

Наиболее перспективным решением в реализации MEMS охлаждения являются пьезоэлектрические насосы в микроканалах которые создают принудительную конвекцию в миниатюрных каналах для увеличения теплообмена, рисунок 6.

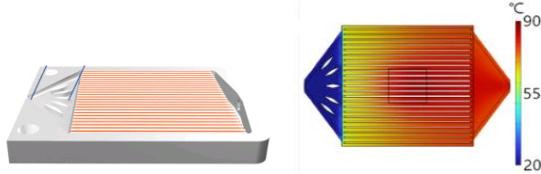


Рисунок 6 – Пример топологии микроканалов с пьезоэлектрическим насосом и тепловая модель охлаждаемой области [11]

В этом случае наиболее интересны пьезоэлектрики с высокой теплопроводностью, так как характерные размеры микроканалов для конвекции: ширина 10–200 мкм, высота 20–200 мкм при размерах пьезопривода (насоса): длина и ширина 10–200 мкм, толщина 1–20 мкм при толщине пьезослоя 0.5–5 мкм в зависимости от интенсивности деформации и требуемого усилия.

Перспективность применения микроканальных МЭМС систем с пьезоэлектрическими насосами и вентиляторами для охлаждения микроэлектронных устройств заключается в их компактности, высокой эффективности охлаждения. Они позволяют эффективно отводить тепло от небольших, но мощных микроэлектронных компонентов, таких как процессоры и микросхемы памяти. Пьезоэлектрические насосы и вентиляторы обеспечивают точное управление потоком охлаждающей жидкости или воздуха, что способствует оптимальному тепловому режиму работы устройств. Использование МЭМС технологий позволяет создавать интегрированные решения для охлаждения, уменьшая общие габариты системы.

УДК 621 384 3

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ, ВОЗДУШНЫХ И ПОЧВЕННЫХ СРЕД

Филатов С. А.^{1,2}, Долгих М. Н.², Гайкевич Д. Н.¹, Люцко К. С.¹, Филатова О. С.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГНУ «Институт тепло-и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Аннотация. Рассматриваются особенности реализации микропроцессорной система мониторинга водных, воздушных и почвенных сред с использованием геоинформационной системы QGIS.

Ключевые слова: сенсоры, геоинформационные системы, мониторинг.

A DISTRIBUTED MICROPROCESSOR-BASED SENSORS SYSTEM FOR MONITORING WATER, AIR, AND SOIL ENVIRONMENTS

Filatov S. A.^{1,2}, Dolgikh M. N.², Gaikevich D. N.¹, Lyutsko K. S.¹, Filatova O. S.²

¹Belarusian National Technical University

²GNU "Institute of Heat and Mass Transfer named after A. V. Lykov NAS of Belarus "

Minsk, Belarus

Abstract. The implementation features of a microprocessor-based sensors system for monitoring water, air, and soil environments using the QGIS geographic information system. are considered.

Keywords: sensors, geoinformation systems, monitoring.

Литература

1. Asadi Dereshgi, H. Analytical analysis of a circular unimorph piezoelectric actuator in the range of low voltages and pressures / H. Asadi Dereshgi, H. Dal, M. E. Sayan // *Microsystem Technologies*. – 2020. – Vol. 26, № 8. – P. 2453–2464.
2. Hales, A. A review of piezoelectric fans for low energy cooling of power electronics / A. Hales, X. Jiang // *Applied Energy*. – 2018. – Vol. 215. – P. 321–337.
3. Maaspuro, M. Piezoelectric oscillating cantilever fan for thermal management of electronics and LEDs—A review / M. Maaspuro // *Microelectronics Reliability*. – 2016. – Vol. 63. – P. 342–353.
4. Characterization and optimization of the thermal performance of miniature piezoelectric fans / T. Acikalin [et al.] // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. – 2007. – Vol. 28, № 4. – P. 806–815.
5. Optimum tip gap and orientation of multi-piezofan for heat transfer enhancement of finned heat sink in microelectronic cooling / M. K. Abdullah [et al.] // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2012. – № 25–26. – P. 7513–7520.
6. Heat transfer enhancement in microchannels with cross-flow synthetic jets / T. T. Chandratilleke [et al.] // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2010. – Vol. 49, № 12. – P. 2307–2317.
7. Piezoelectric micropump cooler for high-power electronic cooling / W. Tong [et al.] // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2024. – Vol. 233. – Art. 126062.
8. A High-Performance Synthetic Jet Piezoelectric Air Pump with Petal-Shaped Channel / X. Li [et al.] // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, № 9. – Art. 3227.
9. Analytical and experimental study of a valveless piezoelectric micropump with high flowrate and pressure load / J. Ni [et al.] // *Microsystems & Nanoengineering*. – 2023. – Vol. 9. – Art. 72.
10. Piezoelectric Active Air-Cooling Devices / B. Peng [et al.] // *Chip*. – 2025. – Art. 100163.
11. Piezoelectric micropump cooler for high-power electronic cooling / W. Tong [et al.] // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2024. – Vol. 233. – Art. 126062.

Адрес для переписки: Филатов С. А., Минск, ул. П.Бровки, 15, Республика Беларусь
e-mail: fil@hmti.ac.by

Мониторинг параметров почвы, растительности, воздуха и воды с помощью микропроцессорных датчиков и геоинформационных систем (ГИС) является необходимым процессом в точном земледелии для принятия обоснованных решений, поскольку он предоставляет точные данные в реальном времени, позволяя оптимизировать использование ресурсов, повысить урожайность и качество продукции, а также минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Микропроцессорные датчики с цифровым интерфейсом позволяют получить достоверную информацию о влажности почвы, температуре, уровне питательных веществ и других показателях, что позволяет точно регулировать полив, внесение удобрений и других агрохимикатов, избегая перерасхода и снижая затраты. Постоянное наблюдение за состоянием полей и растений позволяет своевременно выявлять проблемы и принимать меры, способствующие максимальному росту и лучшему качеству урожая [1, 2].

Сбор данных о состоянии воздуха и воды, а также анализ состояния почв помогают предотвратить загрязнение, эрозию и другие негативные процессы, связанные с антропогенным воздействием.

Применение ГИС обеспечивает интеграцию данные от множества распределенных датчиков и позволяют создавать наглядные карты полей, показывающие неоднородность условий. Это дает возможность применять различные агрономические операции дифференцированно, с учетом специфики каждого участка. Собранные данные используются для создания моделей развития растений и погодных условий, что помогает прогнозировать урожайность и планировать дальнейшие действия. Разработанная геоинформационная система предназначена для мониторинга экспериментально определяемых экологических параметров водных, воздушных и почвенных сред. Особенностью системы является отображение данных дистанционного зондирования Земли (влажности, индекса вегетации, температуры и др. параметров) с использованием сервисов ГИС QGIS, модулей «QuickMapServices», «Georeferencer GDAL», «Spreadsheet Layers» и данных внешних таблиц «MS Excel. QGIS – свободно распространяемая международная ГИС для создания, редактирования, визуализации, анализа и формирования отчетов по геопространственной информации. QGIS поддерживает большинство распространенных векторных и растровых форматов, баз данных, а также имеет развитый набор встроенных инструментов для организации эффективной работы с данными. QGIS позволяет создавать, редактировать векторные данные, экспортировать с пространственной привязкой к местности.



Рисунок 1 – Рабочее окно ГИС QGIS с отображением данных наземных наблюдений температуры и влажности почвы

Мониторинг индексов вегетации контролируемых земельных участков, в том числе ретроспективный мониторинг, осуществляется с помощью сервисов спутниковых данных Sentinel-2 для создания цифровых карт индексов вегетации NDVI, OSAVI и других, рисунок 2.

Результаты спутниковых данных дополнялись с помощью микропроцессорных датчиков (носимых, мобильных и стационарных), разработанных для измерения распределения температуры и влажности почвы до глубины 1 метр, солености (проводимости) почвы, наличия влаги с помощью почвенных тензиометров и качества воздуха (концентрации CO₂, NO, аэрозолей и т. д.) и текущих координат датчика, рисунок 3.

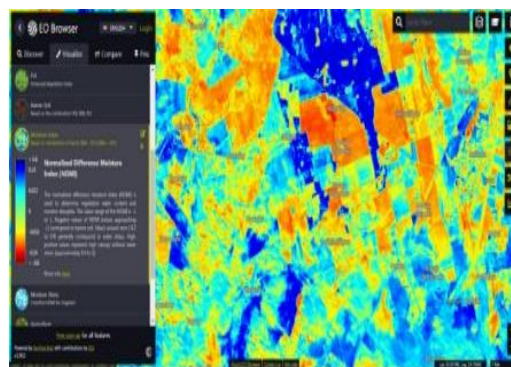


Рисунок 2 – Рабочее окно программы EOBrowser с выбранной областью анализа (индекс влажности почвы)



Рисунок 3 – Микропроцессорные датчики температуры, влажности почвы, качества воздуха и воды (ESP32 с модулями DHT22 (температура/влажность), датчики газа (MQ-135))

Особенностью разработанных систем является отображение на экране носимых микропроцессорных устройств номера датчика, значений температуры на различной глубине, влажности

и температуры воздуха. Микропроцессорные датчики собирают данные в режиме реального времени, в то время как геоинформационные системы (ГИС) анализируют и визуализируют эти данные, предоставляя информацию о состоянии полей, потребностях растений в воде и питательных веществах, а также о других факторах, влияющих на урожайность, таких как содержание азота, фосфора, калия в почве. Микропроцессорный датчик для инверсионного кулонометрического анализа для определения концентрации NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ , NH_4^+ , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в воде, рисунок 4, является упрощенным вариантом электрохимического анализатора с сенсорами на основе толстополеночных графитовых электродов. Инверсионный метод предполагает предварительное концентрирование анализируемых компонентов, что повышает чувствительность анализа [3, 4].



Рисунок 4 – Микропроцессорный электрохимический анализатор качества воды

При определении макро- и микроэлементов в почвенной воде на первом этапе осуществляется накопление (электролиз) ионов металлов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ , NH_4^+) на поверхности рабочего углеродного электрода под действием приложенного потенциала. После накопления потенциал электрода меняется на противоположный, что приводит к окислению

(для металлов) или восстановлению (для анионов) осажденных веществ. Ток, возникающий при этом процессе, пропорционален концентрации анализируемого вещества. Пики тока соответствуют конкретным веществам, а их высота или площадь под кривой – концентрации, что позволяет проводить быстрый и точный анализ качества воды, определяя наличие и концентрацию различных загрязнителей.

Прогнозирование и адаптивное управление агротехническими мероприятиями на основе данных с микропроцессорных датчиков (влажности, температуры, качества воздуха) предполагается реализовать, используя облачные сервисы или локальные базы данных для хранения и обработки информации. Анализ результатов систематических наблюдений позволяет выявить корреляции между параметрами и применить статистические методы для прогнозирования урожайности и потребности в поливе на основе данных о влажности почвы и прогноза погоды.

Литература

1. Review on IoT based smart agriculture monitoring system / G. Priyadharshini [et al.] // Int. Journal of Research and Analytical Reviews. – 2024. – Vol. 9. – P. 38–43.
2. A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies / V. Kumar [et al.] // Smart Agricultural Technology. – 2024. – Vol. 8. – Art. 100487.
3. Брайнина, Х. З. Инверсионные электроаналитические методы / Х. З. Брайнина, Е. Я. Нейман, В. В. Слепушкин. – М.: Химия, 1988. – 240 с.
4. Брайнина, Х. З. Сенсоры и приборы для проточного, лабораторного и полевого инверсионно-вольтамперометрического анализа / Х. З. Брайнина [и др.] // Снежинск и наука: докл. конф. / Снежинский физико-технический институт. – Снежинск, 2000. – С. 45–52.

УДК 681.518.5

АНАЛИЗ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ СЕНСОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОРРЕКТНОСТИ ИХ РАБОТЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ Хейфец М. Л., Рябцев В. Н., Винтов Д. А., Савеня П. С.

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Беларусь

Аннотация. Рассматривается применение методов цифровой обработки сигналов для контроля корректности функционирования акселерометров, используемых в системах автоматизированного мониторинга. Приведены критерии диагностики деградации сенсоров и результаты экспериментальных исследований.
Ключевые слова: системы автоматизированной диагностики повреждений, корректность работы сенсоров, частотно-временной анализ, вейвлет-анализ.

ANALYSIS OF SENSOR SIGNALS FREQUENCY-TIME PARAMETERS TO CHECK THEIR CORRECTNESS IN THE AUTOMATED SYSTEM KhEIFETZ M. L., RYABTSEV V. N., VINTOV D. A., SAVENYA P. A.

State scientific institution “Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus”, Minsk, Belarus

Abstract. The application of digital signal processing methods to check the correctness of function of accelerometers used in automated monitoring systems is considered. The criteria diagnosis of degradation of sensors and results of experimental studies are given.

Keywords: automated damage diagnosis system, correct operation of sensors, frequency-time analysis, wavelet analysis.

Адрес для переписки: Рябцев В. Н., ул. Академическая, 16, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: ryabtsev@iaph.bas-net.by