

Рис. Функциональная схема автоматизированной системы электромагнитной обработки стоков автомоек:

ИКЗ – исходная концентрация загрязнений, МК – устройство управления (программируемый контроллер), ПК – программное обеспечение компьютера; БУ – блок управления; БЭО – блок электромагнитной обработки; ОВ – обработанная вода; ДП – датчик проводимости обработанной воды; ДУ – датчик уровня; ДТ – датчик температуры; ДВП – датчик определения водородного показателя; ЭКвх, ЭКвых – электромагнитные клапаны входа и выхода.

Оператор может управлять технологическим процессом и в ручном режиме, регулировать напряженность электрического и магнитного полей и продолжительность обработки воды. Решение об изменении режима с автоматического на ручной оператор может принять на основании информации с датчиков, отображаемой на мониторе. В нормальном режиме система обеспечивает автоматическое управление технологическим процессом.

В докладе приводится алгоритм управления процессом очистки, сведения об аппаратурной части данной автоматизированной системы. В настоящее время ведется разработка программного обеспечения компьютерного управления.

#### Литература

- 1.Ерофеев, А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов.– 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – 302 с.
- 2.Колесников, В.А., Меньшутина, Н.В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 266 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЯ ВОДЫ В БАКЕ В СИСТЕМЕ SIMULINK

**Система автоматического регулирования уровня воды в баке.** Рассмотрим систему автоматического регулирования, объектом управления в которой является бак с водой (рисунок 1). Управляемая величина – уровень воды  $z$  в баке, измеряемая датчиком – ультразвуковым измерителем уровня. Клапан на притоке оборудован электроприводом. Управляющим воздействием является перемещение штока клапана притока, которым управляет электродвигатель постоянного тока. Возмущающим воздействием на объект управления является перемещение штока клапана на стоке.

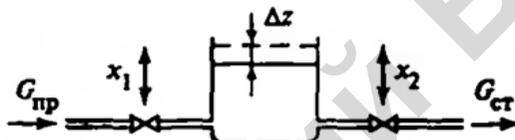


Рисунок 1 – Схематическое изображение САУ уровня воды в баке

Уравнение материального баланса при изменяющихся со временем притоке и стоке при  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{F} \cdot G_{\text{пр}} - \frac{1}{F} \cdot G_{\text{ст}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{пр}}$  и  $G_{\text{ст}}$  – приток и сток жидкости, соответственно (размерность обеих величин –  $\text{м}^3/\text{с}$ ),  $F$  ( $\text{м}^2$ ) – площадь бака.

Расход жидкости на притоке и стоке зависит от перепада давления на клапанах и от степени открытия клапанов и определяется по формулам:

$$G_{\text{пр}} = \alpha_{\text{пр}} \cdot x_1 \cdot \sqrt{p_{\text{пр}}^0 - z}, \quad G_{\text{ст}} = \alpha_{\text{ст}} \cdot x_2 \cdot \sqrt{z - p_{\text{ст}}^0}, \quad (2)$$

где  $p_{\text{пр}}^0$  (м) – давление на притоке перед клапаном (напор, создаваемый насосом), – считаем его значение постоянным, не зависящим от времени;  $p_{\text{ст}}^0$  (м) – давление на стоке после клапана – его значение также считаем постоянным;  $x_1, x_2$  – степень открытия клапана – число от 0 до 1, причем 0 соответствует полностью закрытому клапану, а 1 – полностью открытому;  $\alpha_{\text{пр}}, \alpha_{\text{ст}}$  ( $\text{м}^{2.5}/\text{с}$ ) – постоянные ко-

эффективности, значения которых зависят от площади и формы сечения клапанов притока и стока.

Подставив (2) в (1), получим нелинейное дифференциальное уравнение:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\alpha_{\text{пр}}}{F} \cdot x_1 \cdot \sqrt{p_{\text{пр}}^0 - z} - \frac{\alpha_{\text{ст}}}{F} \cdot x_2 \cdot \sqrt{z - p_{\text{ст}}^0} \quad (3)$$

Это уравнение – динамическое уравнение, оно описывает динамический режим работы рассматриваемого объекта, т.е. связывает изменяющиеся во времени выходную величину рассматриваемого объекта  $z(t)$  и входные величины  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$ . Эти изменения во времени вызваны тем, что расход воды из бака не постоянен, а зависит от нужд потребления воды.

#### **Получение линеаризованного уравнения объекта управления.**

В данной работе уровень воды в баке должен поддерживаться на заданном значении  $z = z^0$ , соответствующем номинальному режиму. В качестве управляемой величины, управляющего и возмущающего воздействий будем рассматривать не абсолютные значения  $z$ ,  $x_1$  и  $x_2$ , а их отклонения  $z^*$ ,  $x_1^*$  и  $x_2^*$  от начальных значений  $z_0$ ,  $x_1^0$  и  $x_2^0$ , соответствующих статическому режиму:

$$z^* = z - z_0, \quad x_1^* = x_1 - x_1^0, \quad x_2^* = x_2 - x_2^0$$

Подставим эти выражения в (3), получим:

$$\frac{dz^*}{dt} = \frac{\alpha_{\text{пр}}}{F} \cdot (x_1^* + x_1^0) \sqrt{p_{\text{пр}}^0 - z^* - z_0} - \frac{\alpha_{\text{ст}}}{F} \cdot (x_2^* + x_2^0) \sqrt{z^* + z_0 - p_{\text{ст}}^0} \quad (4)$$

Производная  $\frac{dz^*}{dt}$  в выражении (4) нелинейно зависит от трех переменных:  $z^*$ ,  $x_1^*$  и  $x_2^*$ . Опишем приблизительно эту нелинейную зависимость с помощью линейного выражения:

$$\frac{dz^*}{dt} = a \cdot z^* + b_1 \cdot x_1^* + b_2 \cdot x_2^* \quad (5)$$

После проведения линеаризации (с использованием МНК) получаем, что значения коэффициентов  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  уравнения (5) вычисляются по формулам:

$$\begin{cases} a = -\frac{\alpha_{\text{пр}}}{F} \cdot x_1^0 \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{p_{\text{пр}}^0 - z_0}} - \frac{\alpha_{\text{ст}}}{F} \cdot x_2^0 \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{z_0 - p_{\text{ст}}^0}}, \\ b_1 = \frac{\alpha_{\text{пр}}}{F} \cdot \sqrt{p_{\text{пр}}^0 - z_0}, \\ b_2 = -\frac{\alpha_{\text{ст}}}{F} \cdot \sqrt{z_0 - p_{\text{ст}}^0}. \end{cases} \quad (6)$$

Для проведения моделирования нужно получить вычислить коэффициенты уравнения (5). Подставим следующие числовые значения: площадь бака –  $F=3.5 \text{ м}^2$ , уровень стабилизации воды в баке –  $z^0=3 \text{ м}$ , давление на притоке –  $p_{\text{пр}}^0=9 \text{ м}$ , давление на стоке –  $p_{\text{ст}}^0=0 \text{ м}$ ,  $\alpha_{\text{пр}}=1/20 \text{ м}^{2.5}/\text{с}$ ;  $\alpha_{\text{ст}}=1/40 \text{ м}^{2.5}/\text{с}$ ,  $x_2^0=0,5$ – открытие клапана на стоке в статическом режиме.

Неизвестное значение открытия клапана на притоке  $x_1^0$ , соответствующее статическому номинальному режиму, найдем из формулы (3), приравняв производную  $\frac{dz^*}{dt}$  нулю. Затем найдем значения коэффициентов  $a, b_1, b_2$ .

Линеаризованное дифференциальное уравнение объекта управления в итоге имеет вид:

$$667* \frac{dz^*}{dt} + z^* = 23,33* x_1^* - 8,27* x_2^*. \quad (7)$$

Передаточные функции объекта управления по управляющему и возмущающему воздействию имеют вид:

$$W_u^i(s) = \frac{z^*(s)}{x_1^*(s)} = \frac{23,33}{667 \cdot s + 1}, \quad (8)$$

$$W_F^i(s) = \frac{z^*(s)}{x_2^*(s)} = -\frac{8,27}{667 \cdot s + 1}. \quad (9)$$

Объект управления является аperiodическим звеном 1-го порядка как по управляющему, так и по возмущающему воздействиям [1].

**Моделирование систем автоматического управления.** При моделировании систем автоматического управления следует выбрать структуру и параметры регулятора, которые обеспечивают значения характеристик системы в соответствии с заданными техническими условиями.

Для исследования динамических систем широко используются пакеты MatLab Simulink фирмы Math Work. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотек стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты [2].

Модель исследуемой САР в системе компьютерного моделирования Simulink, имеет вид, представленный на рисунке 1. Исследуемая система автоматического регулирования, представляет собой систему автоматического управления по ошибке, в которую входят:

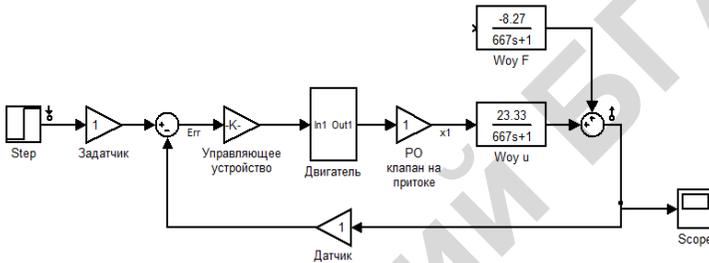


Рисунок 2 – Модель САР в среде Simulink

1) регулятор, состоящий из управляющего устройства (элемент *Gain*), двигателя в виде интегрирующего звена (элемент *integrator*) и передаточной функции (элемент *Transfer Fcn*);

2) исполнительный механизм, состоящий из регулирующего органа – клапана (элемент *Gain*);

3) объект управления, который представлен двумя передаточными функциями (8), (9) – по управляющему и возмущающему воздействиям (элементы *Transfer Fcn*);

4) обратная связь в виде усилителя (элемент *Gain*);

5) также имеются сумматоры, генератор входного воздействия (элемент *Step*) и осциллограф (элемент *Scope*) на выходе.

Коэффициенты преобразования и постоянные времени элементов схемы приняты равными следующим значениям:

$$K_D = K_3 = 1; K_Y = 0.0001; K_{ДВ} = 1; T_{ДВ} = 0.5 \text{ с}; K_{КЛ} = 1$$

В качестве типового входного воздействия рассмотрим ступенчатое воздействие высоты  $u_0 = 0.01$  – такое значение выбрано по-

тому, что степень открытия клапана, как на притоке так и на стоке, может изменяться от 0 до 1, как было отмечено выше.

Для определения переходных функций САР в меню окна редактирования модели в пункте Simulation→Simulation parameters на вкладке Solver в поле Stop time введем время окончания моделирования, и затем выберем пункт Simulation→Start, в результате чего начнется процесс моделирования. Результатом моделирования является график изменения выходного сигнала, отображаемый в окне осциллографа

Для анализа динамических характеристик линейных САУ в Simulink используем компонент – LTI Viewer. Для получения переходной функции исследуемой САУ по задающему воздействию в окне редактирования модели выполним команду меню Tools→Linear analysis. Появившиеся входную (Input point) и выходную (Output point) метки необходимо соединить: Input point – с входом задатчика, а Output point – с выходом объекта управления ОУ. Далее следует перейти в окно LTI Viewer, на самом окне щелкнуть правой кнопкой мыши и во всплывающем меню выбрать пункт Plot types→Step. Для получения графика переходной функции САУ осталось выполнить в этом же окне команду меню Simulink→Get Linearizes Model. В результате в окне LTI Viewer появится график переходной функции.

График переходной функции САР по задающему воздействию показан на рисунке 3 а), по возмущающему – на рисунке 3 б).

По полученному графику так же легко можно найти показатели качества регулирования САР. Для этого на свободном пространстве окна LTI Viewer с полученным графиком нужно нажать правую клавишу мыши и во всплывающем меню выбрать последовательно пункты Characteristics→Peak Response (максимальная амплитуда) для определения перерегулирования, Settling Time для определения времени регулирования и Steady State для определения установившегося значения. На графике будут отмечены соответствующие точки, а при наведении указателя мыши на данную точку появится всплывающая подсказка с числовой информацией.

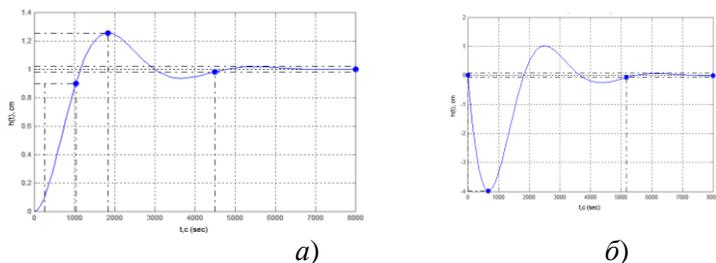


Рисунок 3 – Переходная функция САР по задающему (а) и возмущающему (б) воздействию.

Для анализа рассматриваемой системы следует изменять параметры схемы и по измененным графикам переходных процессов определять значения показателей качества регулирования. Полученную зависимость показателей качества от значений параметров регулятора можно использовать для синтеза системы с требуемыми значениями показателей.

#### Литература

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.

3. Андриевский Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков – СПб.: Наука, 1999. – 467 с.

### **ПРОГРАММНО АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ПО СОЗДАНИЮ МИКРОКЛИМАТА В КАРТОФЕЛЕХРАНИЛИЩАХ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

Крылов С.В., к.т.н, Гируцкий И.И., д.т.н., Жур А.А., Кислый О.А.,  
Марышев В.Ф. к.т.н.

БГАТУ, РУП НПЦ по мех. с/х, г. Минск, РБ

Республика Беларусь обладает природно-климатическими условиями для успешного развития картофелеводства. В Советском Союзе республика специализировалась на возделывании картофеля. В настоящее время в связи с образованием Таможенного Союза с последующим его развитием, такое направление развития сельскохозяйственного производства может в той или иной сфере повториться.