

УДК 681.515

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-1/32>

**Улицкая Е.О.**

Одесский национальный политехнический университет

**Лысюк А.П.**

Одесский национальный политехнический университет

**Костюкова О.Н.**

Одесский национальный политехнический университет

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

*Статья посвящена разработке АСУ уровня воды в емкости с возможностью изменения законов регулирования, задания, а также нагрузки в режиме реального времени на базе платформы Arduino с визуализацией регулируемой величины и управляющего воздействия.*

**Ключевые слова:** *уровнемер, управляющее воздействие, возмущающее воздействие, закон регулирования.*

**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 уровнем, 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. Раньше они назывались однокристальными микроЭВМ. Чтобы собрать устройство и микроконтроллер, необходимо знать основы схемотехники, устройство и работу конкретного процессора, уметь программировать на ассемблере и изготавливать электронную технику. В настоящее время все

изменилось. 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 создания Arduino, историческая справка и все положительные стороны данной платформы.

Сегодня 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, в свою очередь, тоже упрощает процесс работы с микроконтроллерами, однако обеспечивает ряд преимуществ перед другими устройствами из-за простой и понятной среды программирования, низкой цены и множеством плат расширения. В статье В.С. Лободина, 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.** Цель статьи – 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, разра-

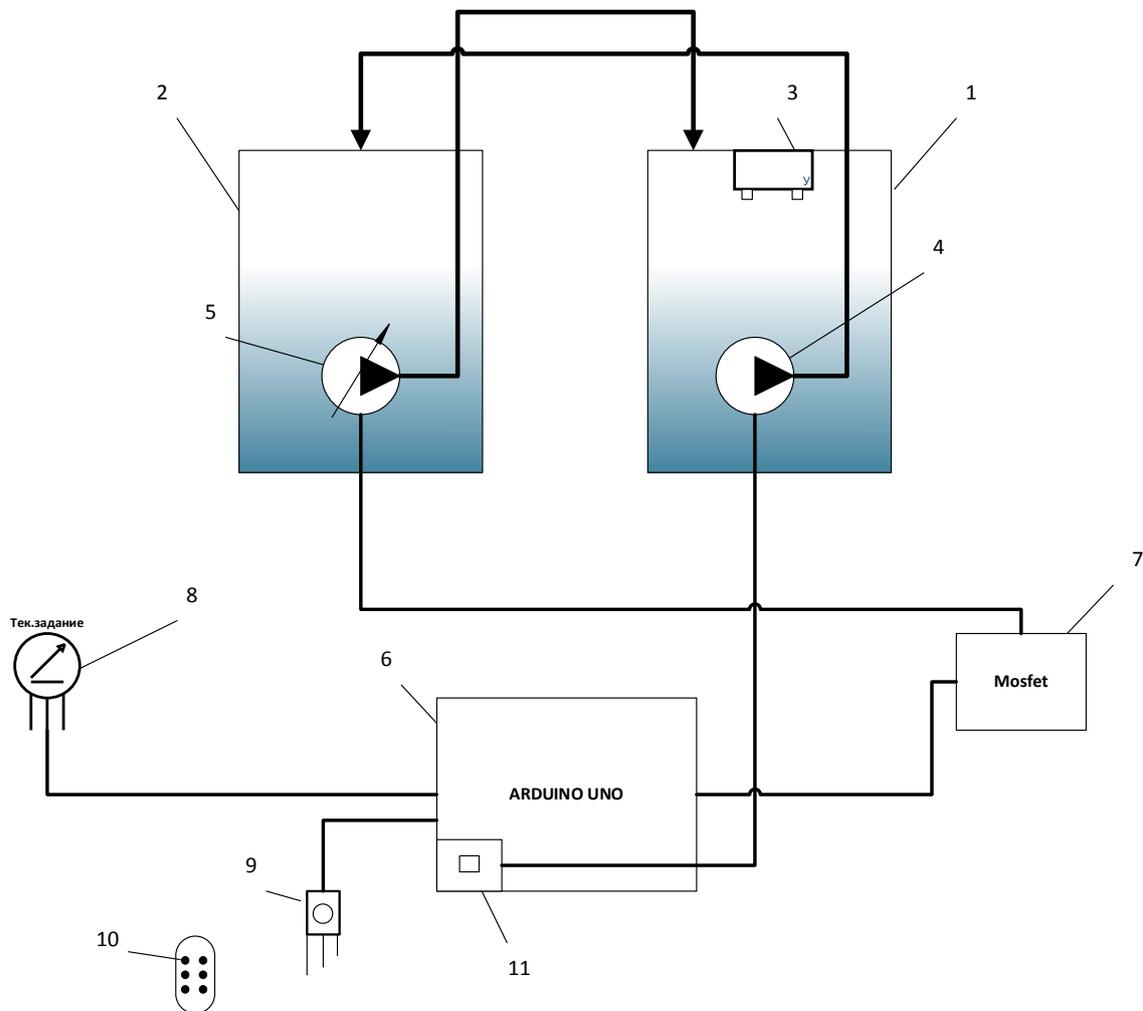
ботать программное обеспечение для визуализации переходных процессов регулирования.

**Изложение основного материала исследования.** Принципиальная схема разрабатываемого стенда изображена на рис. 1. Установка состоит из двух емкостей, наполненных жидкостью, в каждой из которых установлен насос (управляющий 5 и возмущающий 4). Ток зависит от напряжения питания (2,5–6 В), мощности 0.4–1.5 Вт, скорость перекачивания жидкости составляет до 2 л/мин, или 120 л/час. Материал корпуса – пластик, загерметизирован. Максимальная высота водяного столба – 0,4–1,1 м.

В емкости 1 поддерживается уровень жидкости с помощью насоса 5, который приводит к перекачиванию воды из емкости 2 в емкость 1. Установка может работать в двух режимах – авто и ручной, которые выбираются с помощью ИК –

пульта управления 10. ИК-приемник и инфракрасный пульт дистанционного управления – самый распространенный и простой способ управления электронной аппаратурой. С помощью ИК-пульта также меняем задание, коэффициенты регулятора и осуществляем выбор закона регулирования. Устройство работает на расстоянии 40 м.

Насос 5 управляется с помощью MOSFET – транзистора в ШИМ-режиме. Модуль (драйвер) силового MOSFET-транзистора используется для подключения мощной нагрузки на выход контроллера, работающей на постоянном токе. Отличие этого модуля от модуля реле в его высоком быстродействии и долговечности. Отсутствие механических контактов в данном модуле управления нагрузкой, по сравнению с электромагнитным реле, дает на несколько порядков большую надежность и долговечность. Модуль имеет



**Рис. 1. Принципиальная схема установки:**

- 1 – емкость с регулируемым уровнем; 2 – емкость слива лишней жидкости;
- 3 – ультразвуковой модуль HC-SR04; 4 – возмущающий насос, имитирующий потребление воды; 5 – управляющий насос; 6 – плата Ардуино UNO; 7 – транзистор; 8 – сервопривод;
- 9 – ИК-приемник; 10 – пульт управления; 11 – кнопка для изменения расхода воды в емкости 1.

управляющее напряжение 3,3–5 В, напряжение на выходе 0–24 В и ток нагрузки до 5 А.

Измерение уровня в емкости 1 проводится с помощью ультразвукового модуля HC-SR04. Устройство посылает 8 импульсов звуковых волн с частотой 40 кГц и принимает отраженную волну. Далее измеряется временная задержка между отправленным и принятым сигналом и происходит вычисление расстояния по формуле  $D=TS/2$ , где  $D$  – это расстояние,  $T$  – временная задержка и  $S$  – скорость звукового сигнала.

Датчик имеет разрешение 0,3 см, а диапазон измерения от 2 до 500 см.

Поддержание уровня в резервуаре 1 может осуществляться одним из трех законов регулирования – П, ПИ и релейным. Весь процесс реализован на платформе Arduino Uno. Arduino Uno – этот контроллер построен на платформе ATmega328, имеющей 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки [6, с. 152].

С помощью разработанного стенда получены экспериментальные кривые разгона (рис. 2) по каналу управления и по каналу возмущения.

Передаточные функции объекта по каналу управления и возмущения являются интегрирующими звеньями. А коэффициенты передаточных функций, определенные по кривым разгона имеют вид:

$$W_{упр} = \frac{k}{p} = \frac{0,004}{p}$$

$$W_{возм} = \frac{k}{p} = \frac{-0,004}{p}$$

После получения передаточных функций объекта были синтезированы цифровые П и ПИ законы регулирования, а также реализован релейный регулятор [9, с. 40].

Разработанный стенд (рис. 3) функционирует согласно следующему алгоритму:

При нажатии кнопки 11 изменяется расход воды из емкости 1, в которой поддерживается уровень жидкости, происходит включение насоса 4, который приводит к перекачиванию воды из емкости 1 в емкость 2. Результат представлен на рис. 5, где показано изменение уровня, в соответствии с включенным регулятором – П, ПИ и релейный, в емкости 1 при удержании кнопки 11 в течении 10 с. На рис. 4 мы можем наблюдать, что при действии возмущения регулятор выводит значение уровня на заданное.

Разработанный стенд позволяет получать графики переходных процессов регулирования, демонстрирует отличие действия П, ПИ и релейного закона управления [7, с. 179], в составе АСР уровня (рис. 4, 5).

При увеличении задания с помощью ИК-пульта 10 регулятор выводит уровень на заданный (14 см), что показано на рис. 4.

При работе с платой Arduino результат вычисления выводится на Serial Monitor. Но это не единственная возможность для получения данных на экране. Приложение Processing имеет очень много возможностей, в том числе и библиотеку Serial,

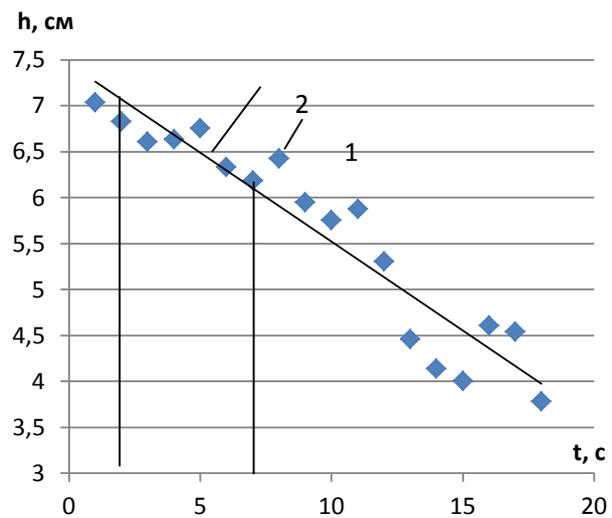
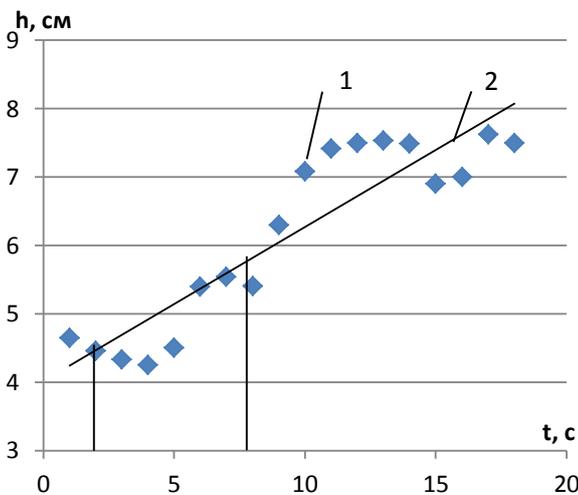


Рис. 2. Кривая разгона объекта при изменении управляющего воздействия (а) и возмущающего воздействия (б): 1 – экспериментальные точки; 2 – аппроксимирование точки (точки сглаживания)

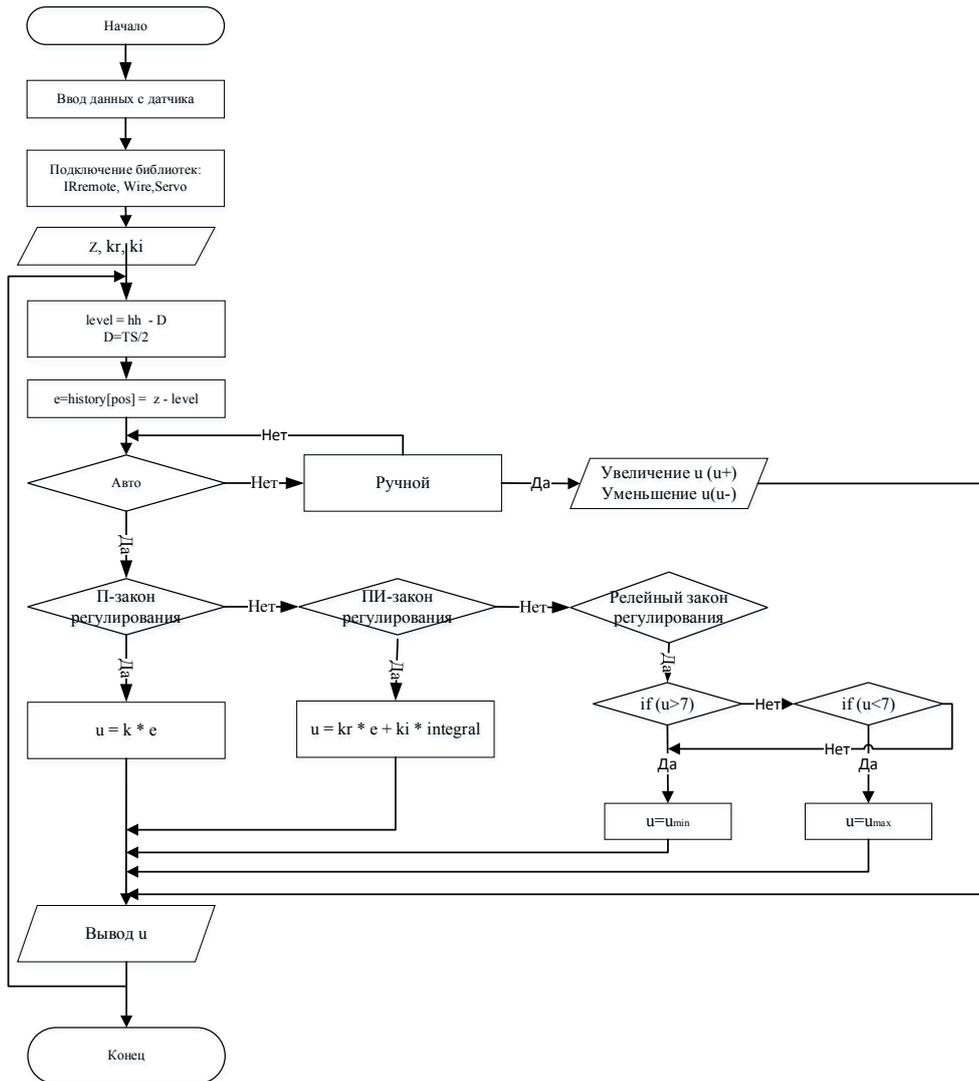


Рис. 3. Структурна схема установки

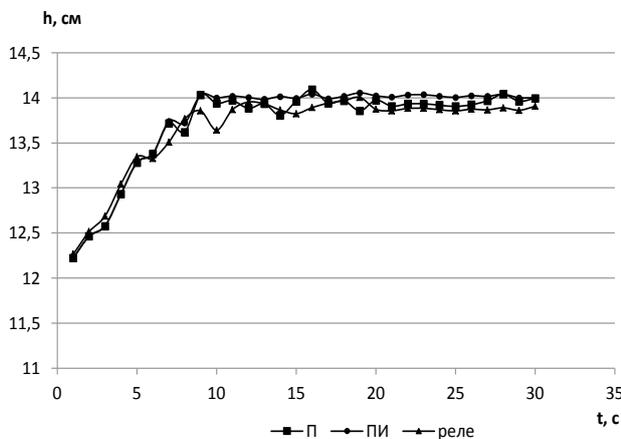


Рис. 4. Переходной процесс регулирования уровня при изменении задания с использованием разных видов регулятора

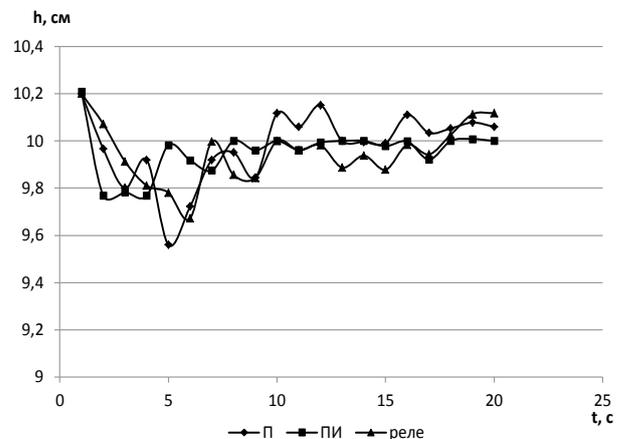


Рис. 5. Переходной процесс регулирования уровня с разными регуляторами при действии возмущения

поэтому возможна передача данных между платой и Processing. Processing – это язык программирования для создания интерактивных визуальных эффектов, базируется на графических возможностях языка Java и использует его упрощённый синтаксис, лёгкий и быстрый инструментарий.

Для разработанного учебного стенда была написана программа в Processing, с помощью которой мы можем наблюдать изменение уровня и возмущения в режиме реального времени, также выводим значения заданного и текущего уровня.

На рис. 6 мы можем наблюдать процесс регулирования уровня.

С помощью приложения Processing реализовано графическое представление данных с датчика уровня, а также управляющего воздействия и задания регулятора.

**Выводы.** Таким образом, платформу Arduino можно использовать в учебном процессе для создания лабораторных установок. Была разработана АСР уровня воды в емкости с возможностью изменения законов регулирования, задания, а также нагрузки в режиме реального времени, а также разработано программное обеспечение

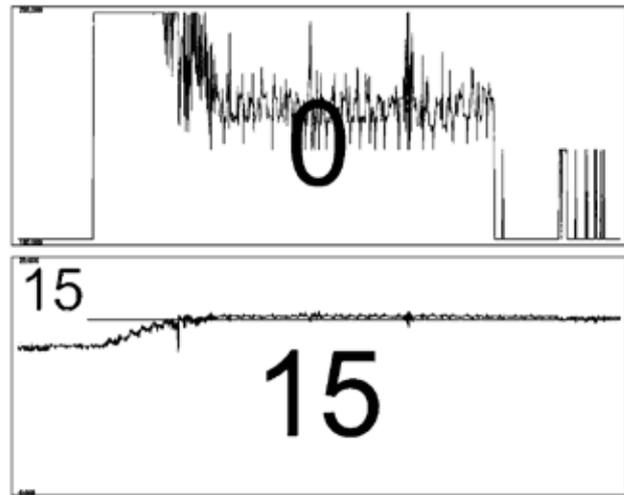


Рис. 6. Вывод в Processing

для визуализации переходных процессов регулирования.

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

#### Список литературы:

1. Улицкая Е.О., Бундюк А.Н. Разработка алгоритма для расчёта статике когенерационной энергетической установки. *Холодильная техника и технология*. 2013. № 3. С. 34–40.
2. Лисюк А.П., Белова Н.А. Genetic algorithms application to decide the issue of single-dimensional cutting optimization. *Automation of technological and business processes*. 2016. № 2. Т. 8. Р. 4–8.
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: 28.04.2019)
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. Байда А.С. Использование платформы Arduino при подготовке специалистов автомобильной отрасли. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2016. № 5 (май). С. 150–156.
7. Ложечников В.Ф., Михайленко В.С. Методы побудови адаптивних систем управління. *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. 2009. № 2. С. 174–179.

#### РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ВОДИ З РОЗРОБКОЮ НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДУ

Стаття присвячена розробці АСР рівня води в ємності з можливістю зміни законів регулювання, завдання, а також навантаження в режимі реального часу на базі платформи Arduino з візуалізацією регульованої величини і дії, що управляє.

**Ключові слова:** рівнемір, управляюча дія, збурюючий вплив, закон регулювання.

#### THE COMPUTER INTEGRATED CONTROL SYSTEM OF WATER LEVEL WITH DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL STAND

Article is devoted to development of ASR of water level in capacity with a possibility of change of laws of regulation, a task and also loading in real time on the basis of the Arduino platform with visualization of adjustable size and the operating influence.

**Key words:** level gauge, operating influence, revolting influence, law of regulation.