошедшей в дизелестроении на рубеже веков. Еще раз подчеркнем, что такой тип ТА возможно использовать только с электронным регулятором.

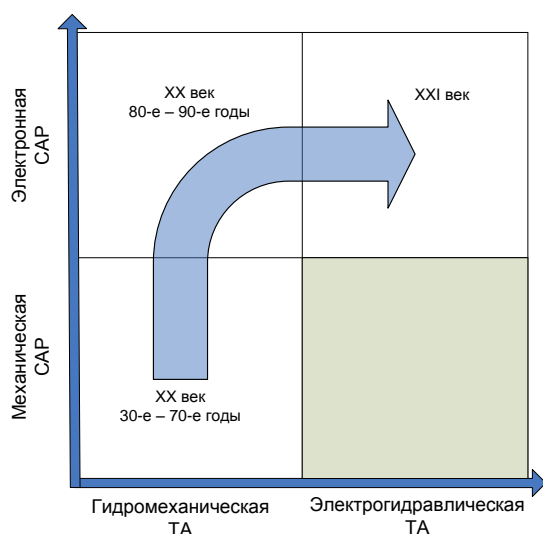


Рис.1. Эволюция способов управления дизелем

Задачи достижения заданного качества переходного процесса и синтеза регулятора, который это качество обеспечивает, взаимосвязаны [2, 3]. В отношении электронного регулятора, его синтез заключается в подборе значений дифференциального k_d , пропорционального k_P и (если есть в составе алгоритма) интегрального k_I коэффициентов при заданных конструктивных параметрах системы автоматического регулирования (САР) с выполнением ограничительных условий по: 1) устойчивости; 2) колебательности; 3) быстродействию.

Значительно облегчить решение задачи разработки схемы и выбора параметров САР может создание ее математической модели с последующим использованием этой модели для оптимизации параметров электронного регулятора по вышеперечисленным факторам.

Так, с математической точки зрения необходимым и достаточным условием *устойчивости* САР является отрицательное значение всех корней ее характеристического полинома общего дифференциального уравнения. *Быстродействие* САР определяется максимальным значением отрицательной вещественной части этих корней. Такой корень называется доминирующим. *Колебательность* определяется максимальным значением отношения мнимой и вещественной частей корней характеристического полинома и тем меньше, чем ближе это отношение к нулю. Если все корни характеристического полинома не имеют мнимой части, то такая система имеет нулевую колебательность, то есть является аperiodической.

Модель в системе дифференциальных уравнений

Математическая модель САР всегда представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих поведение объекта регулирования и регулятора при наличии внешних воздействий. Для анализа в данной работе рассмотрим САР частоты вращения коленчатого вала дизеля 1ДТА, производства КП ХКБД, г. Харьков [4]. Дизель одноцилиндровый, четырехтактный, без наддува, с аккумуляторной топливной системой (ТС) с электрогидравлическими форсунками, снабжен электронным ПД-регулятором с положительной местной обратной связью (МОС) [5-7]. Функциональная схема такой САР приведена на рис. 2.

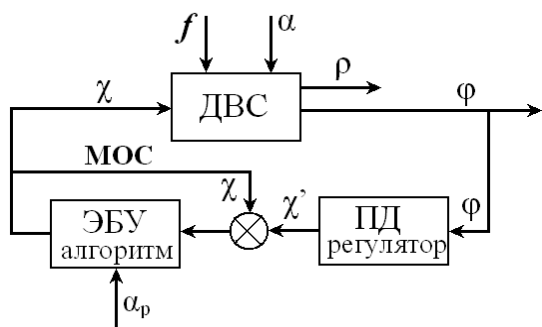


Рис. 2. Функциональная схема САР дизеля с аккумуляторной ТС

Динамические процессы в рассматриваемой САР описываются системой дифференциальных уравнений [7]:

$$\begin{cases} T_d \frac{d\phi}{dt} = \chi - k_d \phi + \theta_p \rho - \theta_n \alpha, \\ T_{AK} \frac{d\rho}{dt} = k_\phi \phi - \chi - k_p \rho - \theta_f f, \\ T_d \frac{d\chi'}{dt} = -(k_\Pi T_d + k_d) \frac{d\phi}{dt} - k_\Pi \phi - \chi', \\ T_d \frac{d\chi}{dt} = \chi' + \alpha_p. \end{cases} \quad (1)$$

В уравнения системы входят следующие величины: T_d – постоянная времени поршневой части двигателя, k_d – коэффициент самовыравнивания поршневой части, θ_p – коэффициент усиления по давлению топлива в аккумуляторе топлива, θ_n – коэффициент усиления по нагрузке, T_{AK} – постоянная времени аккумулятора топлива, k_ϕ – коэффициент усиления по угловой скорости коленчатого вала, k_p – коэффициент самовыравнивания аккумулятора топлива, θ_f – коэффициент усиления по сигналу на клапан аккумулятора топлива, ϕ – относительное изменение угловой скорости коленчатого вала, ρ – относительное изменение давления топлива в аккумуляторе, α – относительное изменение управляющего воздействия, χ – относительное изменение продолжительности сигнала на электромагнит форсунки (величины цикловой подачи топлива), T_d – время ЭБУ (задержка в обработке сигнала).

Следует заметить, что при применении в составе САР ПД-регулятора без МОС она приобретает статизм, и четвертое уравнение системы (1) принимает вид $T_d d\chi/dt = \chi' - \chi + \alpha_p$ [8, 9], но общий вид системы дифференциальных уравнений при этом не изменяется.

В работе [10] была выполнена идентификация математической модели (1), которая заключалась в определении априори неизвестных значений коэф-

фициентов и временных констант, перечисленных выше. Созданная таким образом модель успешно послужила инструментом для исследования и анализа переходных процессов в двигателе 1ДТА, а также синтеза и оптимизации его системы электронного управления. В частности, решение системы (1) аналитическим методом позволило упростить получение зависимости регулируемого параметра ϕ от времени, и на основе этого дало возможность широко исследовать поведение системы при различных ее настройках, которые выражаются в значениях коэффициентов регулятора k_Π , k_d и временной константы T_d [10].

Целью данной статьи является развитие разработанного автором математического описания САР дизеля с аккумуляторной ТС [5-10] для уточнения и усовершенствования методов ее расчета, анализа и синтеза.

Модель в пространстве состояний

Преобразуем систему дифференциальных уравнений (1) (используя обозначение Ньютона для производной по времени $dU/dt = \dot{U}$) в нормализованный вид путем подстановки в правую часть третьего уравнения величины $\dot{\phi}$ из первого уравнения:

$$\begin{cases} \dot{\phi} = -\frac{k_d}{T_d} \phi + \frac{\theta_p}{T_d} \rho + \frac{1}{T_d} \chi - \frac{\theta_n}{T_d} \alpha, \\ \dot{\rho} = \frac{k_\phi}{T_{AK}} \phi - \frac{k_p}{T_{AK}} \rho - \frac{1}{T_{AK}} \chi - \frac{\theta_f}{T_{AK}} f, \\ \dot{\chi}' = \left(\frac{k_d}{T_d} \left(k_\Pi + \frac{k_d}{T_d} \right) - \frac{k_\Pi}{T_d} \right) \phi - \frac{\theta_p}{T_d} \left(k_\Pi + \frac{k_d}{T_d} \right) \rho - \\ - \frac{1}{T_d} \chi' - \frac{1}{T_d} \left(k_\Pi + \frac{k_d}{T_d} \right) \chi + \frac{\theta_n}{T_d} \left(k_\Pi + \frac{k_d}{T_d} \right) \alpha, \\ \dot{\chi} = \frac{1}{T_d} \chi' + \frac{1}{T_d} \alpha_p. \end{cases} \quad (2)$$

Полученная система уравнений может быть представлена в виде модели в пространстве состояний [2]:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t), \\ y(t) &= C \cdot x(t) + D \cdot u(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь A – собственная матрица системы, B – матрица управления, C – матрица выхода, D – матрица прямой связи, $x(t)$ – вектор состояния, $u(t)$ – вектор входа (управления), $y(t)$ – вектор выхода. Первое уравнение модели (3) называется *уравнением состояния*, второе – *уравнением выхода*.

Для рассматриваемой системы дифференциальных уравнений (2) перечисленные матрицы имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-k_d}{T_d} & \frac{\theta_p}{T_d} & 0 & \frac{1}{T_d} \\ \frac{k_\phi}{T_{AK}} & \frac{-k_p}{T_{AK}} & 0 & \frac{-1}{T_{AK}} \\ \frac{k_d}{T_d} \left(k_{\Pi} + \frac{k_d}{T_d} \right) - \frac{k_{\Pi}}{T_d} & \frac{-\theta_p}{T_d} \left(k_{\Pi} + \frac{k_d}{T_d} \right) & \frac{-1}{T_d} & \frac{-1}{T_d} \left(k_{\Pi} + \frac{k_d}{T_d} \right) \\ 0 & 0 & \frac{1}{T_d} & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{-\theta_n}{T_d} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-\theta_f}{T_{AK}} & 0 \\ \frac{\theta_n}{T_d} \left(k_{\Pi} + \frac{k_d}{T_d} \right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{T_d} \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} \varphi \\ \rho \\ \chi' \\ \chi \end{bmatrix}, u(t) = \begin{bmatrix} \alpha \\ f \\ \alpha_p \end{bmatrix}, y(t) = \begin{bmatrix} \varphi \\ \rho \end{bmatrix}, D = 0.$$

Запись математических моделей в форме (3) позволяет исследовать системы разной природы стандартными методами, независимо от смысла переменных состояния [2]. Например, эти уравнения могут быть решены численным интегрированием. Это осуществляется следующим образом.

Уравнение состояния позволяет найти производную, то есть, скорость изменения вектора состояния $x(t)$ в любой момент времени. Тогда значение вектора состояния во время $t + \Delta t$ приближенно определяется формулой

$x(t + \Delta t) \approx x(t) + \dot{x}(t)\Delta t = x(t) + [Ax(t) + Bu(t)]\Delta t$, и его легко вычислить. Зная состояние системы $x(t + \Delta t)$ и сигнал управления $u(t + \Delta t)$, находим выход в тот же момент времени

$$y(t + \Delta t) = C \cdot x(t + \Delta t) + D \cdot u(t + \Delta t).$$

Таким образом, можно приближенно рассчитать выход системы при всех $t > 0$. Конечно, точность расчета будет тем выше, чем меньше шаг интегрирования Δt , однако объем вычислений при этом также увеличится.

Важная деталь – постоянство матриц A , B , C и D не является обязательным условием [2]. То есть, в пространстве состояний можно работать с нелинейными или нестационарными системами. Покажем это на следующем примере.

В рассматриваемой САР время задержки обработки сигнала в ЭБУ T_d есть продолжительность одного рабочего цикла четырехтактного двигателя – $T_d = 120/n$, n – частота вращения коленчатого вала двигателя. Для поля рабочих режимов двигателя 1ДТА от $n_1 = 1000 \text{ мин}^{-1}$ до $n_2 = 4000 \text{ мин}^{-1}$ эту величину можно усреднить по интегральному значению:

$$T_{dcp} = \frac{\int_{n_1}^{n_2} \frac{120}{n} dn}{n_2 - n_1} = 120 \frac{\ln n_2 - \ln n_1}{n_2 - n_1} = 120 \frac{\ln(4000) - \ln(1000)}{4000 - 1000} \approx 0,055 \text{ с.}$$

Но текущее значение частоты вращения $n = n_0 + \varphi n_0$ – величина в переходном процессе переменная. Значит, переменным будет и значение T_d :

$$T_d = \frac{120}{n} = \frac{120}{n_0 + \varphi n_0} = \frac{120}{n_0} \frac{1}{1 + \varphi} = \frac{T_{dcp}}{1 + \varphi} = f(\varphi).$$

Выполненные рассуждения приводят к тому, что рассматриваемая модель становится нелинейной, так как некоторые коэффициенты ее уравнений будут зависимы от одного из параметров состояния – φ .

Учитывая полученные в результате ранее выполненной идентификации численные значения коэффициентов и временных констант двигателя 1ДТА: $T_d = 3,7 \text{ с}$, $k_d = 0,1$, $\theta_p = 0,4$, $T_{AK} = 1 \text{ с}$, $k_\phi = 5$, $k_p = 19$, $\theta_f = -10$, $\theta_n = 1,5$ [10], можно записать собственную матрицу и матрицу управления исследуемой САР в виде:

$$A = \begin{bmatrix} -0,027 & 0,081 & 0 & 0,27 \\ 5 & -19 & 0 & -1 \\ \frac{k_d}{37} + \frac{k_d}{T_d(\varphi)} - k_{\Pi} & \frac{k_{\Pi} + \frac{k_d}{T_d(\varphi)}}{12,3} & \frac{-1}{T_d} & \frac{k_{\Pi} + \frac{k_d}{T_d(\varphi)}}{3,7} \\ 0 & 0 & \frac{1}{T_d} & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} -0,41 \\ 10 \\ \frac{k_{\Pi} + \frac{k_d}{T_d(\varphi)}}{2,44} \\ \frac{1}{T_d(\varphi)} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Решение модели в пространстве состояний (3) с учетом матриц (4) выполнено методом численного интегрирования по методике, изложенной выше.

При этом значения коэффициентов $k_d = 0,28$ и $k_{\Gamma} = 0,4$ приняты произвольно, а шаг интегрирования установлен на величину $\Delta t = 0,01$ с. Результаты расчетов для разных значений вектора управления (входа) приведены на рис. 3. На этих же рисунках приведены результаты аналогичных расчетов, но выполненных путем аналитического решения системы уравнений (2) по методике, подробно изложенной в работе [10].

Анализ полученных результатов показывает, что нелинейность системы, вызванная зависимо-

стью $T_d(\varphi)$, приводит к нарушению симметричности динамических характеристик при противоположных значениях вектора входа (± 1), что невозможно учесть в аналитическом методе решения. Однако, вид графиков подтверждает сделанный в работе [10] вывод о том, что при увеличении значения T_d колебательность системы возрастает (см. значения вектора выхода при отрицательном воздействии на рис. 3).

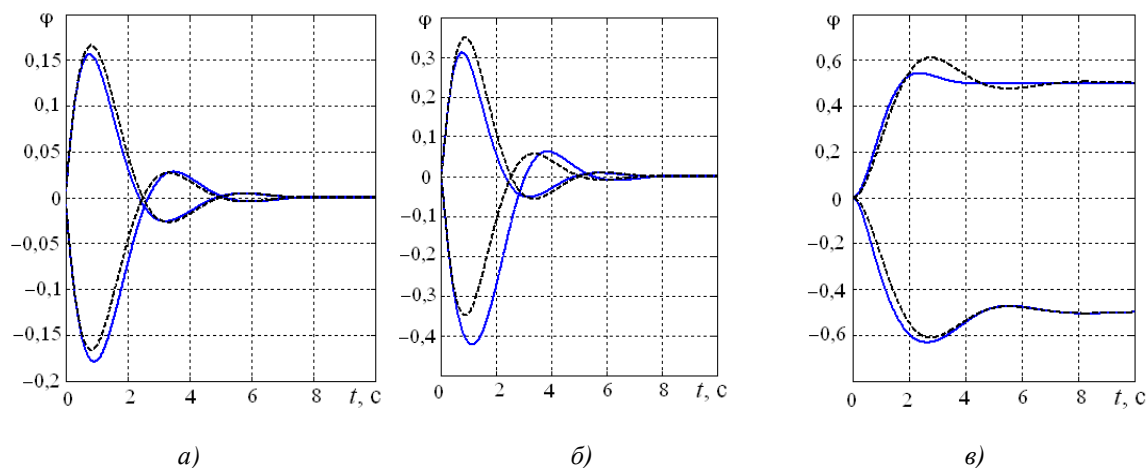


Рис. 3. Выход САР при различных значениях вектора входа:

$$a - u(t) = \begin{bmatrix} \pm 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad b - u(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ \pm 20 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad v - u(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \pm 0,2 \end{bmatrix};$$

- - - аналитическое решение, — численное решение

Кроме того, а это очевидно из состава матриц (4), описанный подход к математическому моделированию динамики САР можно успешно применять для создания (синтеза) адаптивных алгоритмов электронных регуляторов, в которых дифференциальный, пропорциональный и, если есть, интегральный коэффициенты переменны и зависят от параметров выхода системы.

Выводы

Описанные в статье модель системы автоматического регулирования в пространстве состояний и метод ее расчета являются инструментом, позволяющим упростить моделирование переходных процессов в дизеле с аккумуляторной ТС с целью:

а) расширения анализа влияния параметров двигателя и регулятора на качество переходных процессов,

б) упрощения методики исследования устойчивости САР,

в) обеспечения оптимизации качества процесса регулирования на стадии синтеза (проектирования алгоритма) электронного регулятора, в том числе – адаптивного.

Список литературы:

1. Системы управления дизельными двигателями. Пер. с нем. – М.: «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
2. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишон; пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
3. Бесекиерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекиерский, Е.П. Попов. – СПб.: «Профессия», 2004. – 752 с.
4. Грицюк А.В. Исследование двухфазного впрыскивания топлива в высокооборотном малолитражном дизеле серии ДТА / А. В. Грицюк, А. Н. Врублевский, А. А. Прохоренко и др. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 2. – С. 13-18.
5. Прохоренко А.А. Дифференциальное уравнение динамики дизеля с аккумуляторной системой топливоподачи как объекта регулирования / А.А. Прохоренко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – №2. – С. 81-86.
6. Прохоренко А.О. Диференціальне рівняння електронного регулятора для дизеля з аккумуляторною паливною системою / А.О. Прохоренко // Вісник НТУ „ХПІ”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2012. – № 27. – С. 183-189.
7. Прохоренко А.А. Дифференциальное уравнение движения САР дизеля с аккумуляторной топливной системой / А.А. Прохоренко // Вісник Національного транспортного університету. – 2012. – № 25. – С. 138-140.
8. Прохоренко А.А. Статические характеристики электронного

регулятора для дизеля с аккумуляторной топливной системой / А.А. Прохоренко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – № 2. – С. 41-44. 9. Прохоренко А.А. Прецизионный электронный регулятор для дизеля с аккумуляторной топливной системой / А.А. Прохоренко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – №1. – С. 45-48. 10. Прохоренко А.А. Научные принципы разработки систем управления дизелей с электрогидравлической топливной аппаратурой: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.03 / Прохоренко Андрей Алексеевич; – Харьков, 2013. – 317 с.

Bibliography (transliterated):

1. *Sistemy upravlenija dizel'nymi dvigateljami. Per. s nem.* – М.: «KZh1 «Za rulem», 2004. – 480 s. 2. *Dorf R. Sovremennye sistemy upravlenija /R. Dorf, R. Bishop; per. s angl. B.I. Kopylova.* – М.: Laboratorija Bazovuh Znanij, 2002. –832 s. 3. *Besekerskij V.A. Teorija sistem avtomaticheskogo upravlenija / V.A. Besekerskij, E.P. Popov.* – SPb.: «Professija», 2004. – 752 s. 4. *Gricjuk A.V. Issledovanie dvuhfaznogo vpryskivaniya topliva v vysokooborotnom*

malolitrazhnom dizele serii DTA / A. V. Gricjuk, A. N. Vrublevskij, A. A. Prohorenko i dr. // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2010. – № 2. – S. 13-18. 5. *Prohorenko A.A. Differencial'noe uravnenie dinamiki dizelja s akumuljatornoj sistemoj toplivopodachi kak ob#ekta regulirovaniya /A.A. Prohorenko // Dvigateli vnutrennego sgoranija.* – 2011. – №2. – S. 81-86. 6. *Prohorenko A.O. Diferencial'ne rivnannja elektronnoho reguljatora dlja dizelja z akumuljatornoju palivnoju sistemoju / A.O. Prohorenko // Visnik NTU „HPI”. –Harkiv: NTU „HPI”. – 2012. – № 27. – S. 183-189. 7. Prohorenko A.A. Differencial'noe uravnenie dvizhenija SAR dizelja s akumuljatornoj toplivnoj sistemoj /A.A. Prohorenko // Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. – 2012. – № 25. – S. 138-140. 8. Prohorenko A.A. Staticheskie karakteristiki jelektronnoho reguljatora dlja dizelja s akumuljatornoj toplivnoj sistemoj / A.A. Prohorenko // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2012. – № 2. – S. 41-44. 9. Prohorenko A.A. Precizionnyj jelektronnyj reguljator dlja dizelja s akumuljatornoj toplivnoj sistemoj /A.A. Prohorenko // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2012. – №1. – S. 45-48. 10. Prohorenko A.A. Nauchnye principy razrabotki sistem upravlenija dizelej s jelektrogidravlicheskoj toplivnoj apparaturoj: dis. ... doktora tehn. nauk: 05.05.03 / Prohorenko Andrej Alekseevich; – Har'kov, 2013. – 317 s.*

Поступила в редакцию 03.04.2015 г.

Прохоренко Андрей Алексеевич – доктор техн. наук, старший научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: prokhorenko@kpi.kharkov.ua

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ САР ДИЗЕЛЯ З АКУМУЛЯТОРНОЮ ПС У ПРОСТОРІ СТАНІВ

А.О. Прохоренко

У статті описано: спосіб створення моделі системи автоматичного регулювання дизеля з аккумуляторною ПС в просторі станів й чисельний метод її розрахунку. Отриманий інструмент дозволяє спростити моделювання перехідних процесів у дизелі з метою створення доступних методів аналізу та синтезу такої САР, в тому числі – з адаптивним алгоритмом регулятора.

MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DIESEL ENGINE WITH COMMON RAIL SYSTEM IN THE STATE SPACE

A. A. Prokhorenko

This article describes: a way to create a model of the automatic control system of a diesel engine with a common rail system in the state space and a numerical method to calculate it. The resulting tool allows modelling of transient processes in a diesel engine in order to create available methods of analysis and synthesis of a SAR, including SARs with an adaptive algorithm of the regulator.