

## РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup>Г.И. Жолдангарова, <sup>2,3</sup>М.Н. Калимолдаев, <sup>4,5</sup>В.Б. Барахнин, <sup>2,3</sup>Г.З. Зиятбекова ✉,  
<sup>3</sup>М.Т. Аршидинова

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

<sup>3</sup>Институт информационных и вычислительных технологий, КН МНВО РК, Алматы, Казахстан,

<sup>4</sup>Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск, Россия,

<sup>5</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

✉ Корреспондент-автор: ziyatbekova@mail.ru

В статье рассматривается разработка микропроцессорной системы для мониторинга нагрузки электроэнергетических систем на основе технологий IoT. Приведен обзор научных исследований в данной области. В качестве пилотного прототипа разработана микропроцессорная система измерения климатических параметров, а также напряжения и тока. Система предназначена для обеспечения эффективного контроля и управления тепловым насосом и связанным оборудованием. Построена информационная схема, которая описывает взаимодействие между компонентами системы мониторинга нагрузки электроэнергетических систем и потоки информации от датчиков до конечного хранения данных.

**Ключевые слова:** микропроцессорная система, датчик, микрокомпьютер Raspberry, контроллер, платформа Arduino MEGA и FPGA.

## ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЖҮКТЕМЕСІН БАҚЫЛАУ ҮШІН ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУДІҢ МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

<sup>1</sup>Г.И. Жолдангарова, <sup>2,3</sup>М.Н. Калимолдаев, <sup>4,5</sup>В.Б. Барахнин, <sup>2,3</sup>Г.З. Зиятбекова ✉,  
<sup>3</sup>М.Т. Аршидинова

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>3</sup>Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, ҚР ҒК ҒЖБМ, Алматы, Қазақстан,

<sup>4</sup>Ақпараттық және есептеу технологияларын Федералды зерттеу орталығы, Новосибирск, Ресей,

<sup>5</sup>Новосибирск мемлекеттік университеті, Новосибирск, Ресей,


e-mail: igibaevna@bk.ru

Мақалада IoT технологияларына негізделген электр энергетикалық жүйелерінің жүктемесін бақылауға арналған микропроцессорлық жүйенің дамуы қарастырылады. Осы саладағы ғылыми зерттеулерге шолу жасалған. Пилоттық прототип ретінде климаттық параметрлерді, сондай-ақ кернеу мен тоқты өлшейтін микропроцессорлық жүйе жасалды. Жүйе жылу сорғысымен байланысты жабдықты

тиімді бақылау мен басқаруды қамтамасыз етуге арналған. Электр энергетикалық жүйелердің жүктемесін бақылау жүйесінің компоненттері мен сенсорлардан деректерді соңғы сақтауға дейінгі ақпарат ағындары арасындағы өзара әрекеттесуді сипаттайтын ақпараттық схема құрылды.

**Түйін сөздер:** микропроцессорлық жүйе, сенсор, Raspberry микрокомпьютері, контроллер, Arduino Mega платформасы және FPGA.

## DEVELOPMENT OF A MICROPROCESSOR-BASED DATA TRANSMISSION SYSTEM FOR LOAD MONITORING OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

<sup>1</sup>G.I. Zholdangarova, <sup>2,3</sup>M.N. Kalimoldayev, <sup>4,5</sup>V.B. Barakhnin, <sup>2,3</sup>G.Z. Ziyatbekova ,  
<sup>3</sup>M.T. Arshidinova

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan,

<sup>4</sup>Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Novosibirsk, Russia,

<sup>5</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia,

e-mail: igibaevna@bk.ru

The paper deals with the development of a microprocessor-based system for load monitoring of electric power systems based on IoT technologies. An overview of scientific research in the field is given. A microprocessor-based system for measuring climatic parameters as well as voltage and current has been developed as a pilot prototype. The system is designed to provide effective monitoring and control of the heat pump and related equipment. An information scheme is constructed that describes the interaction between components of the power system load monitoring system and the information flows from the sensors to the final data storage system.

**Keywords:** microprocessor system, sensor, Raspberry microcomputer, controller, Arduino MEGA and FPGA platform.

**Введение.** Рост населения и экономики Республики Казахстан приводит к огромному спросу на электроэнергию и энергетические ресурсы. Как отмечают аналитики казахстанской версии журнала «Forbes», в целом по стране наблюдается дефицит электроэнергии, что делает энергетический сектор уязвимым. Казахстан столкнулся с дефицитом электрической энергии и мощности, который в вечерние часы составляет более 1,3 ГВт. В региональном же разрезе, особенно в южной зоне, дефицит электроэнергии серьезно подрывает энергетическую безопасность страны. Только в марте 2023 года в Южном Казахстане производство компенсировало всего 57,2% потребления — дефицит составил 971,0 млн кВт·ч.

В сложившихся условиях важно иметь инстру-

мент для мониторинга нагрузки в энергосистеме с целью выявления на его основе возможности развития критических ситуаций, чтобы иметь возможность принимать управленческие решения для недопущения их возникновения. Эффективным методом решения данной задачи является использование технологий Интернета вещей (IoT) для мониторинга процессов в энергосистеме [1], сочетающего в себе несколько методов анализа и прогнозирования данных о потреблении электроэнергии [2].

Использование IoT в энергетическом секторе относится к числу бурно развивающихся в настоящее время технологий. Нашим вкладом в развитие этой области будет разработка встроенного контроллера Arduino MEGA и FPGA. Все кри-

---

тические параметры на подстанции, включая напряжение, частоту, мощность, состояние выключателя и температуру внутри системы, контролируются с его использованием посредством занесения в базу данных веб-сервера для последующего анализа. Предопределенные механизмы запуска событий также запрограммированы на контроллере с функциями записи: данные записываются контроллером и передаются на веб-сервер с помощью микроконтроллера ESP32. Контроллер, встроенный в FPGA, обеспечивает высокоскоростные и надежные функции сбора и обработки данных.

Информационные системы имеют преимущества по сравнению с традиционными методами мониторинга. Они способны выявлять сложные закономерности в данных, что повышает точность прогнозов. В целом разработка этой информационной системы открывает перспективы для повышения надежности и эффективности энергосистем.

Стратегической целью этой программы является разработка информационной системы для мониторинга нагрузки электроэнергетических сетей на основе IoT-технологий, использующих встроенный контроллер Arduino MEGA и FPGA для мониторинга на подстанции напряжения, частоты, мощности, состояния выключателя, температуры внутри системы.

Микропроцессорная система включает в себя следующие компоненты:

- Модуль сбора данных: Сбор данных о нагрузке и других параметрах сети с помощью датчиков IoT.
- Модуль очистки данных: Предварительная обработка данных для удаления шумов и выбросов.
- Модуль представления результатов: Формирование отчетов и визуализация результатов прогнозирования.

**Литературный обзор.** Интернет вещей (IoT) стал революционной технологией в области мониторинга энергосетей [3, 4]. Благодаря решению проблем и использованию возможностей FPGA продолжит трансформировать энергетический

сектор [5]. В [6, 7, 8] статьи охватывают широкий спектр тем, включая приложения IoT для мониторинга нагрузки, преимущества и проблемы использования IoT, а также будущие направления развития в Республике Казахстан.

Прежде всего, отметим статью [8] академика М.Н. Калимолдаева, которая вносит весомый вклад в разработку информационных систем с интегрированными модулями машинного обучения для робототехники и автоматизации. Идеи этой статьи получают дальнейшее развитие в данной работе. Направление исследований определяется тем, что Интернет вещей в последнее время приобрел широкое распространение. Так в статье [9] представлен подход на основе Интернета вещей к решению проблем энергетики.

Данное исследование реализовано для удовлетворения этих потребностей путем разработки нового интеллектуального датчика FPGA. Указанный подход для решения различных задач описан в работах [10, 11, 12, 13, 14].

Многочисленное выполнение прикладной программы отнимает огромное количество времени. Чтобы сократить время выполнения, в статье [15] предлагается использовать адаптивную модель.

Автор в [16] предположил, что использование технологии Fog/Edge может обеспечить решение таких проблем, как осуществимость Интернета вещей (соображения безопасности в отношении вычислений и стоимости системы) и будущая осуществимость (надлежащее проектирование инфраструктуры для будущих приложений).

Управление электроприборами включает в себя сбор и анализ данных об их энергопотреблении, оптимизацию графиков их работы, расчет показателей энергопотребления и реализацию решений по оптимизации энергопотребления [17].

Статьи [18, 19, 20, 21] содержат ценную информацию об использовании Интернета вещей для повышения эффективности и надежности электроэнергетических сетей посредством мониторинга нагрузки.

Вот некоторые ключевые выводы из этих статей:

- Технологии Интернета вещей могут значительно повысить точность мониторинга и прогнозирования нагрузки.

- Системы на базе Интернета вещей могут собирать данные в режиме реального времени из широкого спектра источников, которые можно использовать для разработки более точных моделей нагрузки.

- Системы на базе Интернета вещей можно использовать для выявления событий экстремальной нагрузки, что может помочь предотвратить перебои в подаче электроэнергии.

- Системы на базе Интернета вещей можно использовать для оптимизации энергопотребления, что может помочь снизить затраты и воздействие на окружающую среду.

**Материалы и методы.** Рассмотрена методика экспериментальных исследований, описан процесс обработки результатов измерения.

### **Результаты и обсуждение.**

*Этап 1. Для начального этапа, разработки умной системы для мониторинга электропотребления, уровни Технологической Готовности (TRL) могут быть описаны следующим образом:*

- теоретическое исследование возможностей интеграции датчиков IoT и интеллектуальных счетчиков;
- разработка и тестирование первичных версий системы с использованием реальных данных в лабораторных условиях;
- анализ данных и предоставление информации о потреблении электроэнергии пользователям.

Каждый этап TRL требует определенных исследований, разработок и тестирований, а также постепенного увеличения масштаба и их сложно-

сти. Это обеспечивает систематический подход к разработке и внедрению технологии.

*Этап 2. Разработка высокоскоростной системы сбора и обработки данных контроллера.*

На втором этапе контроллер, встроенный в FPGA, обеспечивает высокоскоростной и надежный сбор и обработку данных. Сбор данных осуществляется с помощью датчиков Zmpt101b и ACQ720. Благодаря высокой частоте дискретизации системы как установившиеся, так и переходные режимы энергосистемы контролируются с использованием одного источника времени. С помощью платформы IoT данные передаются через локальную сеть для записи в базу данных. Критерием успешной реализации будет точность, надежность и производительность системы.

Технологическая готовность определяется наличием высокоскоростной системы сбора и обработки данных контроллера в составе полнофункционального макета информационной системы мониторинга нагрузки электроэнергетических сетей – индекс готовности [22, 23].

*Этап 3. Разработка методов и протоколов связи, а также необходимых мер кибербезопасности для занесения на сервер данных встроенного контроллера Arduino MEGA и FPGA.*

Основными принципами исследования являются существующие технологии и методы передачи данных и кибербезопасности. Теоретическая разработка концепции протоколов связи и мер кибербезопасности для Arduino MEGA и FPGA.

TRL включает в себя углубление исследований, разработок и тестирований, обеспечивая поэтапный и систематический подход к разработке и внедрению технологии в реальные условия.

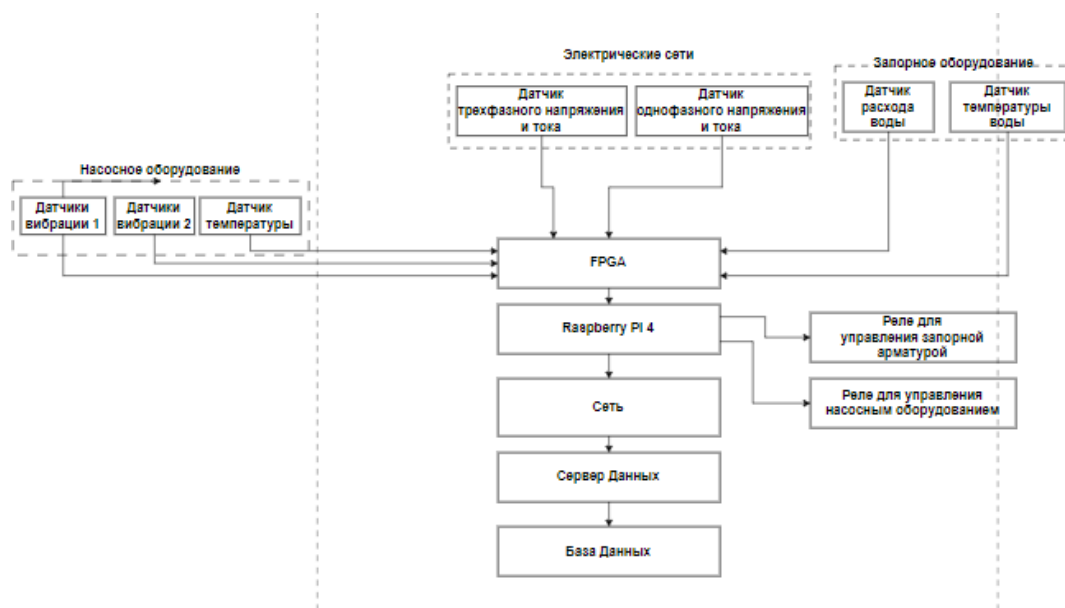


Рис. 1 - Структурная схема системы

Опишем пилотный прототип создаваемой системы, предназначенный для обеспечения эффективного контроля и управления тепловым насосом и связанным оборудованием, основная задача которого – сбор данных от датчиков, их обработка и использование для управления насосом и запорной арматурой в реальном времени. Информационная схема описывает взаимодействие между компонентами системы и потоком информации от датчиков до конечного хранения данных (Рисунок 1).

#### Описание компонентов и их взаимодействия

##### Датчики:

- Датчики вибрации 1 и 2 устанавливаются на корпусе насоса и ближе к ротору, чтобы измерять вибрации, которые могут указывать на возможные механические неисправности или износ.
- Датчик температуры монтируется на корпусе насоса рядом с подшипниками, отслеживая его рабочую температуру для предотвращения перегрева.
- Датчик трёхфазного напряжения и тока измеряет параметры трехфазных цепей, что позволяет контролировать (для мониторинга) нагрузку и напряжение.
- Датчик однофазного напряжения и тока

контролирует однофазные цепи, обеспечивая дополнительную информацию о состоянии системы.

- Датчик расхода воды измеряет объем или поток воды, проходящей через насос, чтобы обеспечить его оптимальную работу и предотвратить возможные проблемы.
- Датчик температуры воды контролирует температуру воды в системе, что важно для управления процессами и предотвращения перегрева.

**Сбор данных:** Все датчики передают данные на Raspberry Pi 4 через FPGA, который выполняет первичную обработку всех данных (вибрации, температуры, напряжения и тока), т.е. регулярно отправляют свои показания.

##### Устройства управления:

- Реле для управления запорной арматурой управляет клапанами и запорной арматурой в системе, контролируя потоки жидкости и обеспечивая их правильное направление.
- Реле для управления насосом включает/выключает насос в зависимости от условий работы, заданных в программном обеспечении Raspberry Pi 4. Это позволяет автоматически регулировать работу насоса в ответ на изменения в системе. Raspberry Pi 4 отправляет команды на

реле для управления насосом и запорной арматурой, основываясь на полученных данных и выполненном анализе.

Команды управления реле (для запорной арматуры и насоса) формируются на основе данных от датчиков и логики управления.

#### *FPGA:*

- FPGA получает данные от всех датчиков (вибрация, температура, трехфазное и однофазное напряжение и ток).
- Выполняет первичную обработку данных, включая фильтрацию и сглаживание.
- Обработанные данные передаются на Raspberry Pi 4.

#### *Контроллер:*

- Raspberry Pi 4 (центральный контроллер системы)

Платформа IoT основана на базе Raspberry Pi 4, которая является основной в системе и необходима для обработки данных; управления реле и передачи данных через сеть. Данные могут быть переданы на сервер для хранения и анализа. Сервер базы данных принимает данные от платформы IoT и сохраняет их для дальнейшего отображения в ситуационном центре, анализа и отчетности.

Raspberry Pi 4 и FPGA выступает в роли центрального контроллера системы. Они принимают данные от всех датчиков через соответствующие интерфейсы (GPIO, SPI, I2C или USB). Raspberry Pi 4 обрабатывает данные, выполняет вычисления и принимает решения на основе предустановленных алгоритмов.

*Обработка данных:* Raspberry Pi 4 через FPGA получает данные от датчиков, обрабатывает их в реальном времени, используя установленные алгоритмы и логические правила. На основе анализа данных принимаются решения о необходимости включения или выключения насосов и управления запорной арматурой.

#### *Интерфейсы и связи:*

- Интерфейсы датчиков (например, аналоговые выходы, цифровые сигналы)

- SPI/I2C/USB (интерфейсы для подключения датчиков и реле к Raspberry Pi 4)
- Ethernet/Wi-Fi (для передачи данных в локальную сеть)

#### *Платформа IoT:*

- Локальная сеть (LAN)
- Сервер данных (для хранения и обработки данных)

Данные от Raspberry Pi 4 передаются в локальную сеть (LAN) через Ethernet или Wi-Fi. Платформа IoT в сети обеспечивает связь между Raspberry Pi 4 и сервером данных. Сервер данных принимает и хранит данные, переданные от Raspberry Pi 4. Это может включать в себя хранение исторических данных, обработку информации и выполнение аналитики.

#### *База данных:*

Сервер базы данных (например, SQL или NoSQL база данных для хранения данных). База данных на сервере служит для долговременного хранения данных. Здесь сохраняются все данные, полученные от датчиков и обработанные контроллером. База данных также используется для формирования отчетов и анализа состояния системы. Обработанные данные передаются в локальную сеть, затем на сервер данных, где сохраняются в базе данных. Данные могут быть использованы для последующего анализа, формирования отчетов и оптимизации работы системы.

*Реляционная база данных (SQL). Форматы и таблицы:*

#### *Таблица sensor\_data:*

- id (INT, PK) — Уникальный идентификатор записи
- timestamp (TIMESTAMP) — Время измерения
- sensor\_type (VARCHAR) — Тип датчика (вибрация, температура, напряжение и т.д.)
- sensor\_location (VARCHAR) — Местоположение датчика (например, корпус насоса, ротор и т.д.)
- value (FLOAT) — Значение измерения

#### *Таблица device\_control:*

- id (INT, PK) — Уникальный идентификатор записи
- timestamp (TIMESTAMP) — Время управления
- device\_type (VARCHAR) — Тип устройства (например, насос, запорная арматура)
- action (VARCHAR) — Действие (включить/выключить)

*Таблица system\_logs:*

- id (INT, PK) — Уникальный идентификатор записи
- timestamp (TIMESTAMP) — Время события
- log\_type (VARCHAR) — Тип лога (ошибка, предупреждение и т.д.)
- message (TEXT) — Сообщение лога

*Преимущества:*

- Хорошо структурированы данные.
- Поддержка сложных запросов и транзакций.
- Хорошая поддержка для аналитики и отчетности.

Приступим к описанию разрабатываемой система мониторинга электропотребления. Предлагается следующая ее схема, состоящая из трех блоков:

- 1) блок приема и передачи текущей информации (вибрации, температуры, напряжения и тока);
- 2) блок обработки постоянной и оперативной информации об угрозе аварии (сервер);
- 3) блок прогнозирования аварийных ситуаций в энергосистемах.

Основной информацией для мониторинга нагрузки электроэнергетических систем являются данные, поступающие от датчиков, показанных на рисунке 1. Дополнительную информацию дают данные с датчиков через соответствующие интерфейсы. Блок приема-передачи текущей информации реализован в виде датчиков вибрации, температуры, напряжения и тока. Датчики подключены к микропроцессору Arduino, который обеспечи-

вает предварительную обработку поступающих с датчиков данных и передает их для дальнейшей обработки. Используется устройство на базе микроконтроллера ATmega 328. В комплект поставки входит все необходимое для удобной работы с микроконтроллером. Для начала работы с устройством достаточно подать питание от адаптера переменного/постоянного тока или аккумулятора, либо подключить его к компьютеру с помощью USB-кабеля.

Блок обработки постоянной и оперативной информации об угрозе аварийных ситуаций содержит постоянную информацию о характеристиках энергосистемы, а также оперативно получает текущую информацию, на основе обработки которой блок рассчитывает уровень безопасности, тревожности или катастрофичности электроэнергетического комплекса. В последнем случае он автоматически оповещает государственные органы (МЧС, акиматы и т.д.) о возможной угрозе аварии.

**Выводы.** В целом использование Интернета вещей для мониторинга нагрузки электроэнергетических сетей является быстро развивающейся областью исследований, которая потенциально может оказать существенное влияние на энергетический сектор.

Дано описание разработанной в Казахстане технологии мониторинга нагрузки электроэнергетических систем, обсуждены результаты ее практического использования в отдельных регионах и намечены направления дальнейшего развития. Сформулированы цель и основные задачи исследований, направленных на разработку методики прогнозирования электроэнергетической аварии как чрезвычайной ситуации на основе анализа различных существующих методов. Использован метод непрерывной волны или метод ультразвукового импульсного эха. В качестве пилотного прототипа разработана автономная микрокомпьютерная система передачи климатических данных на основе микропроцессорной техники и датчиков. Разработана программа мониторинга факторов волн нагрузки в режиме реального времени для датчиков определения уровня безопасности.

**Финансирование.** Работа выполнена за счет средств грантового финансирования исследований на 2024-2026 годы по проекту АР23490529 «Разработка информационной системы и математических моделей для мониторинга и прогнозирования нагрузки электроэнергетических систем на основе гибридных технологий».

### Литература

1. Ahmed N., De D., Hussain M. I. Internet of things (IoT) for smart precision agriculture and farming in rural areas // IEEE Internet of Things Journal. 2018. Vol. 5(6)- P. 4890- 4899. DOI 10.1109/JIOT.2018.2879579
2. Liangzhi Li, Kaoru Ota, Mianxiong Dong. When Weather Matters: IoT-Based Electrical Load Forecasting for Smart Grid // IEEE Communications Magazine, 2017. – Vol. 5(10).- P. 46-51. DOI 10.1109/MCOM.2017.1700168
3. Prasanna Hambarde, Rachit Varma, Shivani Jha. The Survey of Real Time Operating System: RTOS. – IEEE International Conference on Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies, 2014. DOI 10.1109/ICESC.2014.15
4. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M., Sundetov T. Information systems of integrated machine learning modules on the example of a verbal robot // News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2019. -No. 6(438).- P. 215-222. DOI 10.32014/2019.2518-170X.173
5. Kalimoldayev M., Tynymbayev S., Magzom M., Tananova D., Lyshevski S. FPGA Implementation of Encryption Algorithms Based on Residual Polynomials // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), IEEE, Kyiv, Ukraine, 2020. DOI 10.1109/ELNANO50318.2020.9088890
6. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Determination of the power interaction of the hydro turbine GRID with a fluid flow for a double-rotor micro hydro power plant // Известия НАН РК. Серия физико-математическая, 2019. – No. 4. – P. 59-67. DOI 10.32014/2019.2518-1726.4
7. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Development and research of a mathematical model of a solar photo converter with an inverter for converting direct current to alternating voltage // Известия НАН РК. Серия физико-математическая, 2019. – No. 4. – P. 135-142. DOI 10.32014/2019.2518-1726.52
8. Kalimoldayev M.N., Pak I. T., Baipakbayeva S., Mun G., Shaltykova D. B., I. E. Suleimenov. Methodological basis for the development strategy of artificial intelligence systems in the Republic of Kazakhstan in the message of the president of the Republic of Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of the Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2018. – Vol. 6. – P. 47-54. DOI 10.32014/2018.2518-170X.34
9. Kalimoldayev M.N., Abdildayeva A., Zhukabayeva T., Turaev Sh. The investigation of the internet of things (IoT) in electric power systems // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 2019. – Vol. 5. – No. 437. – P. 144-150. DOI 10.32014/2019.2518-170X.136
10. [online] Available: <http://www.ni.com/fpga/> (17.07.2024)
11. Introduction to FPGA technology: Top 5 benefits, [online] Available: <http://www.ni.com/white-paper/6984/en/> (13.05.2024)
12. Hao Z., Lianping G., Jie M., and Peng Y. Research on the hardware co-processing technology for



- 
- waveform character searching with a digital oscilloscope, Proc. 13th IEEE Int. Conf. Electron. Meas. Instrum, 2017.-P. 92-97. DOI 10.1109/ICEMI.2017.8265920
- 13.Escobar F.A., Chang X., and Valderrama C. Suitability analysis of FPGAs for heterogeneous platforms in HPC, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2016, – Vol. 27(2). – P. 600-612. DOI 10.1109/TPDS.2015.2407896
- 14.Sheng J., Yang C., Sanaullah A., Papamichael M., Caulfield A., and Herbordt M.C. HPC on FPGA clouds: 3D FFTs and implications for molecular dynamics, 2017. – Proc. 27th Int. Conf. Field Program. Logic Appl. DOI 10.23919/FPL.2017.8056853
- 15.Chen R., and Prasanna V.K. Computer generation of high throughput and memory efficient sorting designs on FPGA, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2017. – Vol. 28. – No. 11. – P. 3100-3113. DOI: 10.1109/TPDS.2017.2705128
- 16.Хироаки Н. Information and communication platform for providing smart community services: System implementation and use case in Saitama city // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, 2018. – P. 1375-1380. DOI 10.1109/ICIT.2018.8352380.
- 17.Hussien N. Ali, Daleh Al-Magsoosi A.A., AlRikabi S., Abed F.T. Monitoring the Consumption of Electrical Energy Based on the Internet of Things Applications // International Journal of Interactive Mobile Technologies.- 2021.-Vol.15(07). DOI 10.3991/ijim.v15i07.20183.
- 18.Motlagh N.H., Mohammadrezaei M., Hunt J., Zakeri B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector // Energies, 2020. DOI:10.3390/en13020494
- 19.Liu Hua, Junguo Zhang, Lin Fantao. Internet of Things Technology and its Applications in Smart Grid // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering.- 2014.-Vol. 12. (2)- DOI 10.11591/telkom nika.v12i2.4178
- 20.Tanveer Ahmad, Dongdong Zhang. Using the internet of things in smart energy systems and networks //Sustainable Cities and Society.- 2021.-Vol. 68. DOI 10.1016/j.scs.2021.102783
- 21.Mohammad Kamrul Hasan, Musse Mohamud Ahmed, Bishwajeet Pandey, Hardik Gohel, Shayla Islam, Izzul Fitrie Khalid. Internet of Things-Based Smart Electricity Monitoring and Control System Using Usage Data // Wireless Communications and Mobile Computing.- 2021.- P.1-16/ DOI 10.1155/2021/6544649
- 22.Chen C., Li K., Duan M. Chapter 6. Extreme Learning Machine and Its Applications in Big Data Processing. Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence Intelligent Data-Centric Systems, 2017. – Pp. 117-150. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809393-1.00006-4>
- 23.Heddam S., Kim S., Mehr A., Zounemat-Kermani M. Chapter 11. A long short-term memory deep learning approach for river water temperature prediction. Current Trends and Advances in Computer-Aided Intelligent Environmental Data Engineering Intelligent Data-Centric Systems, 2022. - P. 243-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85597-6.00015-X>.

## References

- 1.Ahmed N., De D., Hussain M. I. Internet of things (IoT) for smart precision agriculture and farming in rural areas // IEEE Internet of Things Journal. 2018. Vol. 5(6)- P. 4890- 4899. DOI 10.1109/JIOT.2018.2879579
2. Liangzhi Li, Kaoru Ota, Mianxiong Dong. When Weather Matters: IoT-Based Electrical Load Forecasting for Smart Grid // IEEE Communications Magazine, 2017. – Vol. 5(10).- P. 46-51. DOI 10.1109/MCOM.2017.1700168
- 3.Prasanna Hambarde, Rachit Varma, Shivani Jha. The Survey of Real Time Operating System: RTOS. – IEEE International Conference on Electronic Systems, Signal Processing and

---

Computing Technologies, 2014. DOI 10.1109/ICESC.2014.15

4. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M., Sundetov T. Information systems of integrated machine learning modules on the example of a verbal robot // News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2019. -No. 6(438).- P. 215-222. DOI 10.32014/2019.2518-170X.173
5. Kalimoldayev M., Tynymbayev S., Magzom M., Tananova D., Lyshevski S. FPGA Implementation of Encryption Algorithms Based on Residual Polynomials // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), IEEE, Kyiv, Ukraine, 2020. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088890
6. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Determination of the power interaction of the hydro turbine GRID with a fluid flow for a double-rotor micro hydro power plant // Izvestiya NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya, 2019. – No. 4. – P. 59-67. DOI10.32014/2019.2518-1726.4
7. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Development and research of a mathematical model of a solar photo converter with an inverter for converting direct current to alternating voltage // Izvestiya NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya, 2019. – No. 4. – P. 135-142. DOI 10.32014/2019.2518-1726.52
8. Kalimoldayev M.N. Methodological basis for the development strategy of artificial intelligence systems in the Republic of Kazakhstan in the message of the president of the Republic of Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of the Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2018. – Vol. 6. – P. 47-54. DOI10.32014/2018.2518-170X.34
9. Kalimoldayev M.N. The investigation of the internet of things (IoT) in electric power systems // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 2019. – Vol. 5. – No. 437. – P. 144-150. DOI 10.32014/2019.2518-170X.136
10. [online] Available: <http://www.ni.com/fpga/> (17.07.2024)
11. Introduction to FPGA technology: Top 5 benefits, [online] Available: <http://www.ni.com/white-paper/6984/en/> (13.05.2024)
12. Hao Z., Lianping G., Jie M., and Peng Y. Research on the hardware co-processing technology for waveform character searching with a digital oscilloscope, Proc. 13th IEEE Int. Conf. Electron. Meas. Instrum, 2017. – P. 92-97. DOI 10.1109/ICEMI.2017.8265920
13. Escobar F.A., Chang X., and Valderrama C. Suitability analysis of FPGAs for heterogeneous platforms in HPC, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2016, – Vol. 27. –No. 2. – P. 600-612. DOI 10.1109/TPDS.2015.2407896
14. Sheng J., Yang C., Sanaullah A., Papamichael M., Caulfield A., and Herbordt M.C. HPC on FPGA clouds: 3D FFTs and implications for molecular dynamics, 2017. – Proc. 27 th Int. Conf. Field Program. Logic Appl.
15. Chen R., and Prasanna V.K. Computer generation of high throughput and memory efficient sorting designs on FPGA, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2017. – Vol. 28. – No. 11. – P. 3100-3113. DOI 10.23919/FPL.2017.8056853
16. Hiroaki N. Information and communication platform for providing smart community services: System implementation and use case in Saitama city // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, 2018. – P. 1375-1380. DOI 10.1109/ICIT.2018.8352380.
17. Hussien N. Ali, Daleh Al-Magsoosi A.A., AlRikabi S., Abed F.T. Monitoring the Consumption of Electrical Energy Based on the Internet of Things Applications // International Journal of Interactive

---

Mobile Technologies, 2021.-Vol.15(07). .

18.Motlagh N.H., Mohammadrezaei M., Hunt J., Zakeri B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector // Energies, 2020. DOI:10.3390/en13020494

19.Liu Hua, Junguo Zhang, Lin Fantao. Internet of Things Technology and its Applications in Smart Grid // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering.- 2014.-Vol. 12. (2)- DOI 10.11591/telkomnika.v12i2.4178

20.Tanveer Ahmad, Dongdong Zhang. Using the internet of things in smart energy systems and networks //Sustainable Cities and Society.- 2021.-Vol. 68. DOI 10.1016/j.scs.2021.102783

21.Mohammad Kamrul Hasan, Musse Mohamud Ahmed, Bishwajeet Pandey, Hardik Gohel, Shayla Islam, Izzul Fitrie Khalid. Internet of Things-Based Smart Electricity Monitoring and Control System Using Usage Data // Wireless Communications and Mobile Computing.- 2021.- P.1-16. DOI 10.1155/2021/6544649

22.Chen C., Li K., Duan M. Chapter 6. Extreme Learning Machine and Its Applications in Big Data Processing. Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence Intelligent Data-Centric Systems, 2017. – P. 117-150.<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809393-1.00006-4>

23.Heddami S., Kim S., Mehr A., Zounemat-Kermani M. Chapter 11. A long short-term memory deep learning approach for river water temperature prediction. Current Trends and Advances in Computer-Aided Intelligent Environmental Data Engineering Intelligent Data-Centric Systems, 2022. – P. 243-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85597-6.00015-X>

#### *Сведения об авторах*

Жолдангарова Г.И - докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: [igibaevna@bk.ru](mailto:igibaevna@bk.ru);

Калимолдаев М.Н.-доктор физико-математических наук, профессор, академик Национальной Академии Республики Казахстан; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, e-mail: [mnk@ipic.kz](mailto:mnk@ipic.kz);

Баракнин В.Б.- доктор технических наук, заведующий лабораторией Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий, заведующий кафедрой математического моделирования Новосибирского государственного университета, Новосибирск, Россия, e-mail: [bar@ict.nsc.ru](mailto:bar@ict.nsc.ru);

Зиятбекова Г.З. – PhD, и.о. доцента Казахского национального университета имени аль-Фараби, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, автор-корреспондент, e-mail: [ziyatbekova@mail.ru](mailto:ziyatbekova@mail.ru);

Аршидинова М.Т.- PhD, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий, КН МНВО РК; Алматы, Казахстан, e-mail: [Mukaddas\\_arshidi@mail.ru](mailto:Mukaddas_arshidi@mail.ru)

#### *Information about the authors*

G. Zholdangarova – Doctoral student at L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: [igibaevna@bk.ru](mailto:igibaevna@bk.ru);

M. Kalimoldayev-Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of the Republic of Kazakhstan; Chief Researcher, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [mnk@ipic.kz](mailto:mnk@ipic.kz);

V.Barakhnin - Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Head of the Department of Mathematical Modeling, Novosibirsk

State University, Novosibirsk, Russia, e-mail: bar@ict.nsc.ru;

G.Ziyatbekova - PhD, Acting Associate Professor Al-Farabi Kazakh National University, Senior Researcher, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ziyatbekova@mail.ru;

M.Arshidinova - PhD, Senior Researcher, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Mukaddas\_arshidi@mail.ru