

УДК 612.087.1

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ДАТЧИКОВ

А.Н. ОСИПОВ¹, Е.Н. КАЛЕНКОВИЧ¹, А.А. ИВАНОВСКИЙ¹, А.Д. ХАЦКЕВИЧ¹,
С.А. МОРОЗ², И.А. МОРОЗ², А.П.КЛЮЕВ¹, А.В. ПАЦЕЕВ³, С.В. ПАЦЕЕВ⁴.

¹ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г.Минск, Республика Беларусь),

²Производственное унитарное предприятие «ФреБор», г.Борисов Республика Беларусь,

³ГУ Республиканский центр медицинской реабилитации и бальнеолечения
(г.Минск, Республика Беларусь),

⁴ ООО «Клиника Мерси» (г.Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В статье описывается разработка программно-аппаратной платформы для ускоренных испытаний имплантируемых датчиков глюкозы. Аппаратная часть платформы включает пять независимых тестовых ячеек, управляемых через Raspberry Pi CM4 с использованием протокола MODBUS RTU. Каждая ячейка моделирует реальные условия работы датчика, используя перистальтические насосы, нагреватель, электромагнитные клапаны и датчики. Программное обеспечение на Python с интерфейсом QT и базой данных MariaDB обеспечивает удобное управление, мониторинг и автоматизацию испытаний. Модульная архитектура и кроссплатформенность делают платформу гибким инструментом для ускорения разработки медицинских технологий и улучшения диагностики диабета.

Ключевые слова: имплантированные датчики, ускоренные испытания, лабораторные испытания, программно-аппаратная платформа.

Данная работа выполнена при поддержке производственного унитарного предприятия «ФреБор», г. Борисов Республика Беларусь.

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR ACCELERATED TESTING OF IMPLANTABLE MEDICAL SENSORS

A.N. OSIPOV¹, Y.N. KALENKOVICH¹, A.A. IVANOVSKY¹, A.D. KHATSKEVICH¹,
S.A. MOROZ², I.A. MOROZ², A.P.KLUEV¹, A.V. PACEEV³, S.V. PACEEV⁴

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus,

²Production Unitary Enterprise «FreBor», Borisov, Republic of Belarus,

³State Institution «Republican Center for Medical Rehabilitation and Balne Treatment»,
(Minsk, Republic of Belarus),

⁴«Clinica "Merci» (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article describes the development of a hardware and software platform for accelerated testing of implantable glucose sensors. The hardware of the platform includes five independent test cells controlled via Raspberry Pi CM4 using the MODBUS RTU protocol. Each cell simulates the actual operating conditions of the sensor using peristaltic pumps, a heater, electromagnetic valves and sensors. Python software with QT interface and MariaDB database provides convenient management, monitoring and automation of tests. The modular architecture and cross-platform nature make the platform a flexible tool to accelerate the development of medical technologies and improve diabetes diagnosis.

Keywords: implanted sensors, accelerated testing, laboratory testing, hardware and software platform.

Введение

Имплантируемые приборы находят широкое применение в медицине и используются для сбора электрофизических данных о человеческом теле/органах для мониторинга и диагностики, лечения различных неврологических заболеваний и управления

протезами [1–3]. Прогнозируется, что среднегодовой темп роста рынка активных имплантируемых медицинских устройств в течение прогнозируемого периода составит 7,2% [4]. Количественная и четкая проверка работоспособности и безопасности подобных приборов, которые имеют электромагнитное взаимодействие с организмом человека, имеет решающее значение в процессе технологического развития. Численные модели биологических объектов не отражают реалистичную среду, которая уязвима к различным электрическим, механическим воздействиям и воздействиям окружающей среды. В этой связи наиболее оптимальным для проведения исследований является использование специального технологического оборудования, имитирующего функционирование имплантируемых устройств в среде, которая по своим характеристикам (электродинамическим, механическим, и т.д.) аналогична реальным различным частям и/или тканям человеческого тела [5]. Следующим шагом в развитии оборудования для исследования имплантируемых устройств является переход к технологии ускоренных испытаний [6], что позволяет сократить сроки проведения лабораторных испытаний и доклинических исследований. В связи с этим данной статье рассматриваются вопросы разработки программно-аппаратной платформы (ПАП) для ускоренных испытаний имплантируемых приборов .

Аппаратная часть платформы

Структурная схема платформы представлена на рис. 1. Платформа ориентирована для проведения исследований подкожных датчиков системы непрерывного мониторинга глюкозы.

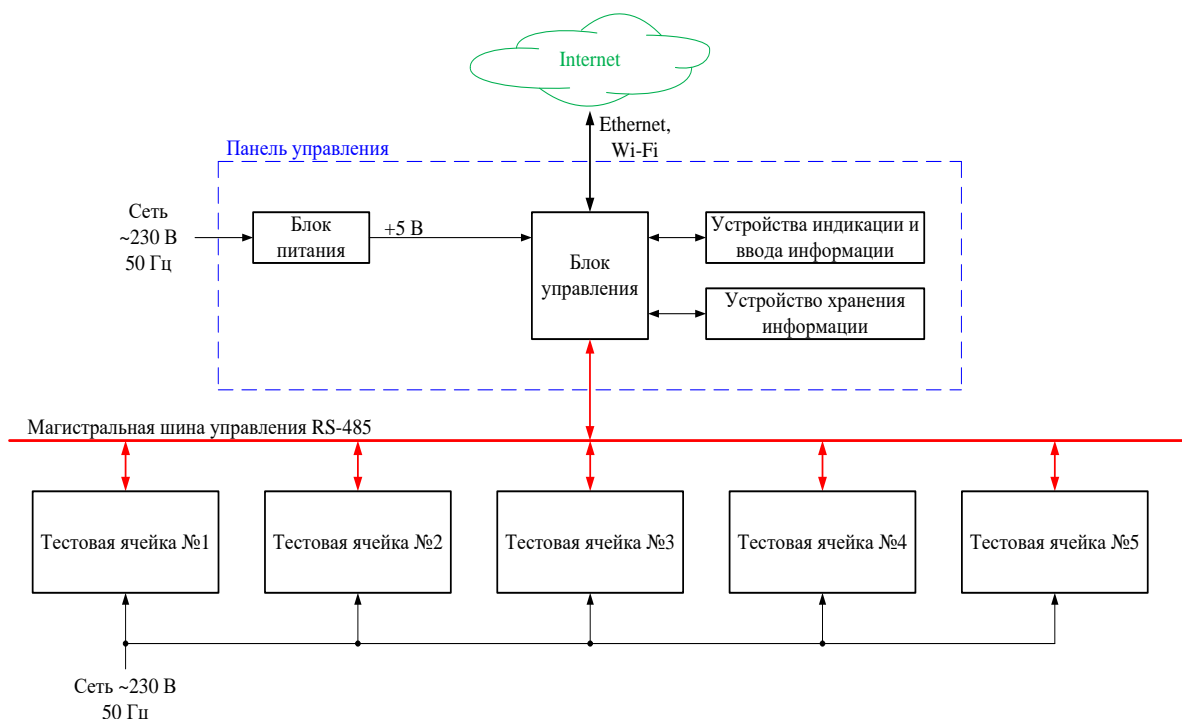


Рис. 1. Структурная схема платформы программно-аппаратного комплекса ускоренных испытаний

Состав ПАП включает пять тестовых ячеек и панель управления. Питание осуществляется от однофазной сети 230 В 50 Гц. В тестовых ячейках располагаются макеты имплантируемого датчика, помещенные в фантом человеческого органа. Через фантом прокачивается буферный раствор. В оборудовании предусмотрено: управление параметрами буферного раствора (температуры, кислотности), параметрами воздействия на датчик (частота и интенсивность УФ излучения,), регистрации значений температуры в фантоме и выходных сигналов датчика.

Панель управления обеспечивает общее управление стендом, включая локальное управление через графический интерфейс, задание режимов работы тестовых ячеек, контроль

их функционирования, периодический опрос датчиков и сохранение данных. Также предусмотрена передача информации на удаленный сервер или облачное хранилище и возможность удаленного управления через Ethernet или Wi-Fi. В состав панели входят блок питания, блок управления на базе микрокомпьютера Raspberry Pi CM4, устройство индикации и устройство хранения информации, реализованные на отладочном комплекте CM4-DISP-BASE-7A-BOX, который включает сенсорный дисплей и коммуникационные интерфейсы (Ethernet, Wi-Fi, RS-232, RS-485, USB). Управление тестовыми ячейками осуществляется по магистральной шине RS-485 с использованием протокола MODBUS RTU.

Каждая тестовая ячейка (рисунок 2) предназначена для проведения испытаний исследуемых образцов и может работать независимо [7].

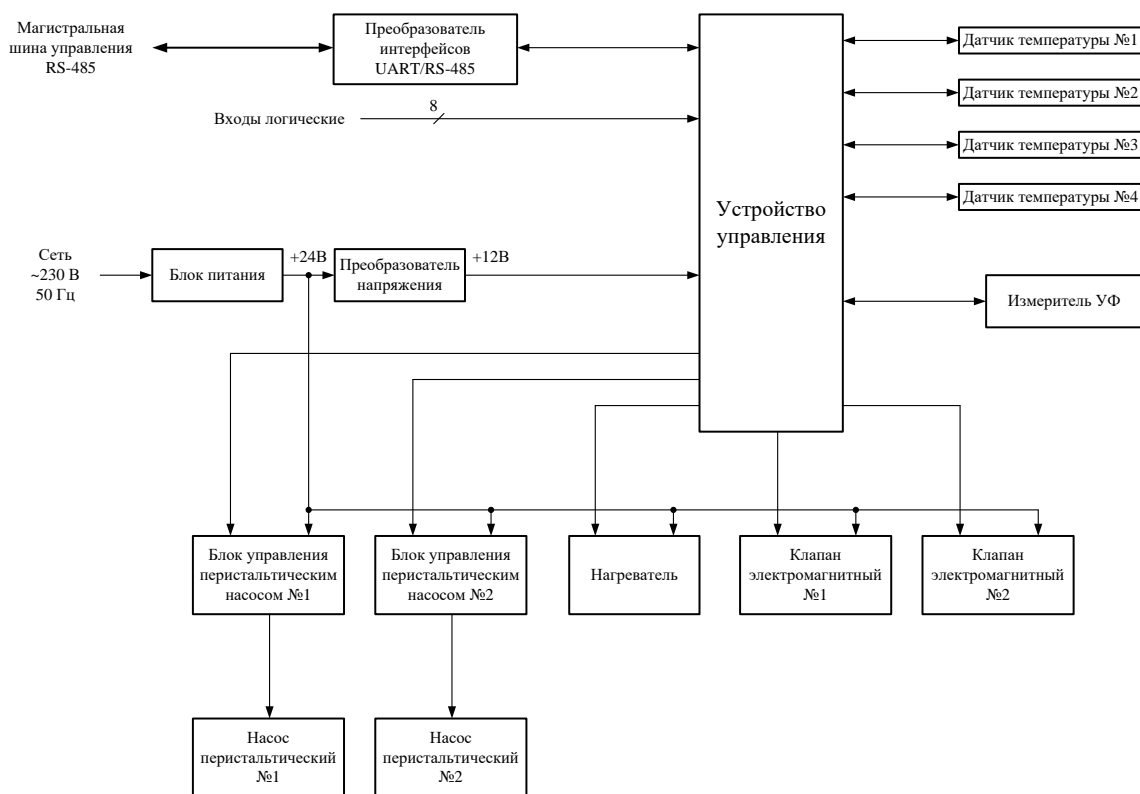


Рис. 2. Структурная схема тестовой ячейки

Тестовая ячейка включает устройства управления, преобразователь интерфейсов UART/RS-485, блок питания, преобразователь напряжения, блоки управления и перистальтические насосы, нагреватель, электромагнитные клапаны, датчики температуры и измеритель ультрафиолетового излучения.

Управление ячейкой выполняется дистанционно по шине RS-485 с использованием преобразователя UART/RS-485 для формирования управляющих сигналов для насосов и нагревателя. Температура контролируется датчиками, установленными в зоне образца и нагревателе, с функцией защиты от перегрева. Устройство управления также контролирует электромагнитные клапаны для залива и слива растворов и включает блок измерителя ультрафиолетового излучения. Допускается подключение до восьми датчиков с логическим выходом для расширенного контроля.

Программная часть

Для удобного взаимодействия со стендами через микрокомпьютер Raspberry Pi 4 разработана кроссплатформенная программа на языке программирования Python. Для хранения данных используется совместимая с ARM-архитектурой система управления базами данных MariaDB. Система выбрана за её эффективность на устройствах с ограниченными ресурсами и

лёгкую интеграцию благодаря наличию пакетов в репозиториях Raspbian [8]. Графический интерфейс разработан с использованием фреймворка QT, обеспечивающего кроссплатформенность кода. Это позволяет использовать один и тот же код на разных платформах без модификаций. Для взаимодействия по протоколу Modbus применена специально разработанная библиотека, основу которой предоставляет библиотека PySerial. PySerial предоставляет интерфейс для работы с последовательными портами (COM-портами) на различных платформах, позволяет устанавливать соединение через последовательный порт, отправлять и получать данные, управлять параметрами порта (скорость передачи, биты данных, паритет, стоп-биты), управлять состояниями линий управления (DTR, RTS) и поддерживает широкий набор интерфейсов и устройств, таких как RS-232, RS-485 и USB-Serial адаптеры.

Программа реализует модульную архитектуру, в которой все модули независимы друг от друга и каждый из которых выполняет конкретную функцию (например, модуль обработки данных, модуль взаимодействия с базой данных, модуль интерфейса).

Разработанное программное обеспечение обеспечивает централизованное управление стендами испытаний. Главное окно приложения (рис.4) служит основной рабочей средой, предоставляя функции выбора стенда, настройки и отображения параметров, просмотра журналов событий, запуска и управления испытаниями, а также визуализации данных в виде графиков с возможностью выбора отображаемых параметров. Система предоставляет возможности для установки параметров по умолчанию, приводящие к полной остановке стенда, а также для очистки базы данных. Графики и табличные данные обладают возможностью открепления от главного окна с автоматической адаптацией интерфейса.

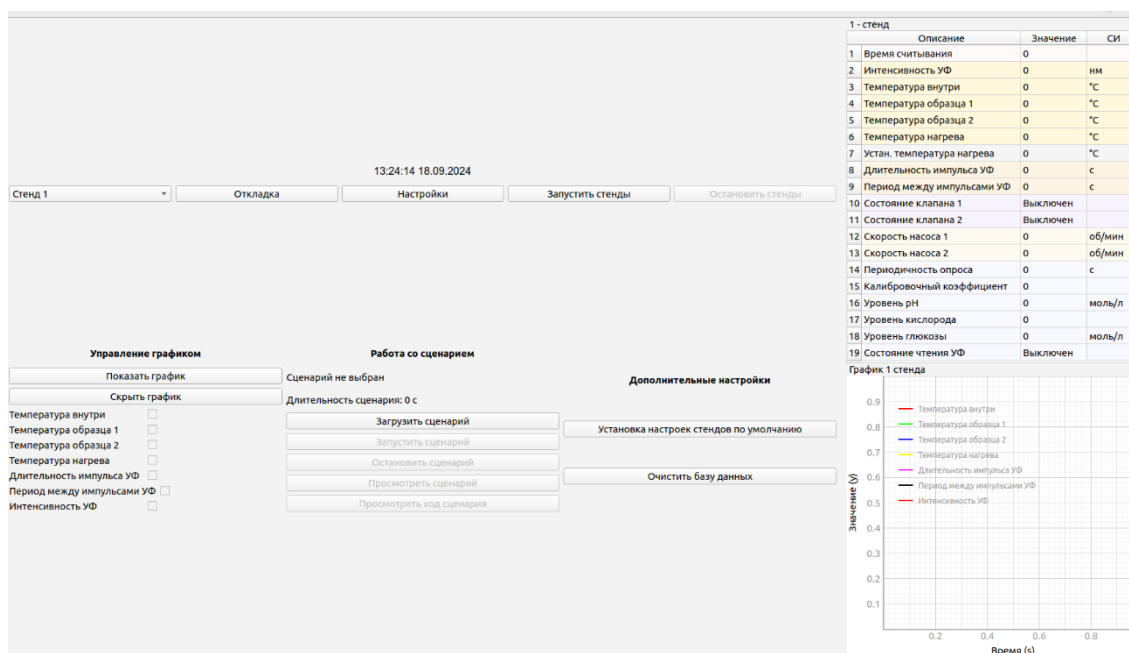


Рис. 3. Главное окно программы

Окно настроек позволяет управлять параметрами выбранного стенда, разделенными на секции: «Основные», «УФ» и «Кислотность». Секция «Основные» предоставляет управление клапанами (загрузка/слив) в реальном времени, настройку скорости насосов (включая реверс) и установку температуры нагрева. Секция «УФ» включает настройку длительности и периодичности УФ-импульсов, интервала опроса и калибровочного коэффициента, а также управление чтением данных УФ-излучения. Секция «Кислотность» предназначена для задания значений pH, уровня кислорода и концентрации глюкозы.

Система поддерживает автоматизированное управление стендами через сценарии, задающие параметры и время выполнения для каждого стенда. Загрузка предварительно подготовленных сценариев осуществляется через соответствующую кнопку, отображающую название, продолжительность и функции управления (запуск, отслеживание). Просмотр сценария предоставляет информацию о номере стенда, времени выполнения и действиях.

Работающий сценарий может быть приостановлен и возобновлен с последнего шага. Статусы действий обновляются автоматически.

Программа генерирует уведомления об ошибках, указывая на сбои во взаимодействии со стендом. Пользователь информируется о завершении сценариев, состоянии соединения (например, низкое качество связи или отсутствие ответа) и других событиях. При завершении работы программы все подключенные стенды автоматически останавливаются, обеспечивая безопасное завершение работы оборудования.

Заключение

Разработана программно-аппаратная платформа для ускоренных испытаний имплантируемых датчиков, в частности для датчиков системы непрерывного мониторинга глюкозы. Аппаратная часть платформы включает пять независимых тестовых ячеек, управляемых через Raspberry Pi CM4 с использованием протокола MODBUS RTU. Каждая ячейка моделирует реальные условия работы датчика, используя перистальтические насосы, нагреватель, электромагнитные клапаны и датчики. Программное обеспечение на Python с интерфейсом QT и базой данных MariaDB обеспечивает удобное управление, мониторинг и автоматизацию испытаний. Модульная архитектура и кроссплатформенность делают платформу гибким инструментом для ускорения разработки медицинских технологий и улучшения диагностики диабета. Программно-аппаратный комплекс обеспечивает возможность адаптации для исследований других типов имплантируемых датчиков, что расширяет его применение в различных медицинских задачах. Применение на практике разработанного оборудования позволит сократить сроки разработки и внедрения новых имплантируемых приборов.

Список литературы

1. H. Bahrami, S. A. Mirbozorgi, L. A. Rusch, and B. Gosselin, «Biological channel modeling and implantable UWB antenna design for neural recording systems», IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 62, no.1, pp. 88-98, Jan. 2015.
2. J. Kim and Y. Rahmat-Samii, «Implanted antennas inside a human body: Simulations, designs, and characterizations», IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 52, no. 8, pp. 1934–1943, Aug. 2004.
3. E.Y. Chow, A. L. Chlebowski, and P. Irazoqui, «A miniature implantable RF-wireless active glaucoma intraocular pressure monitor», IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst., vol. 4, no. 6, pp. 340–349, Dec. 2010.
4. Mordor Intelligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/active-implantable-medical-devices-market>.
5. A. T. Mobashsher, A. M. Abbosh, «Artificial Human Phantoms: Human Proxy in Testing Microwave Apparatuses That Have Electromagnetic Interaction with the Human Body», March 2015, IEEE Microwave Magazine 16(6), DOI: 10.1109/MMM.2015.2419772.
6. А.Н.Осипов, А.П.Клюев, М.П.Батура, Е.Н.Каленкович, «Прототип информационной системы испытательного стенда взаимодействия электромагнитного излучения с биообъектами» Десятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIGDATA и анализ высокого уровня», Минск, Республика Беларусь, 13 марта 2024 год, с470-472.
7. WaveShare [Электронный ресурс]. – Режим доступа :<https://www.waveshare.com/wiki/CM4-DISP-BASE-7A-BOX>
8. Raspbian OS [Электронный ресурс]. – Режим доступа :<https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/>