

**Улицкая Е.О.**

Одесский национальный политехнический университет

**Костюкова О.Н.**

Одесский национальный политехнический университет

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ВОДЫ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ УЧЕБНОГО СТЕНДА

*Актуальним завданням вдосконалення навчального процесу є супровід викладу теоретичного матеріалу наочними практичними прикладами. Сформована складна ситуація з оснащення і модернізації матеріально-технічної бази навчальних закладів, яка призводить до необхідності пошуку доступних рішень. Апаратна платформа Arduino є прекрасною основою для створення навчальних стендів, що вимагає розробки електронних пристроїв в області автоматизації технологічних процесів. Широкий асортимент датчиків і виконавчих пристроїв, сумісних із пристроями на базі Arduino, дозволяє реалізувати безліч навчальних проектів. Також важливим складником навчального процесу є залучення учнів до розробки лабораторних стендів. Можливість перевірки математичного опису на реальному обладнанні підвищує інтерес студентів до освітнього процесу.*

*Стаття присвячена розробці навчального стенду, що дозволяє синтезувати автоматичну систему регулювання рівня води в ємності.*

*Використана апаратна платформа Arduino, розроблений код на мові Processing дозволяє візуалізувати параметри цього процесу в режимі реального часу. Розроблена панель управління дозволяє змінювати закон регулювання (П, ПІ, релейний), завдання, а також моделювати зміни навантаження. Розв'язана задача імітаційного моделювання АСР рівня води в ємності, створено математичний опис, який враховує нелінійні характеристики об'єкта управління. Проведено оцінку адекватності отриманої математичної моделі, доведено, що відмінність між розробленим математичним описом і експериментальними даними не перевищує 4%.*

*Проведено аналіз і порівняння перехідних процесів регулювання імітаційної і натурної моделі АСР рівня води в ємності. Отримані результати можуть використовуватися в навчальному процесі при вивченні основ моделювання і теорії автоматичного управління АСУТП.*

**Ключові слова:** нелінійна модель, регулювання рівня, навчальний стенд, закон регулювання, адекватність.

**Постановка проблемы.** Развитие учебно-лабораторной базы для подготовки специалистов по компьютерным технологиям и автоматизации, оперативная адаптация лабораторных и практических занятий для изучения наиболее актуальных вопросов автоматизации являются задачами совершенствования системы подготовки кадров. Поиск путей совершенствования методических подходов в образовательной деятельности как в целом, так и в практической составляющей обучения является одной из важнейших задач высшей школы на современном этапе [3, с. 7]. Модернизация лабораторной базы для подготовки специалистов по автоматизации предполагает создание новых учебных лабораторий для исследования компьютерно-интегрированных систем управления, что позволит сформировать необходимые практические навыки и выработать требуемые компетенции для будущей профессиональной деятельности студентов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Появление первых микропроцессоров ознаменовало начало новой эры в развитии микропроцессорной техники. Наличие в одном корпусе большинства системных устройств сделало микроконтроллер подобным обычному компьютеру, которые раньше назывались однокристальными микроЭВМами. Чтобы собрать устройство и микроконтроллер, необходимо знать основы схемотехники, устройство и работу конкретного процессора, уметь программировать на ассемблере и изготавливать электронную технику. Сейчас существует такое устройство как проект Arduino [5, с. 55]. В одной из последних статей Р.А. Аджиева «Микроконтроллеры. Arduino и IDE: среда разработки» описано начало истории создания Arduino, его историческая справка и все положительные стороны этой платформы.

Существует множество микроконтроллеров и платформ для осуществления управления физическими процессами применительно к микропроцессорным комплексам. Большинство этих устройств объединяют разрозненную информацию о программировании и заключают ее в простую в использовании сборку. Фирма Arduino тоже упрощает процесс работы с микроконтроллерами, обеспечивает ряд преимуществ перед другими устройствами благодаря простой и понятной среде программирования, низкой цене и множеству плат расширения.

В статье В.С. Лободинова, С.Р. Пана, И.В. Пугачева, В.Н. Трофименкова, Я.Н. Тузка «Применение Arduino в учебном процессе» показано, что для преподавателей, студентов и любителей платформа Arduino стала основным элементом для исследования и решения задач в областях мехатроники, робототехники и автоматизации [5, с. 51].

**Постановка задачи:** разработать учебно-лабораторный стенд исследования компьютерно-интегрированной системы управления уровнем воды в емкости для возможности использования в учебном процессе на практических занятиях на базе платформы Arduino; разработать программное обеспечение для визуализации переходных процессов регулирования в режиме реального времени.

**Изложение основного материала исследования.** Принципиальная схема разрабатываемого стенда изображена на рис. 1. Установка состоит из двух ёмкостей, наполненных жидкостью, в каждой из которых установлен насос (управляющий 5 и возмущающий 4). В емкости 1 поддерживается уровень жидкости с помощью насоса 5, который приводит к перекачиванию воды из емкости 2. Установка может работать в двух режимах – авто и ручном, которые выбираются с помощью ИК – пульта управления 10 либо с панели управления 11. Разработанная структурная схема АСР имеет такой вид:

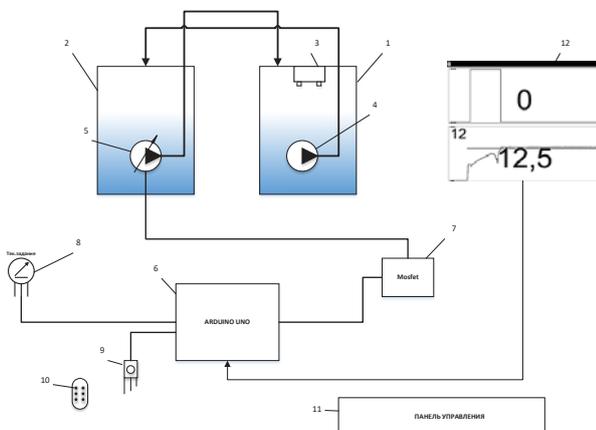


Рис. 1. Структурная схема АСР

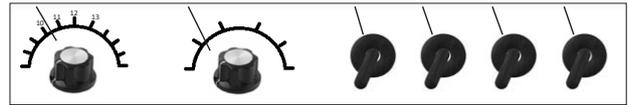


Рис. 2. Элементы управления стенда

На панели управления 11 (рис. 2) расположены два потенциометра: 13 – изменение текущего задания в диапазоне от 7 см до 17 см, 14 – изменение управляющего воздействия в ручном режиме и четыре тумблера: 15 – включение П закона регулирования, 16 – включение И составляющей, 17 – включение релейного закона регулирования, 18 – изменение отработки (нагрузки). Итак, создан стенд согласно структурной схеме.

Следующей задачей было составление математического описания рассматриваемого процесса. Для приближения свойств модели к характеристикам экспериментальной установки были учтены такие особенности:

1. Моделирование шумов в канале измерения уровня воды в резервуаре осуществляется с помощью блока Random Number, назначение которого – формирование случайного сигнала с нормальным распределением уровня сигнала с установленным среднеквадратическим отклонением:

$$\sigma = 0,029$$

2. Нелинейная характеристика насоса

При проведении испытаний было установлено, что при подаче напряжения на управляющий насос в диапазоне от 0 до 3В отсутствует перекачка воды из емкостей. Таким образом возникла необходимость добавить в разработанную математическую модель нелинейный элемент (рис. 2), учитывающий вышеприведенные свойства.

3. Передаточные функции по каналу управления и возмущения были определены в [1, с. 176]. Они представляет собой интегрирующие звенья с коэффициентами  $k_1 = 0,06$ ,  $k_2 = -0,06$ . Имитационная модель создана в среде Matlab.

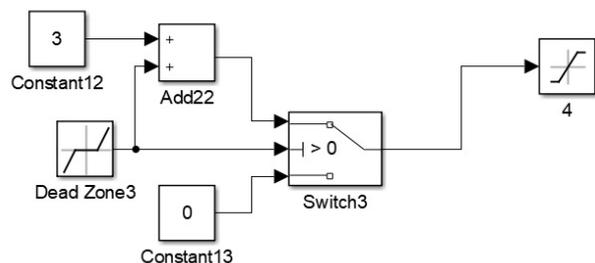


Рис. 3. Моделирование характеристики управляющего воздействия

Указанная выше характеристика модели реализуется с помощью блока Dead Zone, которая учитывает верхние и нижние пределы управляющего воздействия.

4. Транспортное запаздывание

Запаздывание обусловлено длиной соединительных линий. Оно реализуется с помощью блока Transport Delay [6, с. 58] с параметром Time Delay – 2 с. Структурная схема имитационной модели, отражающая свойства разработанного стенда, представлена на рис. 4:

Основным возмущением на объект является изменение задания и наличие внешнего возмущения (изменение нагрузки). Для получения графиков переходных процессов регулирования по заданию на экспериментальной установке необходимо с помощью потенциометра 12 выбрать задание по уровню и тумблерами на панели управления выбрать желаемый закон регулирования. При этом происходит включение насоса 5, который приводит к перекачиванию воды из емкости 2 до тех пор, пока уровень воды в емкости 1 не достигнет заданного. Сравнение переходных процессов регулирования уровня при изменении задания полученных экспериментально и в среде Simulink представлено на рис. 6.

Для оценки адекватности [2, с. 154] модели используется количественная оценка путем определения средней ошибки аппроксимации по формуле:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \frac{|Y_M(i) - Y_o(i)|}{Y_o(i)} * 100\%$$

где  $N$  – количество опытных данных, которые используются для получения коэффициентов в уравнениях регрессии;

$Y_M(i)$  – значение зависимого параметра, рассчитанного по уравнению регрессии;

$Y_o(i)$  – значение зависимого параметра, рассчитанного в эксперименте.

Для этого случая  $\mu = 0,61\%$ . Модель считается адекватной, поскольку полученное значение  $\mu < 10\%$ .

Для получения графиков переходного процесса регулирования уровня при изменении нагрузки на панели управления 11 нужно выбрать тумблером желаемый закон регулирования и на протяжении некоторого времени тумблером 17 подать возмущение. При этом происходит включение двух насосов: 4 – подает возмущение, а управляющий насос 5 приводит к перекачиванию воды из емкости 2, поддерживая заданный уровень воды в емкости 1. Сравнение переходных процессов регулирования уровня

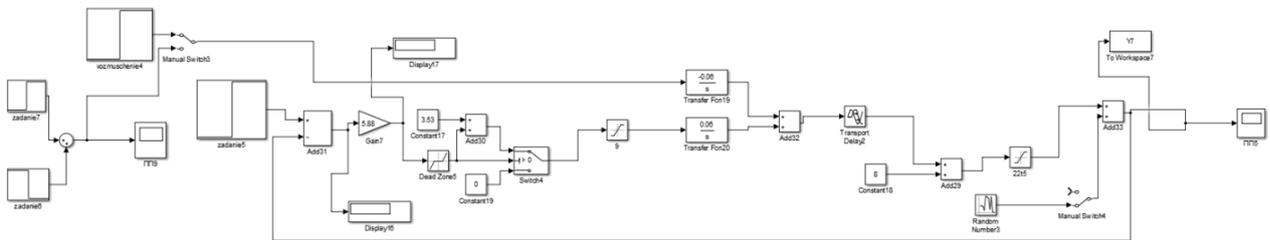


Рис. 4. Структурная схема имитационной модели разработанного стенда при П – законе регулирования

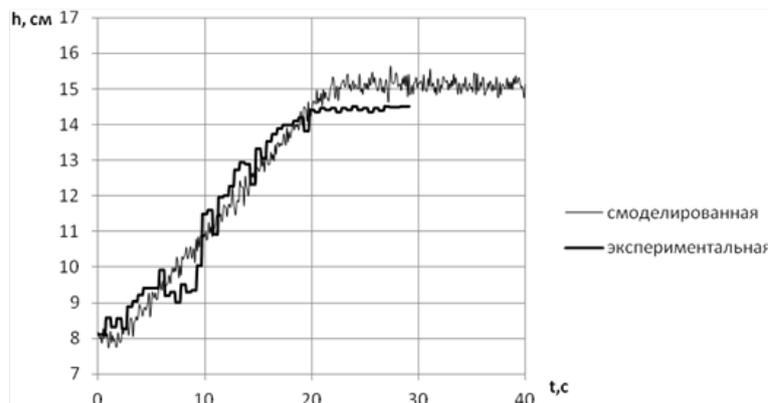


Рис. 6. Переходной процесс регулирования уровня при изменении задания с П – законом регулирования

при подаче возмущений, полученных экспериментально и в среде Simulink, представлено на рис. 8.

Эта модель считается адекватной, поскольку значение  $\mu = 2,95\% \leq 10\%$ .

Аналогичным путем сравниваются переходные процессы регулирования уровня при изменении задания при релейном законе регулирования. В этом случае потенциометром 12 необходимо

выбрать из заданий уровень и тумблером 16 включить релейный закон регулирования. Сравнение переходных процессов регулирования уровня при изменении заданий, полученных экспериментально и в среде Simulink, представлено на рис. 11.

Оценка адекватности модели не превышает допустимую погрешность, полученное значение  $\mu = 3,13\% \leq 10\%$ .

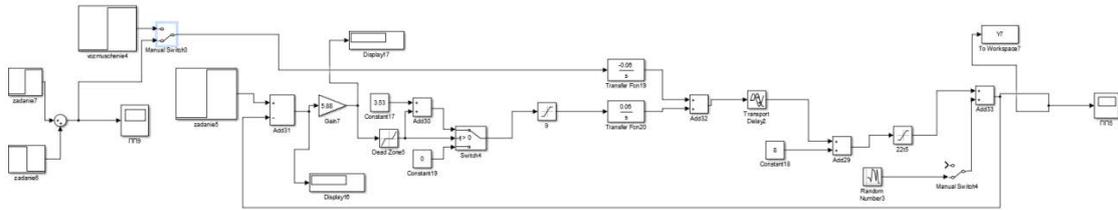


Рис. 7. Структурная схема имитационной модели разработанного стенда с П – законом регулирования

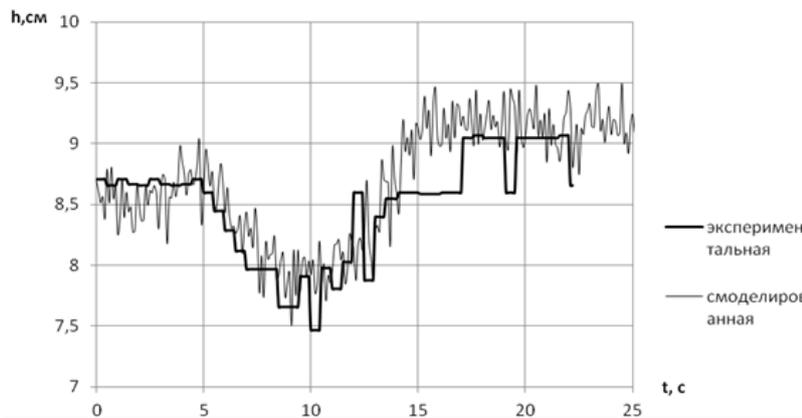


Рис. 8. Переходной процесс регулирования уровня при подаче возмущения с П – законом регулирования

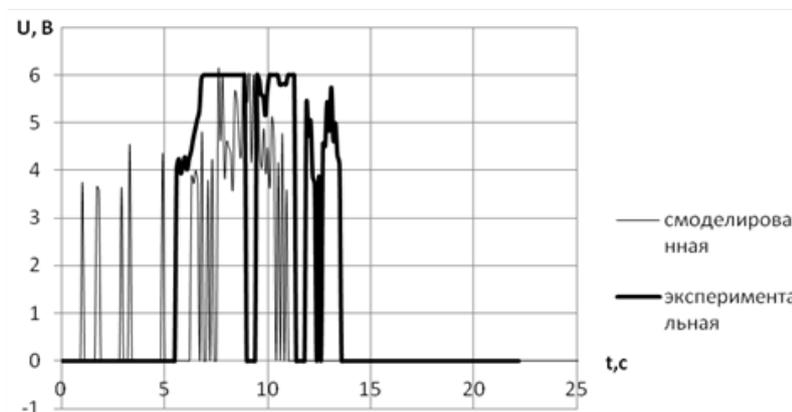


Рис. 9. Управляющее воздействие П – регулятора реального объекта и модели

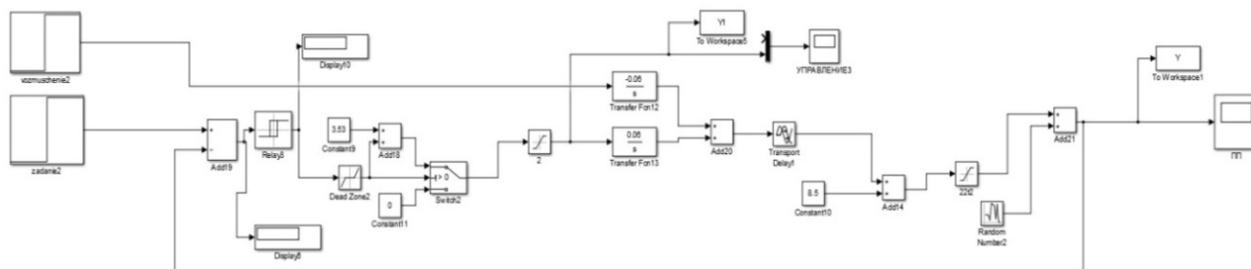


Рис. 10. Структурная схема имитационной модели разработанного стенда при релейном законе регулирования

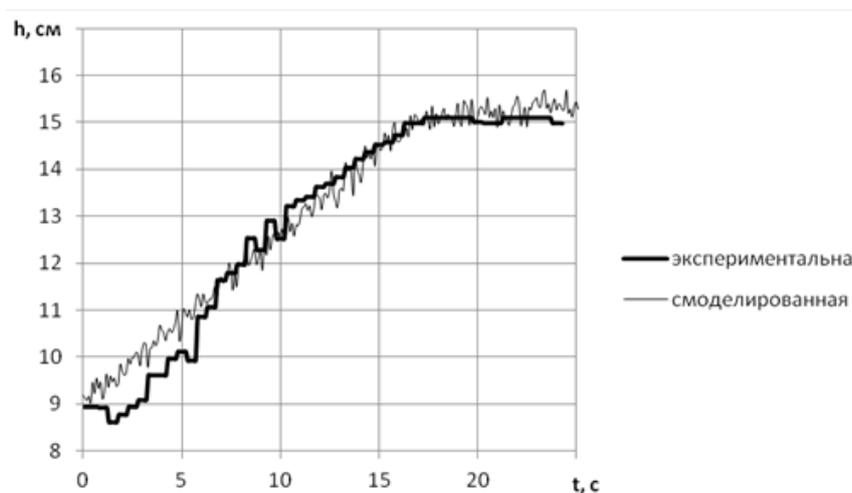


Рис. 11. Переходной процесс регулирования уровня при изменении задания с релейным законом регулирования

**Выводы.** Платформу Arduino можно использовать в учебном процессе для создания лабораторных установок. Была разработана АСР уровня воды в емкости с возможностью изменения законов регулирования, задания, нагрузки в режиме реального времени, создана имитационная модель, а также разработано программное обе-

спечение для визуализации переходных процессов регулирования.

Обучение студентов с использованием этой лабораторной установки позволит сформировать необходимые практические навыки и выработать требуемые компетенции для будущей профессиональной деятельности студентов.

#### Список литературы:

1. Улицкая Е.О., Лысюк А.П., Костюкова О.Н. Разработка и исследование компьютерно-интегрированной системы управления уровнем воды с разработкой учебного стенда. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. Том 30(69) № 3. Частина 1. С. 175–179.
2. Меркульев А.Ю., Горячева Е.П., Юрков Н.К. К вопросу об оценке адекватности модели. *Молодой ученый*. 2014. № 2. С. 153–155.
3. Данилов А.Н., Кон Е.Л., Кон Е.М., Южаков А.А. Модель многоканального управления учебным процессом высшей школы. *Открытое образование*. 2012. № 2. С. 7–11.
4. Онлайн курс по Ардуино на базе простого стартового набора. *Geektimes*. URL: <https://geektimes.ru/post/279860/> (дата обращения: 26.11.2019).
5. Лободинов В.С., Пан С.Р., Пугачев И.В., Трофименко В.Н., Тузко Я.Н. Применение Arduino в учебном процессе. *Молодой исследователь Дона*. 2019. № 1(16). С. 51–55.
6. Черных И.В. *Simulink: среда создания инженерных приложений* / Под общ. ред. к. т. н. В.Г. Потемкина. М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.

**Ulytskaia E.O., Kostiukova O.M. THE COMPUTER INTEGRATED CONTROL SYSTEM OF WATER LEVEL WITH DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL STAND**

*The actual task of improving the educational process is to support the presentation of theoretical material with practical examples. The current difficult situation with the equipment and modernization of the material and technical base of educational institutions leads to the need to find available solutions. The Arduino hardware platform is a great base in building training stands that require the development of electronic devices in the field of process automation. A wide range of sensors and actuators compatible with Arduino-based devices make it possible to implement many training projects. Also an important part of the learning process is the involvement of students in the development of laboratory stands. The ability to test mathematical description on real equipment increases students' interest in the educational process.*

*The article is devoted to the development of a training stand that allows synthesizing an automatic system for regulating the water level in a tank.*

*The Arduino hardware platform is used, the developed code in the Processing language allows you to visualize the parameters of the process in real time. The developed control panel allows you to change the regulation law (P, PI, relay), task, as well as simulate load changes. The problem of simulating ASR of the water level in the tank is solved, a mathematical description is created that takes into account the nonlinear characteristics of the control object. The adequacy of the obtained mathematical model is estimated, it is proved that the difference between the developed mathematical description and the experimental data does not exceed 4%.*

*The analysis and comparison of transient regulation processes The simulation and full-scale model of ASR water level in the tank. The obtained results can be used in the educational process when studying the foundations of modeling and the theory of automatic control of process control systems.*

**Key words:** *nonlinear model, level regulation, training stand, regulation law, approximation.*