

мобильного энергетического средства для степной зоны / Г.С.Савельев, О.А.Стребко, А.Д.Давлетов и др. // Труды ВИМ. — М., 1978. — Т. 81. — С. 11—16. 4. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В.В.Кацыгин, Г.С.Горин, А.А.Зенькович и др. — Мн., 1982. 5. Модульные принципы построения самоходных с.-х. агрегатов / Г.А.Петров, В.А.Хвостов, В.В.Золотарев и др. // Тракторы и сельхозмашины. — 1985. — № 4. — С. 7—10. 6. Самоходные сельхозмашины с высвобождаемыми энергетическими средствами / В.А.Хвостов, А.В.Большаков, В.В.Золотарев и др. // Тракторы и сельхозмашины. — 1983. — № 12. — С. 25—28. 7. Я ц к е в и ч В.В. О принципе модульного построения с.-х. мобильных агрегатов // Тракторы и сельхозмашины. — 1982. — № 10. — С. 11—14. 8. Я ц к е в и ч В.В., Л ы с е н к о А.Н. О разработке трактора с колесной формулой 2х2 и жесткостыкуемых агрегатов на его базе // Тракторы и сельхозмашины. — 1984. — № 6. — С. 8—11. 9. К с е н е в и ч И.П., Я ц к е в и ч В.В. О перспективах развития агрегатной унификации и создания модульных энергетических средств // Тракторы и сельхозмашины. — 1987. — № 12. — С. 6—11. 10. Создание самоходных сельхозмашин на базе высвобождаемого энергетического модуля / Г.Д.Петров, В.А.Хвостов, И.Н.Серебряков и др. // Тракторы и сельхозмашины. — 1987—№ 12. — С. 12—17. 11. А н т ы ш е в Н.М. Развитие агрегатной унификации и модульных энергетических средств сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. — 1987. — № 12. — С. 22—25.

УДК 629.113:681.3

В.М.БЕДУНКЕВИЧ, Т.В.ПУЗАНОВА,  
В.А.ШИРОЧЕНКО

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В системах управления автомобилей и тракторов широко применяется гидропривод, что объясняется его высоким быстродействием, энергоемкостью и сравнительно небольшой стоимостью. С ростом сложности систем гидроавтоматики сроки и стоимость их проектирования увеличиваются. В связи с этим возникает необходимость автоматизации процесса их проектирования.

Проектирование системы управления включает следующие основные этапы: синтез структуры, разработку математической модели, анализ создаваемой системы и оптимизацию ее параметров. Синтез структуры представляет существенные сложности, так как он трудно поддается формализации. Поэтому структурные схемы гидравлической системы управления обычно составляются эвристическими методами на основе априорной информации о существующих элементах гидроавтоматики в соответствии с техническим заданием и назначением систем или выбираются схемы, зарекомендовавшие себя в процессе эксплуатации.

Использование уравнения Лагранжа второго рода при моделировании гидросистем позволило формализовать процесс составления математической модели и разработать алгоритм ее автоматизированного формирования непосредственно на ЭВМ. Рассмотрим сущность предложенного подхода к формированию математической модели на примере датчика нагрузки системы автоматического управления переключением передач транспортной машины (рис. 1) [1], который используется для получения сигнала давления, пропор-

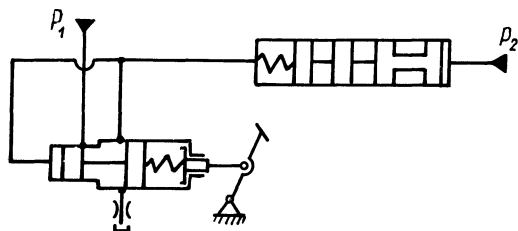


Рис. 1. Гидравлическая схема датчика нагрузки системы автоматического управления переключением передач

ционального положению педали акселератора. На рис. 2 показана его расчетная динамическая схема, которая представлена системой с сосредоточенными параметрами. При рассмотрении процессов в динамической системе принимаются известные допущения [2].

Данная система имеет три степени свободы, которым соответствуют обобщенные координаты  $x_1, x_2, x_3$ . Координаты золотников  $z_2$  и  $z_3$  линейно зависят от соответствующих координат  $x_2$  и  $x_3$ . При составлении уравнений Лагранжа для элементов гидроавтоматики (канала, золотника, пружины и т.п.) записывались отдельно выражения для кинетической и потенциальной энергий, функции Рэля и работы обобщенных сил. В табл. 1 сведены составляющие уравнений Лагранжа, соответствующие некоторым структурным типовым элементам, наиболее широко применяемые в гидросистемах управления. Элементы более сложной конструкции (фрикционные муфты, гидравлические исполнительные цилиндры и др.) можно составлять путем комбинации представленных элементов.

Табл. 1. Составляющие уравнений Лагранжа, соответствующие структурным элементам гидросистем

Элементы гидросистемы	Кинетическая энергия	Потенциальная энергия	Функция Рэля	Работа обобщенных сил
Канал	$T_1 = \frac{A_{i1} x_i^2}{2}$		$\phi_1 = \frac{A_{i2} x_i^2}{2} + \frac{A_{i3} x_i^3}{3} \operatorname{sgn} x_i$	
Золотник (поршень)	$T_2 = \frac{M_j x_j^2}{2} k_j$		$\phi_2 = \frac{r_j (x_j k_j)^2}{2}$	$A_2 = p_j \delta x_j$
Пружина		$P_3 = \int_0^x F(x_i) dx_i$		
Переменное сопротивление			$\phi_4 = \frac{D n z^n}{3} \operatorname{sgn} x_n$	
Насос				$A_5 = p_m \delta x_m$

Продифференцировав выражения, приведенные в таблице, по обобщенным координатам с учетом уравнений связей, получим систему неоднородных дифференциальных уравнений, размерность которой равна числу степеней свободы исследуемой гидросистемы.

Изложенный подход к составлению математической модели позволил создать базу данных типовых элементов конструкции гидравлических систем управления. Таким образом, для получения математической модели достаточно иметь информацию о наборе элементов системы и их топологии в виде расчетной динамической схемы, которая легко может быть получена из принципиальной схемы.

На основе данного подхода разработан комплекс программ применительно к ЭВМ "Искра-226". Он состоит из следующих основных блоков: ввода и хранения информации о структуре системы; преобразования и получения дифференциальных уравнений; формирования рабочей программы для исследования конкретной системы.

Информация о гидросистеме вводится и хранится на диске и в виде двумерных массивов, которые для рассматриваемой системы приведены в табл. 2 и 3.

Заполнение этих массивов производится в соответствии с расчетной динамической схемой с учетом направления координат и обобщенных сил. Знаки в графе "Пружина" соответствуют увеличению или уменьшению их потенциальных энергий, а в графе "Обобщенная сила" — совпадению их направлений с направлением соответствующих координат. Описание топологии учитывает направление координат относительно узлов.

Введенная информация преобразуется и используется для получения части программы в виде операторов алгоритмического языка, отражающих математическую модель гидравлической системы. Рабочая программа собирается из полученной оригинальной части программы и соответствующих подпро-

Табл. 2. Структура гидросистемы

Координаты	Элементы гидросистемы				
	Канал	Переменное сопротивление	Золотник	Пружина	Обобщенная сила
1	1	1	0	0	+1
2	1	0	1	+1	0
3	1	0	1	-1	-1
4	1	0	0	0	0

Табл. 3. Топология гидросистемы

Узлы гидросистемы	Координаты, входящие в узел			
	1	2	3	4
1	+1	-1	-1	-1

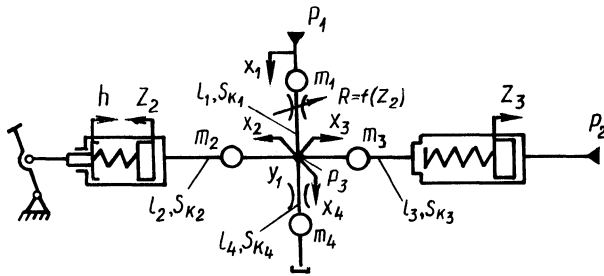


Рис. 2. Динамическая модель датчика нагрузки

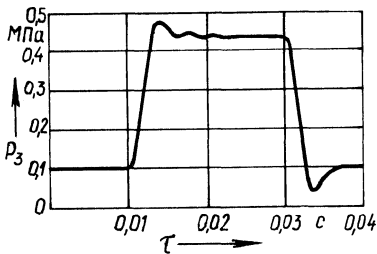
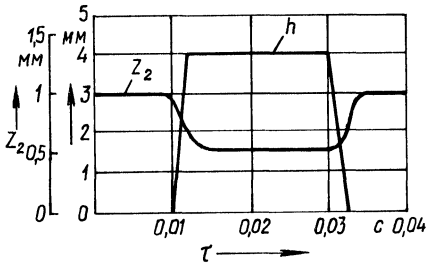


Рис. 3. Динамические характеристики датчика нагрузки

грамм, предусмотренных ее структурой. Результаты расчета представляются в графическом виде, удобном для проведения анализа системы. Объем выводимой информации задается пользователем на стадии ввода описания системы.

В результате расчетов по собранной на ЭВМ программе получают динамические характеристики процессов функционирования всех элементов исследуемой системы. Для приведенной на рис.1 системы основными характеристиками могут служить зависимости изменения во времени давления рабочей жидкости на выходе датчика нагрузки и положения золотника регулятора при ступенчатом изменении положения  $h$  педали акселератора, представленные на рис. 3. По этим характеристикам осуществляется оценка функционирования исследуемого устройства и правильность выбора параметров ее элементов. В качестве критериев обычно используются известные показатели качества: быстродействие, перегулирование, точность регулирования и т.д.

На основании полученных и динамических характеристик гидравлической системы можно осуществить оптимизацию выбранных параметров системы и улучшить показатели ее работы.

Разработанный комплекс программ использовался при проектировании и создании различных систем автоматического управления гидромеханическими трансмиссиями. Автоматизация составления математической модели исследуемых систем позволила значительно сократить затраты времени на разработку рабочих программ, которые определяются временем ввода информации о системе и составляют несколько минут, а также полностью исключить трудоемкий процесс их отладки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматика и автоматизация производственных процессов/ В.П.Автушко, М.П.Бренч, В.В.Будько и др.; Под ред. Н.Ф.Метлюка. — Мн., 1985. 2. М е т л ю к Н.Ф., А в т у ш к о В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. — М., 1980.

УДК 621.43

Е.В.КУЗНЕЦОВ, Е.Е.ТАТАРОВ

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

Одним из перспективных направлений повышения технико-экономических показателей современных тракторов является применение на них двигателей постоянной мощности (ДПМ). Проведенные на полигонах НАТИ испытания доказали неоспоримые преимущества ДПМ по сравнению с обычными дизельными двигателями [1]. В настоящее время на Волгоградском тракторном заводе (ВГТЗ) ведутся работы по созданию моторно-трансмиссионной установки нового трактора с ДПМ типа СМД-86ПМ.

Для детального исследования влияния ДПМ на трансмиссию трактора, а также на работу всего тракторного агрегата необходимо было составить математическую модель данного двигателя, для чего на стендовом оборудовании ВГТЗ проводились испытания двигателя СМД-86ПМ. В результате были получены зависимости изменения крутящего момента на коленчатом валу двигателя ( $M_D$ ) и расхода топлива ( $G_T$ ) как функции от угловой скорости коленчатого вала  $\omega_D$  и положения рычага управления топливным насосом высокого давления (ТНВД)  $\gamma_H$ . Эти зависимости представлены на рис. 1.

Зависимость подачи топлива ТНВД ( $q_H = G_T/\omega_D$ ) двигателя СМД-86ПМ показана на рис. 2, где видны три ярко выраженных участка. Первый горизонтальный участок 1 соответствует максимальной подаче ТНВД, которая равна  $7,2 \cdot 10^{-5}$  кг/рад. В этом случае поводок дозатора ТНВД повернут до упора. Второй участок 2 характеризует работу корректора. С помощью такой характеристики  $q_H$  достигнута постоянная мощность в широком диапазоне угловых скоростей двигателя. Подача ТНВД на втором участке

$$q_H = 1,1 \cdot 10^{-4} - 3,2 \cdot 10^{-7} \omega_D.$$

Третий участок 3 характеристики подачи ТНВД соответствует работе двигателя на регуляторной ветви:

$$q_H = 1,2 \cdot 10^{-4} + 1,4 \cdot 10^{-4} \gamma_H (2 + \gamma_H) - \omega_D (1,3 \cdot 10^{-6} + 9,5 \cdot 10^{-7} \gamma_H).$$