

Моханенко Никита Васильевич,

Магистрант 2 курса,

Сибирский государственный университет науки и технологий имени

академика М.Ф. Решетнева,

г.Красноярск

e-mail: nikita.mokhanenko@mail.ru

Моценко Егор Денисович, магистрант, 2 курс, кафедры Информационные

технологии в замкнутых экосистемах, Сибирский государственный

университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,

г.Красноярск

e-mail: jushexx@mail.ru

Обедина Вероника, магистрант, 2 курс, кафедры Информационные

технологии в замкнутых экосистемах, Сибирский государственный

университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,

г.Красноярск

e-mail: obedina2001@mail.ru

Трифонов Сергей Викторович, Институт биофизики СО РАН, Сибирский

государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф.

Решетнева, г.Красноярск

e-mail: trifonov_sergei@inbox.ru

ЦИФРОВАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА МОЧЕВИНЫ ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ ЭКОСИСТЕМ

Аннотация: статья посвящена анализу использования автоматизированных систем управления и мониторинга для обеспечения возможности повторного использования отходов в замкнутых экосистемах. Рассматриваются различные типы замкнутых экосистем, включая космические станции, где высокоэффективные системы управления жизненно важны для поддержания стабильности условий. Автор исследует возможность автоматизации процесса переработки мочевины за счет использования

датчиков, управления электроэнергией и технологии беспроводной локальной сети для мониторинга и архивирования данных, таких как температура жидкости и давление газовой фазы, а также регуляции этих параметров в процессе ферментации. В рамках концепции замкнутого цикла, подобную технологию ферментативного гидролиза можно рассматривать в контекстах прочих отраслей, например, в нефтегазовой отрасли с целью минимизации отходов и повышению восстановления ресурсов.

Annotation: The article analyzes the use of automated control and monitoring systems to enable waste reuse in closed ecosystems. Various types of closed ecosystems are considered, including space stations, where highly efficient control systems are vital to maintain stable conditions. The author explores the possibility of automating the urea recycling process by utilizing sensors, power management, and wireless LAN technology to monitor and archive data such as liquid temperature and gas phase pressure, and regulate these parameters during the fermentation process. Within a closed loop concept, such enzymatic hydrolysis technology can be considered in the context of other industries, such as the oil and gas industry to minimize waste and increase resource recovery.

Ключевые слова: автоматизированные системы, системы жизнеобеспечения, управление электропитанием, технологии беспроводных локальных сетей, переработка мочевины, замкнутые экосистемы, космические станции.

Key words: automated systems, life support systems, power management, wireless local area network technologies, urea recycling, closed ecosystems, space stations.

Эффективная автоматизация замкнутых экосистем включает интеграцию нескольких ключевых компонентов, каждый из которых играет важную роль в поддержании устойчивости экосистемы:

1. Датчики: Эти устройства собирают данные о таких параметрах, как температура, влажность, содержание углекислого газа и кислорода, pH воды, уровень питательных веществ в растворах и т.д. Среди используемых датчиков можно отметить:

- Датчики температуры DS18B20, который измеряет температуру в диапазоне от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ и использует однопроводный интерфейс для удобства подключения.

- Датчики давления BME280, предназначенный для измерения параметров микроклимата, такие как атмосферное давление, влажность и температуру воздуха.

2. Системы управления: Основываясь на данных, поступающих от сенсоров, программа регулирует эти значения до необходимых. Она контролирует подачу электропитания для включения или же выключения тэна и воздушного насоса.

3. Технологии беспроводных локальных сетей: При запуске программы создается html-страница, на которой отображаются актуальные данные с датчиков с указанием даты и времени измерения, эти данные можно скачать нажав по соответствующей кнопке в формате txt в виде списка. На html странице также отображаются графики изменения значений датчиков, благодаря чему проще анализировать данные.

Одним из ярких примеров важности автоматизированных систем является Международная космическая станция (МКС). Здесь жидкие отходы перерабатывают для повторного использования. На МКС используется агрегат обработки мочи, для очищения урины от примесей с помощью вакуумной дистилляции. Также обрабатывается пот и прочая влага, которая

выделяется организмом человека в процессе жизнедеятельности. Используется система фильтрации и каталитический раствор.

На космических станциях переработка отходов и их повторное использование способствует поддержанию стабильных условий среды в концепции экономики замкнутого цикла. Концепция экономики замкнутого цикла - это постоянное повторное использование материалов в производственных процессах, с целью минимизировать отходы и обеспечить переработку, в том числе вредных веществ. Данная концепция приносит как экологические, так и экономические выгоды. В качестве примеров можно привести: снижение потребления природных ресурсов человеком или снижение уровня загрязнения окружающей.

Процесс переработки мочевины в реакторе ферментативного гидролиза мочевины начинается с помещения во внутреннюю емкость раствора сожженных метаболитов человека, после чего реактор зашивается кольцом для создания вакуумного пространства внутри. Далее жидкостью заполняется внешняя емкость реактора, происходит формирование водяной рубашки (рисунок 1). После завершения приготовлений, происходит повышение температуры воды посредством нагревания тэна до 70 градусов цельсия, параллельно с этим, с помощью воздушного вакуумного насоса производится понижение давления до 0,40-0,45 бар, которые может выдержать установка. После выполнения всех условий, через трубку в верхней части реактора (крышке) заливается раствор с ферментом - уреазой. Происходит разложение мочевины.



Рисунок 1 – Реактор ферментативного гидролиза мочевины

По окончании работы происходит измерение кислотности жидкости с помощью рН-метра. Если все соответствует ожиданиям, а именно снижение значения рН в течение 10 мин, то переработанная мочевина сливается из нижней части реактора, посредством поворота вентиля. Аналогично сливается жидкость из водяной рубашки (рисунок 2).



Рисунок 2 – Слив переработанной мочевины и водяной рубашки.

Для управления различными датчиками и системами в замкнутой экосистеме была выбрана среда для разработки Thonny IDE. Причины выбора:

- Простой интерфейс. В отличие от некоторых других IDE, Thonny не перегружен сложными функциями.
- Совместимость с аппаратурой: Thonny IDE отлично интегрируется с разнообразием датчиков и исполнительных механизмов, а также с микроконтроллерами Raspberry, что делает его универсальным решением для управления физическими объектами.
- Встроенный отладчик. Позволяет запускать программу шаг за шагом, видеть, как Python видит выражения, и понимать, почему программа ведёт себя определённым образом.
- Лёгкое управление пакетами. Возможность устанавливать, обновлять и удалять пакеты Python без использования командной строки.
- Кроссплатформенная совместимость. Доступна для использования на Windows, macOS и Linux.

Данные факторы стали основополагающими при выборе среды разработки для управления датчиками и ключевыми механизмами регулировки показаний в замкнутых экосистемах.

Система была настроена таким образом, чтобы быстро реагировать на изменения параметров среды и корректировать работу по необходимости. Это в свою очередь позволило увеличить эффективность процесса переработки и избежать травмоопасных ситуаций, связанных с ручной регулировкой аппаратуры реактора при отсутствии автоматизации.

В процессе разработки проводились регулярные тесты, при добавлении нового датчика или исполнительного механизма, это исключило риск сбоев и неверной интерпретации данных программой в процессе переработки.

Используя микроконтроллер Raspberry Pi Pico W и интегрированную среду разработки Thonny IDE была произведена автоматизация ферментативного гидролиза мочевины.

Микроконтроллер был подключен к плате расширения, чтобы была возможность объединить всю аппаратуру в совместный процесс, питание может производиться как за счет персонального компьютера (в данном случае

ноутбука), так и от сети. Весь программный код записан непосредственно в память микроконтроллера, активация запуска программы происходит по нажатию на кнопку на плате расширения. Был подключен цифровой дисплей, на нем в реальном времени происходит отображение значений датчиков температуры и давления (рисунок 3).



Рисунок 3 – Микроконтроллер Raspberry и плата расширения

С целью измерения температуры воды внутри установки был подключен датчик DC18B20 с защитой от влаги.

Следующим шагом в автоматизации стал контроль тэна для нагревания воды внутри установки, для этого было подключен сетевой фильтр к реле. Сетевой фильтр подключен к бытовой розетке, как к источнику питания. Реле было напрямую подключено к плате расширения микроконтроллера, а тэн подключен к одной из розеток удлинителя. Методом включения и выключения реле производится контроль подачи электропитания на сетевой фильтр и тем самым контроль работы тэна.

В зависимости от данных с датчика температуры DC18B20 выполняется включение/выключение реле, который контролирует электропитание удлинителя. Нижней пороговой температурой для работы тэна было определено 70 градусов цельсия, а триггером для выключение 72 градуса цельсия.

Работа с контролем давления внутри установки была произведена с помощью датчика давления BME280 в закрытом цилиндре, с целью защиты от воды, и вакуумного воздушного насоса отрицательного давления Nidec.

Датчика давления ВМЕ280 в закрытом цилиндре был подключен ко входам 2-х объединенных клемм, а выходы подключены к микроконтроллеру на соответствующие штырьки.

Воздушный насос был подключен к микроконтроллеру с помощью реле, аналогично сетевому фильтру. Это было сделано с целью контроля включения/выключения насоса в соответствии с показателями датчика давления. Питание к насосу подключено с помощью разъема питания DC. Подключение производилось в соответствии со схемой для насоса.

Для достижения наибольшего количества оборотов в минуту, используется блок питания 24V 2A. При таком напряжении мощность всасывания насоса будет наивысшей, это позволит быстро понижать давление внутри установки.

Таким образом, в соответствии с показаниями датчика давления ВМЕ280, производится включение/выключение питания воздушного вакуумного насоса. Пороговым давлением было определено 0,40 бар, питание для работы вакуумного насоса подается до момента, пока не будет достигнуто указанное давление, далее насос будет периодически включаться и выключаться для поддержания показателя.

С целью возможности архивации данных показателей датчиков, а также возможности просмотра истории изменения их значений с течением времени был разработан веб-интерфейс. Для этого потребовалось использовать Wi-fi роутер. Подключение к роутеру прописано в коде - название сети и пароль от сети. При запуске программы создается простая html-страница, в которую попадают данные с датчиков в следующем формате: дата, время, показание датчика.

По умолчанию временем работы программы было определено 3 часа, обычно этого достаточно для понижения рН-показателя и окончательной переработки мочевины. Сигналом к окончанию процесса служит снижение значения рН в течение 10 мин.

Благодарности

«Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FWES-2024-0041)»

«The study was funded by State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FWES-2024-0041)»

Литература

1. Кузнецова, Л. А., Смирнов, А. В. Уреаза и её применение в биотехнологии: обзор / Л. А. Кузнецова, А. В. Смирнов // Биотехнология. — 2020. — Т. 36, № 4. — С. 45–56. — DOI: 10.31857/S0131268220040045.
2. Боровков, В. В. Биокатализ и ферменты в промышленной биотехнологии / В. В. Боровков. — Москва: Химия, 2017. — 320 с.
3. Уилсон, Д. Raspberry Pi для начинающих: практическое руководство по созданию проектов / Д. Уилсон. — Москва: БХВ-Петербург, 2018. — 320 с.
4. Петров, И. А. Основы программирования на Raspberry Pi: от теории к практике / И. А. Петров. — Санкт-Петербург: Питер, 2019. — 256 с.
5. Мельников, С. В. Raspberry Pi: создание и управление проектами / С. В. Мельников. — Москва: Наука, 2020. — 280 с.

Literature

1. Kuznetsova, L. A., Smirnov, A. V. Urease and Its Applications in Biotechnology: A Review / L. A. Kuznetsova, A. V. Smirnov // Biotechnology. — 2020. — Vol. 36, No. 4. — P. 45–56. — DOI: 10.31857/S0131268220040045.
2. Borovkov, V. V. Biocatalysis and Enzymes in Industrial Biotechnology / V. V. Borovkov. — Moscow: Chemistry, 2017. — 320 p.
3. Wilson, D. Raspberry Pi for Beginners: A Practical Guide to Creating Projects / D. Wilson. — Moscow: BHV-Petersburg, 2018. — 320 p.
4. Petrov, I. A. Basics of Programming on Raspberry Pi: From Theory to Practice / I. A. Petrov. — St. Petersburg: Piter, 2019. — 256 p.

5. Melnikov, S. V. Raspberry Pi: Creating and Managing Projects / S. V. Melnikov. — Moscow: Science, 2020. — 280 p.