УДК 621.372

Е. В. Одобряев – магистрант кафедры вычислительных систем и сетей
Л. А. Мироновский (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ИЗБЫТОЧНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

В технической диагностике известны различные методы поиска дефектов. Ниже описан способ диагностирования гидравлической системы, основанный на методе избыточных переменных [1] .

На рисунке 1 приведена схема объекта, состоящего из трех последовательно соединенных баков с площадями поперечного сечения a_1, a_2, a_3. Баки соединены между собой трубами с площадями поперечного сечения a_4 и a_5. В первый бак втекает жидкость, а из третьего через трубу поперечного сечения a_6 на высоте a_7 – вытекает. Уровни жидкости в баках соответственно равны x_1, x_2, x_3.

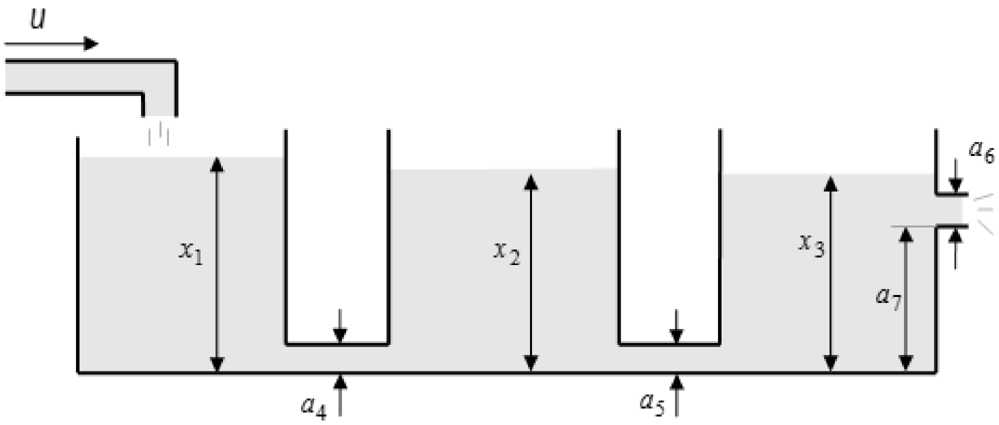

Рис. 1. Схема объекта из трех смежных баков

Математическая модель объекта имеет следующий вид [2]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \dfrac{u}{a_1} - p_1\sqrt{x_1 - x_2}, \\ \dot{x}_2 = p_1\sqrt{x_1 - x_2} - p_2\sqrt{x_2 - x_3}, \\ \dot{x}_3 = p_2\sqrt{x_2 - x_3} - p_3\sqrt{x_3 - a_7}, \end{cases} \tag{1}$$

где с целью сокращения записи введены параметры $p_1 = \dfrac{a_4\sqrt{2G}}{a_1}$, $p_2 = \dfrac{a_5\sqrt{2G}}{a_2}$, $p_3 = \dfrac{a_6\sqrt{2G}}{a_3}$, G – гравитационная постоянная.

В данных уравнениях выражения под корнем могут принимать отрицательные значения. Поэтому при компьютерной реализации будем использовать функции sign (функция знака) и abs (функция модуля). Например: $\sqrt{x_1 - x_2} = sign(x_1 - x_2) \cdot \sqrt{abs(x_1 - x_2)}$.

Также необходимо учесть, что в уравнении для третьего бака при $x_3 < a_7$ жидкость в бак не втекает и не вытекает. Для этого изменим функцию знака следующим образом $\sqrt{x_3 - a_7} = \dfrac{1}{2}(sign(x_3 - a_7) + 1) \cdot \sqrt{abs(x_3 - a_7)}.$

Теперь при $x_3 < a_7$ все слагаемое будет равняться нулю.

Для моделирования данной системы, устройства контроля и дефектов воспользуемся пакетом Simulink, который входит в состав MATLAB. Simulink позволяет моделировать динамические системы в виде структурных схем, собранных из функциональных блоков.

Схема модели состоит из трех интеграторов, охваченных обратными связями с учетом коэффициентов – параметров объекта (высота, диаметр баков и др.). Ограничение максимального уровня воды в баках обеспечивается установкой на интеграторах верхнего предела насыщения.

На рисунке 2 показан результат моделирования системы в Simulink при заданных начальных уровнях жидкости в баках и нулевом внешнем воздействии.

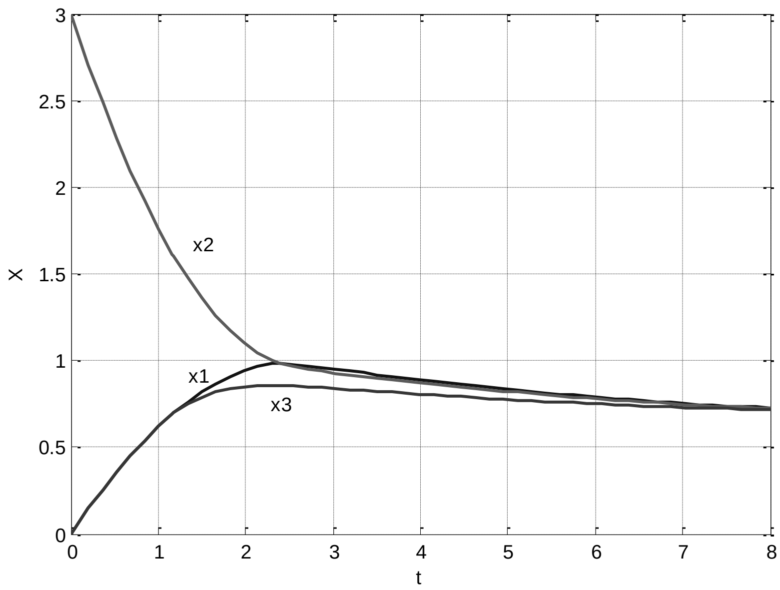

Рис. 2. Результат моделирования системы трех баков

Для контроля и диагностики системы воспользуемся методом избыточных переменных. Суть метода заключается в том, чтобы создать модель объекта минимальной размерности, а затем, сравнивая выходные сигналы модели и реального объекта, делать вывод о наличии неисправностей в объекте – дефектов.

Для получения избыточной переменной сложим уравнения системы (1):

$$\dot{x}_4 = \dot{x}_1 + \dot{x}_2 + \dot{x}_3 = \frac{u}{a_1} - p_3\sqrt{x_3 - a_7}\,, \tag{2}$$

где $\dot{x}_4$ – избыточная переменная.

Контрольный сигнал $\dot{\Delta}$ получим, сравнивая значение избыточной переменной с суммой реальных измеряемых значений:

$$\dot{\Delta} = \dot{x}_1 + \dot{x}_2 + \dot{x}_3 - \dot{x}_4 = 0\,. \tag{3}$$

Данный контрольный сигнал при исправной системе будет всегда равен нулю независимо от вида входной сигнала u. Наличие ненулевого контрольного сигнала будет свидетельствовать о том, что в системе появился дефект. Однако для локализации дефекта и определения его параметров необходимы дополнительные вычисления.

Пусть во втором баке на высоте h образовалось отверстие диаметром S, тогда уравнение для второго бака будет следующее $\dot{x}_2 = p_1\sqrt{x_1 - x_2} - p_2\sqrt{x_2 - x_3} - p_4 S\sqrt{x_2 - h}$, где $p_4 = \dfrac{\sqrt{2G}}{a_2}$.

При этом, как в случае для третьего бака, при $x_2 < h$ необходимо, чтобы функция знака возвращала нуль, т.е. $\sqrt{x_2 - h} = \dfrac{1}{2}(sign(x_2 - h) + 1)\cdot\sqrt{abs(x_2 - h)}.$

Теперь, при вычислении контрольного сигнала по формуле (3) получим сигнал вида:

$$\dot{\Delta} = -p_4 S\sqrt{x_2 - h}\,, \tag{4}$$

где S и h – неизвестные параметры предполагаемого дефекта, подлежащие определению.

В общем случае эти неизвестные можно найти, используя значения в различные моменты времени и решая систему нелинейных алгебраических уравнений. Однако для контроля и диагностики полезным является непрерывное наблюдение за контрольными сигналами.

Запишем уравнение (4) как функцию от времени и сдвинем этот сигнал во времени на период T:

$$\dot{\Delta}(t) = -p_4 S\sqrt{x_2(t) - h}\ ,$$

$$\dot{\Delta}(t+T) = -p_4 S\sqrt{x_2(t-T) - h}\ .$$

Разделим эти сигналы один на другой, и выразим значение h:

$$\frac{\dot{\Delta}(t)}{\dot{\Delta}(t+T)} = \frac{-p_4 S\sqrt{x_2(t)-h}}{-p_4 S\sqrt{x_2(t-T)-h}}\ , \qquad h = \frac{\Omega\cdot x_2(t-T) - x_2(t)}{\Omega - 1}\ , \tag{5}$$

где $\Omega = \left(\dfrac{\dot{\Delta}(t)}{\dot{\Delta}(t-T)}\right)^2$.

Подставляя h в уравнение (3), можно найти S:

$$S = \frac{\dot{\Delta}}{-p_4\sqrt{x_2 - h}}\ . \tag{6}$$

Условие того, что дефект произошел именно в данном баке – постоянное значение *S*. Это можно определить несколькими способами: либо непосредственно наблюдать за значением *S*, либо проверять пропорциональность сигналов в числителе и знаменателе. Если отложить сигналы на осях одного графика, то график будет иметь вид прямой, наклон которой будет определять величину параметра *S*. Также о пропорциональности двух сигналов можно судить по значению коэффициента корреляции.

Моделирование средств контроля и диагностики в Simulink выполнено следующим образом. Блок, реализующий вычисления по формуле (2), генерирует значение избыточной переменной, которая затем поступает на блок сравнения для получения контрольного сигнала. На рисунке 3 показан пример графика контрольного сигнала $\Delta(t)$ при наличии в системе дефекта.

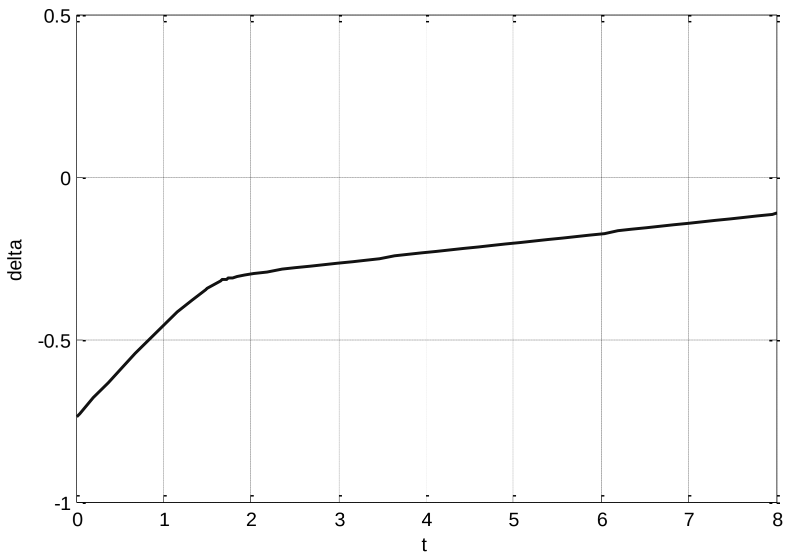

Рис. 3. Контрольный сигнал при наличии в системе дефекта

В случае неисправности производится локализация и определение параметров дефекта. Контрольный сигнал подается на блок определения высоты предполагаемого отверстия, реализующий вычисления по формуле (5). Полученный сигнал подается на блок определения диаметра отверстия, реализующий вычисления по формуле (6). На рисунке 4 показаны графики результатов диагностирования для двух баков системы, один из которых имеет дефект.

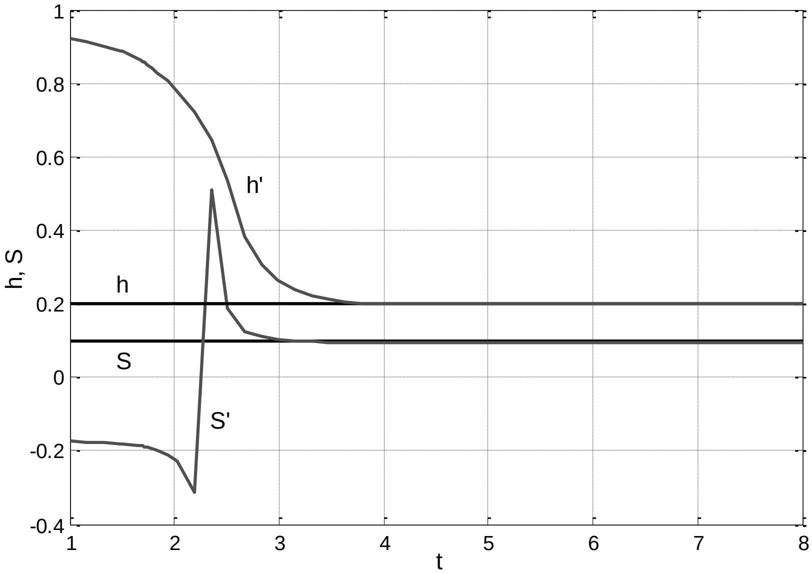

Рис. 4. График результатов диагностики для двух баков

Как видно из графиков, пара значений h-S в отличие от пары h'-S' являются константами, следовательно, можно сделать вывод о наличии отверстия на высоте 0.2 и диаметром 0.1 в соответствующем баке. Таким образом, задача контроля и диагностики оказывается выполненной в полном объеме.

Библиографический список

1. *Мироновский Л.А.* Функциональное диагностирование динамических систем: Научное издание. М.-СПб.: изд. МГУ - ГРИФ, 1998. 256 с.
2. *Patton R.J., Frank P.M., Clark R.N*. Fault diagnosis in dynamic systems. Theory and application/ *Eds* –N.Y.: Prentice Hall, 1989. 594 p.