

УДК 621.45.04:62-52

С.А.Петренко, А.В.Вашурин, Ю.А.Савельев

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПНЕЗМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассматривается система автоматизированного моделирования (САМ) нестационарных процессов в сложных разветвленных гидравлических трубопроводных системах, предназначенная для автоматизированного проведения вычислительных экспериментов (ВЭ) при исследовании нестационарных процессов, протекающих в гидросистемах на стадии проектирования, конструирования и отработки ЦС.

САМ рассчитана на автоматизацию основных этапов проведения ВЭ:

1. Подготовка исходных данных для математического моделирования. Подготовка, хранение данных и запуск программ на выполнение при проведении ВЭ осуществляются с помощью среды экранного меню, выполненной в системе *FOXBASE*. Информация о подготовленных моделях хранится в виде баз данных.

2. Синтез расчетных моделей объектов исследования. Осуществляется с помощью специальной программы генерации, формирующей модель из элементарных моделей составляющих ЦС. Элементарные модели описывают такие элементы ЦС, как трубопровод, просель, разветвление трубопроводов, емкость и пр. Элементарные модели и программа генерации выполнены на языке ПАСКАЛЬ и хранятся в специальных модулях, оформленных в виде независимых подпрограмм со списками аргументов.

3. Проведение ВЭ и наблюдение за ходом ВЭ. После формирования

модели ПТС и выбора точек вывода информации проводится ВЭ. Созданное сервисное программное обеспечение позволяет представлять по ходу эксперимента получаемую информацию как в цифровом, так и графическом виде (в форме движущейся кривой).

Графическое представление текущей расчетной информации позволяет оперативно анализировать рассчитываемый переходный процесс.

В случае необходимости пользователь может прервать ВЭ, что не приведет к сбою аппаратных средств и потере полученной на данный момент времени расчетной информации.

Цифровая информация, поступающая с выбранных точек ПТС, помещается в автоматически создаваемые файлы.

4. Обработка и документирование информации, полученной в результате ВЭ. Цифровая информация, получаемая в ходе ВЭ, обрабатывается автоматически после завершения ВЭ и представляется перед пользователем в виде графических зависимостей, характеризующих изменение параметров по времени в выбранных точках ПТС. Получаемые графические зависимости представляются перед пользователем в виде последовательности экранов. Пользователь имеет возможность вывести любой экран во время просмотра на устройство печати в графическом режиме.

В качестве математического метода моделирования принят метод характеристик, позволяющий с достаточной для инженерных расчетов точностью описать нестационарные процессы в магистральных, для которых приемлемо допущение, что скорость распространения малых возмущений (приведенная скорость звука) имеет постоянное значение на каждом участке в рассматриваемом интервале времени.

Для описания нестационарных процессов движения жидкости в гидравлических магистральных используются следующие уравнения:

Уравнение сохранения массы

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + a^2 \frac{\partial (\rho W)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Уравнение сохранения количества движения

$$\frac{\partial (\rho W)}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho}{\partial x} + \lambda \frac{\rho W^2}{2d} - n_x \rho g \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

Характеристическое уравнение

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = \pm a. \quad (3)$$

В этих уравнениях

P, ρ, W - соответственно давление, плотность и скорость движения жидкости;

a - скорость распространения малых возмущений в жидкости;

λ - коэффициент трения;

n_x - коэффициент осевой перегрузки;

g - ускорение свободного падения;

d - диаметр проходного сечения магистрали.

Совместное решение этих уравнений таково:

для прямой характеристики $(dx - a d\tau) = 0$

$$dP + \frac{a}{g\gamma} dG + dx \left[\frac{\lambda G |G|}{2dg\gamma f^2} - n_x \gamma \cos \alpha \right] = 0, \quad (4)$$

для обратной характеристики $(dx + a d\tau) = 0$

$$dP - \frac{a}{g\gamma} dG + dx \left[\frac{\lambda G |G|}{2dg\gamma f^2} - n_x \gamma \cos \alpha \right] = 0,$$

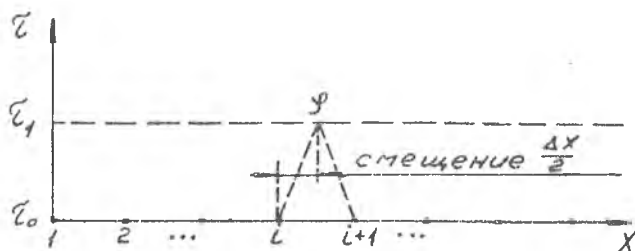
где f - площадь проходного сечения участка;

γ - удельный вес рабочего тела.

Уравнения (4) в соответствии с методом характеристик представляются в разностном виде, ось X разбивается на ряд участков длиной ΔX и $\Delta \tau = \frac{\Delta X}{a}$ при этом ΔX отличаются для участков с различной скоростью распространения малых возмущений, а шаг счета по времени $\Delta \tau$ - величина постоянная для всех участков. Это исключает рассогласование в определении параметров рабочего тела магистрали по времени при расчете точек следующего временного слоя.

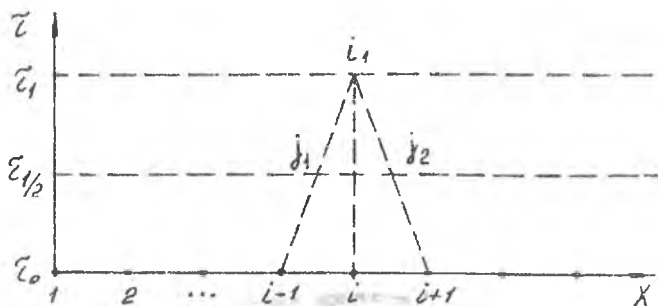
Параметры в точке ψ определяются по параметрам точек i и $i+1$ из аппроксимированных уравнений (4) (рис. 1):

$$\begin{cases} P_\psi - P_i + \frac{a}{g\gamma} (G_\psi - G_i) + \Delta X \left[\frac{\lambda G_i |G_i|}{2dg\gamma f^2} - n_x \gamma \cos \alpha \right] = 0 \\ P_\psi - P_{i+1} - \frac{a}{g\gamma} (G_\psi - G_{i+1}) - \Delta X \left[\frac{\lambda G_{i+1} |G_{i+1}|}{2dg\gamma f^2} - n_x \gamma \cos \alpha \right] = 0. \end{cases} \quad (4')$$



Р и с. 1. Сетка характеристик гидравлической магистрали с фиксированным шагом по времени

Для того, чтобы исключить смещение расчетных точек на временном слое τ_1 относительно слоя τ_0 (см. рис. 1), вводится понятие половинного временного слоя (рис. 2). Это позволит вести расчет динамических параметров в одних и тех же расчетных точках на различных временных слоях.



Р и с. 2. Сетка характеристик гидравлической магистрали с выделением половинного временного слоя

Параметры в точке i_1 вычисляются по параметрам в точках j_1 , j_2 , которые, в свою очередь, вычисляются по значениям в точках $i-1$, i , $i+1$ по уравнениям вида

$$\begin{cases} P_{i_1} - P_{j_1} + \frac{a}{g\tau} (G_{i_1} - G_{j_1}) + \frac{\Delta X}{2} \left[\frac{\lambda G_{j_1} |G_{j_1}|}{2dg\gamma \tau^2} - \gamma n_x \cos \alpha \right] = 0, \\ P_{i_1} - P_{j_2} - \frac{a}{g\tau} (G_{i_1} - G_{j_2}) - \frac{\Delta X}{2} \left[\frac{\lambda G_{j_2} |G_{j_2}|}{2dg\gamma \tau^2} - \gamma n_x \cos \alpha \right] = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Для удобства записи уравнений
(5) введем следующие обозначения:

$$K_i = \frac{a_i}{g_i f_i},$$

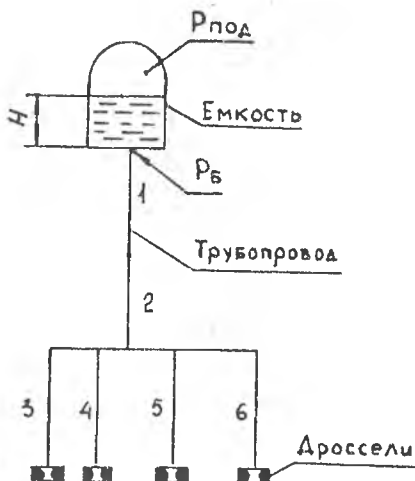
где i - номер участка;

$$T1 = \frac{\Delta X}{2} \frac{\lambda}{2d g \gamma f^2};$$

$$T2 = \frac{\Delta X}{2} n_x \gamma \cos \alpha.$$

Тогда уравнения (5) примут вид

$$\begin{cases} P_{i1} - P_{j1} + K(G_{i1} - G_{j1}) + T1G_{j1}|G_{j1}| - T2 = 0, \\ P_{i1} - P_{j1} - K(G_{i1} - G_{j1}) - T1G_{j2}|G_{j2}| + T2 = 0. \end{cases} \quad (6)$$



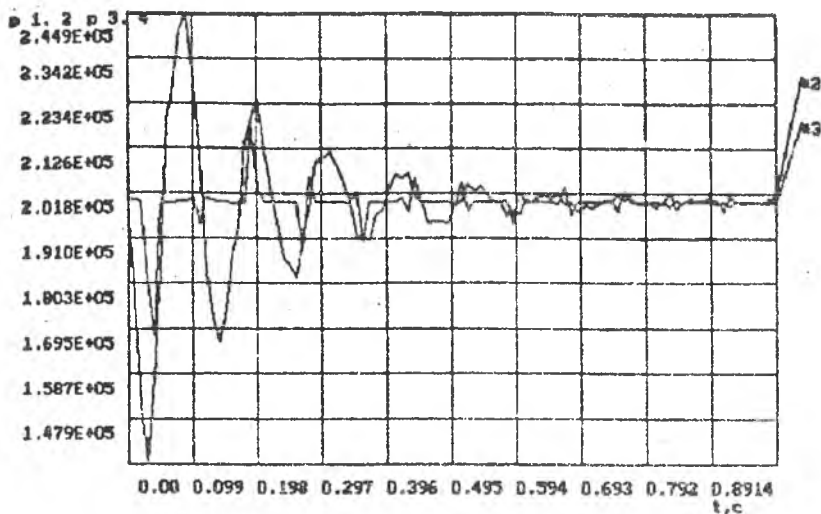
Р и с. 3. Принципиальная схема ГЭС

Совместное решение этих уравнений позволяет вычислить значения P и G в расчетных точках на следующих временных слоях по параметрам предыдущего временного слоя.

В качестве иллюстрирующего примера на рис. 4 приводится графическая зависимость переходного процесса, полученная при исследовании ГЭС, принципиальная схема которой показана на рис. 3.

САМ выполнена как открытая система, позволяющая добавлять новые модули функционального и сервисного обеспечения, и предназначена для работы на машинах типа IBM PC в операционной системе MS DOS.

Практическая ценность рассматриваемого пакета программы САМ и расчета динамических процессов ГЭС заключается в том, что он позволяет в составе САПР предприятия использовать методы математического моделирования специалисту в предметной области, не обязательно являющемуся специалистом в области программирования и численных методов, сократить время подготовки исходных данных и анализа результатов, повысить качество и ускорить процесс проектирования гидросистем силовых и энергетических установок.



Р и с. 4. Переходный процесс в ЦС по давлению в сечениях (1, 2) и (3, 4)

УДК 621.005

В.М.Квасов, Ю.И.Кондрашов

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
В КЛАПАНАХ С ПНЕВМОПРИВОДОМ

Приведены результаты исследований режимов закрытия клапанов при различных скоростях срабатывания. Показана необходимость управления параметрами переходных процессов в клапанах с пневмоприводом реализацией различных конструктивных решений.

Отработка пневмоприводов клананов, определение их оптимальных конструктивных и силовых параметров, создание банка данных по конкретным типам и разновидностям приводов, а также оценка достовернос-

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994