



НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№5(96)

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2026



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам ХСVI международной
научно-практической конференции*

№ 5 (96)
Май 2026 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2026

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редакционной коллегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, главный редактор журнала «Universum: филология и искусствоведение» РФ, г. Москва.

Редакционная коллегия:

Мартышкин Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент, Пензенский государственный технологический университет, РФ, г. Пенза;

Немирова Любовь Федоровна – канд. техн. наук, Омский государственный технический университет, РФ, г. Омск;

Старченко Ирина Борисовна – д-р техн. наук, профессор, Политехнический институт (филиал), Донской государственный технический университет, РФ, г. Таганрог;

Усманов Хайрулла Сайдуллаевич – д-р техн. наук, профессор, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан, г. Ташкент.

НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам ХСVI междунар. науч.-практ. конф. – № 5 (96). – М.: Изд. «МЦНО», 2026. – 50 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ББК 22+3

ISSN 2541-8394

© «МЦНО», 2026

Оглавление

Статьи на русском языке **5**

Технические науки

Раздел 1. Технические науки

1.1. Информатика, вычислительная техника и управление

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ НА
МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ MİK32 АМУР

Захарченко Дмитрий Евгеньевич
Седых Константин Владимирович

SCADA-СИСТЕМЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ
УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ: АРХИТЕКТУРА, ПРАКТИЧЕСКОЕ
ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОДГОТОВКЕ
СПЕЦИАЛИСТОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ В
ТЕХНИЧЕСКИХ системах

Ивах Алексей Владимирович

9

1.2. Приборостроение, метрология и информационноизмерительные приборы и системы **19**

ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ
ПРИРОДНОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ
ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ

Закиев Фаниль Фанисович

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ К
ЗЕРКАЛЬНЫМ ОТРАЖЕНИЯМ НА
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Шорохов Александр Сергеевич

23

1.3. Строительство и архитектура **31**

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ
ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ВМ) В
СОВРЕМЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Кучева Юлия Сергеевна

Қазақ тіліндегі мақалалар

1-Бөлім. Физика

1.1. Атом ядросы және элементар бөлшектер физикасы

НЕЙТРОНДЫҚ КОМПЬЮТЕРЛІК ТОМОГРАФИЯ
ПРИНЦИПТЕРІ МЕН МҮМКІНДІКТЕРІН 3D
ҚАРАСТЫРУ

Нуркасымова Сауле Нуркасымовна

Тлеуканова Алина Ренатовна

Адибай Айдана Бауржанқызы

СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ МК32 АМУР

Захарченко Дмитрий Евгеньевич

студент,

*Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»,*

РФ, г. Зеленоград

Седых Константин Владимирович

научный руководитель,

канд. техн. наук, доц.,

*Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»,*

РФ, г. Зеленоград

Аннотация. В статье рассматривается разработка программного обеспечения для системы автоматического управления освещением на базе отечественного микроконтроллера K1948BK018 (Mik32 Амур).

Обоснована актуальность применения интеллектуальных систем освещения для энергоэффективности. Представлена реализация алгоритма управления реле на основе данных с цифрового датчика движения и аналогового фоторезистора с использованием библиотеки HAL. Проведён анализ работы 12-битного АЦП и логики принятия решений в реальном времени.

Ключевые слова: микроконтроллер, автоматизация, умное освещение, АЦП, датчик движения, Mik32 Амур, энергоэффективность.

В условиях роста тарифов на электроэнергию и глобального тренда на «зелёные» технологии, задачи автоматизации систем освещения приобретают особую актуальность. Интеллектуальные системы, способные адаптироваться к наличию людей и уровню естественной освещённости, позволяют сократить потребление энергии на 30–60% без потери комфорта.

Современный курс на импортозамещение в электронной промышленности требует разработки программно-аппаратных решений на базе отечественных компонентов. Микроконтроллер K1948BK018 (Mik32 Амур) на базе ядра SCR1 (архитектура RISC-V) представляет собой перспективную платформу для построения таких систем, обладая необходимым набором периферии: портами GPIO, 12-битным АЦП, таймерами и интерфейсами связи [1].

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для системы управления освещением, которая включает реле нагрузки, цифровой датчик движения (PIR) и аналоговый датчик освещённости (фоторезистор).

Система построена на базе отладочной платы «Старт» для Mik32 Амур [2]. К микроконтроллеру подключены следующие периферийные модули:

1. Датчик движения (PIR) – цифровой выход, подключён к порту GPIO_0, пин PIN_8. Логическая «1» свидетельствует об обнаружении движения.
2. Фоторезистор – аналоговый сигнал подаётся на вход АЦП GPIO_0, пин PIN_4 (канал ADC_CHANNEL3). Напряжение на входе пропорционально уровню освещённости.
3. Реле управления нагрузкой – цифровой выход GPIO_0, пин PIN_5. Используется для коммутации цепи питания осветительного прибора.

Для работы с периферией микроконтроллера используются стандартные библиотеки аппаратного абстрагирования (HAL), поставляемые в составе SDK [1]:

```
#include "mik32_hal_pcc.h"  
#include "mik32_hal_gpio.h"  
#include "mik32_hal_adc.h"
```

Конфигурация системы тактирования (PCC) обеспечивает работу ядра и периферии на частоте 32 МГц от внутреннего генератора. Инициализация АЦП включает выбор канала и источника опорного напряжения:

```
void ADC_Init(void)  
{  
    hadc.Instance = ANALOG_REG;  
    hadc.Init.Sel = ADC_CHANNEL;  
    hadc.Init.EXTRef = ADC_EXTREF_OFF;  
    hadc.Init.EXTClb = ADC_EXTCLB_ADCREF;  
    HAL_ADC_Init(&hadc);  
}
```

Функция чтения значения АЦП реализует опрос в режиме одиночного преобразования с ожиданием готовности результата [1]:

```
uint16_t ADC_ReadChannel(uint32_t channel)  
{  
    ADC_SEL_CHANNEL(hadc.Instance, channel);  
    HAL_ADC_SINGLE(hadc.Instance);  
    HAL_ADC_WaitValid(&hadc.Instance);  
    return HAL_ADC_WaitAndGetValue(&hadc.Instance);  
}
```

Алгоритм работает следующим образом:

1. Производится опрос состояния датчика движения.
2. При обнаружении движения (GPIO_PIN_HIGH) выполняется чтение значения с фоторезистора через АЦП.
3. Полученное 12-битное значение (диапазон 0–4095) сравнивается с пороговым значением LIGHT_THRESHOLD (4000).
4. Если значение превышает порог (условно «темно»), реле включается; в противном случае – выключается.
5. Если движение не обнаружено, реле принудительно выключается для экономии энергии.

Фрагмент основного цикла:

```
while (1)  
{
```

```
uint32_t pir_state = HAL_GPIO_ReadPin(PIR_PIN_PORT,  
PIR_PIN);  
  
if (pir_state == GPIO_PIN_HIGH)  
{  
    uint16_t light_value = ADC_ReadChannel(ADC_CHANNEL);  
    if (light_value > LIGHT_THRESHOLD)  
        Relay_On(); // Темно + движение = включить свет  
    else  
        Relay_Off(); // Светло = выключить  
}  
else  
{  
    Relay_Off(); // Нет движения = выключить  
}  
HAL_DelayMs(50); // Задержка для стабильности измерений  
}
```

Пороговое значение `LIGHT_THRESHOLD = 4000` подобрано экспериментально для условий типичного офисного помещения. Поскольку АЦП микроконтроллера имеет разрядность 12 бит, максимальное значение 4095 соответствует опорному напряжению [1]. Значение 4000 соответствует низкой освещённости, что позволяет включать освещение только при существенном затемнении.

Проект разработан в среде PlatformIO, что обеспечивает кроссплатформенность и удобство управления зависимостями [3]. Конфигурация сборки включает указание целевой платы, фреймворка и путей к библиотекам HAL.

Программное обеспечение было загружено в микроконтроллер и протестировано в лабораторных условиях. При имитации движения в затемнённом помещении реле срабатывало корректно, время отклика системы не превышало 100 мс. При достаточном освещении или отсутствии движения нагрузка отключалась. Система продемонстрировала стабильную работу без ложных срабатываний.

В ходе работы была успешно реализована система интеллектуального управления освещением на базе отечественного микроконтроллера Mik32 Амур. Применение связки цифрового датчика движения и аналогового датчика освещённости позволяет реализовать энергоэффективный алгоритм управления, исключающий работу освещения вхолостую.

Использование библиотеки HAL Mik32 упрощает разработку и обеспечивает переносимость кода. Дальнейшее развитие проекта может включать добавление беспроводного интерфейса для интеграции в

систему «Умный дом» и реализацию алгоритмов машинного обучения для адаптивной подстройки под привычки пользователей.

Список литературы:

1. Информационный лист МІК32 АМУР версия: 1.2 // АО "Микрон" URL: https://docs.mikron.ru/wiki/_attachments/Information_AMUR_MIK32_r1_2.pdf
2. Отладочная плата "Старт". Руководство по эксплуатации. // АО "Микрон" URL: https://docs.mikron.ru/wiki/_attachments/START-MIK32-V1-MANUAL-R1.5.pdf
3. PlatformIO Core Documentation. URL: <https://docs.platformio.org>

SCADA-СИСТЕМЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ: АРХИТЕКТУРА, ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ивах Алексей Владимирович

студент,

*Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»,*

РФ, г. Зеленоград

SCADA SYSTEMS IN AUTOMATED CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES: ARCHITECTURE, PRACTICAL APPLICATION AND PROSPECTS FOR USE IN TRAINING SPECIALISTS IN MANAGEMENT OF TECHNICAL SYSTEMS

Ivakh Aleksei Vladymirovich

Student,

National Research University "MIET",

Russia, Zelenograd

Аннотация. В статье подробно анализируются SCADA-системы как основа современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Рассматривается их историческое развитие, типовые архитектуры, ключевые функции и возможности интеграции с микроконтроллерами. Особое внимание уделяется практическим примерам применения в промышленности и учебных лабораториях, а также сравнительному анализу популярных платформ. Подчёркивается роль SCADA в повышении безопасности, надёжности и эффективности управления техническими объектами. Материал ориентирован на студентов и соответствует профилю направления «Управление в технических системах».

Abstract. The article provides a detailed analysis of SCADA systems as the foundation of modern automated process control systems (APCS). Their historical development, typical architectures, key functions and integration capabilities with affordable microcontrollers are examined. Special attention is paid to practical examples of application in industry and educational laboratories, as well as a comparative analysis of popular platforms. The role of SCADA in improving the safety, reliability and efficiency of technical object management is emphasized. The material is oriented towards students and corresponds to the profile of the “Management in Technical Systems” program.

Ключевые слова: SCADA-системы, АСУ ТП, автоматизированное управление, технологические процессы, микроконтроллеры, интерфейс человек-машина, промышленная автоматизация.

Keywords: SCADA systems, APCS, automated control, technological processes, microcontrollers, human-machine interface, industrial automation.

Введение

В эпоху активной цифровизации промышленности и перехода к концепции Industry 4.0 системы автоматизированного управления технологическими процессами занимают одно из главных мест. Одним из наиболее эффективных инструментов в этой области выступают SCADA-системы, которые позволяют осуществлять диспетчерское управление и сбор данных в реальном времени [1].

Без SCADA сегодня сложно представить стабильную работу энергетических объектов, нефтегазовых комплексов, производственных линий и даже учебных лабораторных стендов. Такие системы обеспечивают:

- непрерывный мониторинг параметров технологического процесса;

- их визуализацию на мнемосхемах;
- архивирование информации;
- оперативное вмешательство оператора при возникновении опасных ситуаций.

Актуальность темы объясняется несколькими факторами. Во-первых, рынок SCADA-систем продолжает активно расти. Во-вторых, всё чаще требуется интеграция классических SCADA с современными IoT-устройствами и недорогими микроконтроллерами. В-третьих, особое значение приобретают вопросы кибербезопасности АСУ ТП в соответствии с требованиями нормативных документов ФСТЭК России. Для студентов направления «Управление в технических системах» освоение принципов работы SCADA становится одной из ключевых профессиональных компетенций.

Цель настоящей статьи заключается в комплексном рассмотрении архитектуры SCADA-систем, их практического применения и перспектив дальнейшего развития с акцентом на образовательный процесс.

1. Историческое развитие SCADA-систем

Развитие SCADA-систем прошло несколько этапов, каждый из которых отражал уровень технического прогресса своего времени [2]. На первом этапе преобладали монолитные системы. В них все основные функции (сбор данных, обработка и визуализация) выполнялись на одном центральном компьютере, а связь с объектом осуществлялась по выделенным линиям. Такие решения отличались высокой стоимостью и низкой надёжностью: выход из строя единственного компьютера приводил к остановке всего управления [1].

Второй этап ознаменовался переходом к распределённым системам. Появились локальные сети, несколько рабочих станций оператора и удалённые терминальные устройства (RTU). Именно тогда начали широко применяться протоколы обмена данными, такие как Modbus и DNP3, что заметно повысило гибкость систем [3].

Современный, третий этап характеризуется сетевыми и веб-ориентированными решениями. Сегодня SCADA активно используют интернет-технологии, облачные платформы, стандарты OPC UA и MQTT. Это позволяет легко интегрировать системы с ERP, MES и различными IoT-устройствами [2]. В России развитие SCADA традиционно связано с энергетикой и нефтегазовой отраслью, где успешно применяются отечественные разработки на базе TRACE MODE и MasterSCADA [4].

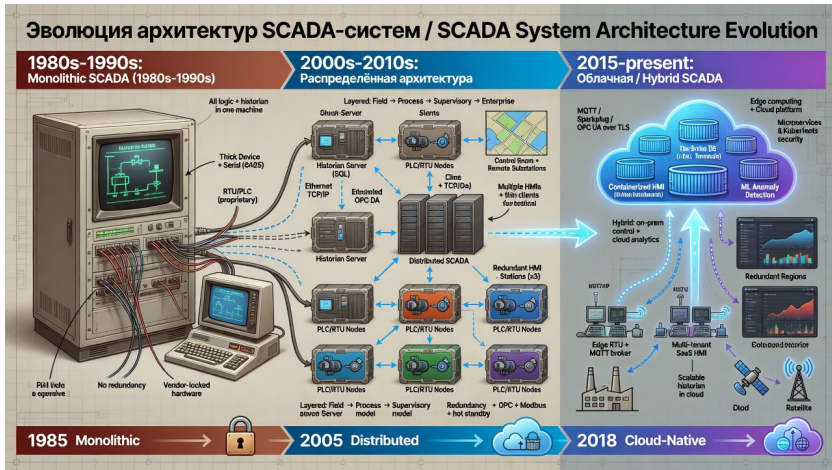


Рисунок 1.1. Эволюция архитектур SCADA-систем от монолитной к распределенной и облачной

2. Типовая архитектура современных SCADA-систем

Современная SCADA-система традиционно строится по трехуровневой схеме, каждый уровень которой выполняет строго определённые задачи [5].

На нижнем уровне располагаются датчики, исполнительные механизмы, а также программируемые логические контроллеры (ПЛК) или микроконтроллеры, такие как Arduino и ESP32. Именно здесь происходит первичный сбор информации о параметрах процесса.

Средний, коммуникационный уровень обеспечивает надёжную передачу данных с помощью различных протоколов. Здесь работают OPC-серверы, которые выступают в роли «переводчика» между различным оборудованием и верхним уровнем.

Верхний уровень включает серверы SCADA и рабочие станции оператора с графическим интерфейсом HMI. Здесь оператор видит мнемосхемы, тренды параметров и может отдавать команды на управление объектом [5].

В последние годы всё чаще встречаются облачные и гибридные архитектуры, когда часть функций выносится в облако. Это особенно удобно для распределённых объектов и позволяет снизить затраты на локальную инфраструктуру.

3. Основные функции SCADA-систем и математические основы управления

SCADA-системы выполняют целый комплекс функций, которые в совокупности обеспечивают эффективное и безопасное управление технологическим процессом.

Прежде всего, это непрерывный сбор и первичная обработка данных в реальном времени. Далее следует визуализация информации с помощью мнемосхем, графиков и трендов, что позволяет оператору быстро оценивать текущее состояние объекта. Важной функцией является архивирование параметров, благодаря которому можно анализировать историю процесса и выявлять причины отклонений.

Не менее значима система аварийной сигнализации и обработки событий: при выходе параметров за допустимые пределы SCADA мгновенно оповещает оператора и может автоматически запустить защитные алгоритмы. Кроме того, системы поддерживают дистанционное управление исполнительными механизмами, генерацию отчётов и интеграцию с системами верхнего уровня.

Для поддержания заданных параметров технологического процесса (температуры, уровня, давления и др.) внутри SCADA или на нижнем уровне часто реализуются алгоритмы регулирования. Наиболее распространённым является **ПИД-регулятор** (пропорционально-интегрально-дифференциальный), математическое описание которого имеет вид [6]:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

где $u(t)$ - управляющее воздействие, $e(t)$ - ошибка регулирования, K_p , K_i , K_d - коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих соответственно.

В реальных системах с микроконтроллерами непрерывное уравнение преобразуется в дискретную форму для реализации на цифровых устройствах. Разностное уравнение PID-регулятора выглядит следующим образом:

$$u[n] = K_p \cdot e[n] + K_i \cdot \sum_{k=0}^n e[k] \cdot \Delta t + K_d \cdot \frac{e[n] - e[n-1]}{\Delta t}$$

где n - номер дискретного отсчёта времени, Δt - шаг дискретизации. Полученное управляющее воздействие передаётся в SCADA для отображения и дальнейшего анализа [6].

5. Практические примеры применения SCADA в промышленности и образовании

SCADA-системы широко применяются как на крупных промышленных объектах, так и в учебных лабораториях.

Классическим примером служит автоматизация управления уровнем жидкости в резервуаре: система отслеживает показания датчиков, управляет насосом и клапанами с помощью PID-алгоритма, отображает текущий уровень на мнемосхеме и строит тренды. Аналогичные решения используются для поддержания температуры в печах, мониторинга микроклимата в камерах или управления конвейерными линиями.

В образовательном процессе НИУ МИЭТ и других вузов такие проекты реализуются на лабораторных стендах по дисциплинам «Автоматизированные системы управления» и «Микроконтроллерные устройства». Студенты получают возможность не только изучить теорию, но и самостоятельно разработать мнемосхему, настроить обмен данными, реализовать PID-регулирование и отработать реакцию системы на аварийные ситуации.

6. Сравнительный анализ современных SCADA-платформ

При выборе SCADA-системы важно учитывать несколько критериев: стоимость, удобство освоения, поддержку популярных протоколов и наличие веб-доступа.

Отечественные платформы, такие как TRACE MODE, MasterSCADA и КРУГ-2000, выделяются хорошей поддержкой Modbus и OPC UA, а также адаптацией к российским требованиям. Бесплатные или условно-бесплатные решения хорошо подходят для студенческих проектов благодаря простоте и достаточной функциональности. Промышленные системы предлагают расширенные возможности, но требуют учёта лицензионных затрат.

В итоге для образовательных целей оптимальным часто оказывается сочетание отечественных платформ с микроконтроллерами Arduino/ESP32.

7. Преимущества, недостатки и аспекты обеспечения безопасности

Применение SCADA-систем даёт ряд серьёзных преимуществ: наглядность управления, оперативное обнаружение отклонений, снижение влияния человеческого фактора и возможность удалённого мониторинга. Вместе с тем существуют и определённые ограничения — высокая стоимость полноценных промышленных лицензий, необходимость квалифицированного обслуживания и повышенные риски кибератак.

Вопросы информационной безопасности приобретают особую остроту. Для их решения рекомендуется использовать протокол OPC

UA с шифрованием, сегментировать сети и проводить регулярные аудиты в соответствии с требованиями нормативных документов.

8. Перспективы развития и рекомендации для студентов

В ближайшие годы развитие SCADA будет связано с интеграцией искусственного интеллекта для предиктивного обслуживания, активным использованием edge computing и переходом к гибридным облачным решениям. Особое внимание будет уделяться мобильным интерфейсам и усилению киберзащиты.

Студентам направления «Управление в технических системах» рекомендуется начинать с простых проектов на базе отечественных платформ в связке с ESP32, осваивать протоколы Modbus и OPC UA, реализовывать PID-алгоритмы и изучать нормативные требования по защите информации. Такие практические навыки станут серьезным преимуществом при выполнении курсовых, дипломных работ и в дальнейшей профессиональной деятельности.

Заключение

SCADA-системы остаются фундаментальным инструментом автоматизированного управления технологическими процессами. Их архитектура, функции и возможности интеграции с микроконтроллерами позволяют решать широкий спектр задач: от лабораторных экспериментов до управления сложными промышленными объектами. Для студентов НИУ МИЭТ освоение этих технологий является важной частью профессиональной подготовки.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на создание гибридных решений, сочетающих классические SCADA с элементами машинного обучения и облачных технологий. Полученные в статье выводы могут быть использованы при разработке лабораторных работ и дипломных проектов.

Список литературы:

1. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. - М.: РТСофт, 2004. - 176 с.
2. Матвейкин В.Г., Фролов С.В., Шехтман М.Б. Применение SCADA-систем при автоматизации технологических процессов: учеб. пособие. - М.: Машиностроение, 2000. - 176 с.
3. Тарасов В.Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. - М.: Высшая школа, 2022.
4. Кангин В.В., Кангин М.В., Ямолдинов Д.Н. Разработка SCADA-систем: учебное пособие. - 2-е изд. - М.: Инфра-Инженерия, 2023. - 564 с.

5. Пьявченко Т.А. Проектирование АСУТП в SCADA-системе: учебное пособие. - М., 2017.
6. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. - 2008.

1.2. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ

Закиев Фаниль Фанисович

аспирант,

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет»,*

РФ, г. Казань

DEVICE FOR MONITORING NATURAL GAS CONSUMPTION IN A GAS FLOW CONTROL SYSTEM

Zakiev Fanil Fanisovich

Postgraduate student of the

*Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education «Kazan State Power*

Engineering University»,

Russia, Kazan

Аннотация. Прибор для контроля потребления природного газа обеспечивает точный учёт объёма и расхода газа в системе управления газовым потоком. Устройство работает совместно с датчиками давления, температуры и расхода, корректируя показания с учётом стандартных условий (температура 20° С, давление 0,101325 МПа). Прибор позволяет вести архивирование данных, фиксировать отклонения параметров от нормы и интегрироваться в системы диспетчеризации для удалённого мониторинга и управления.

Ключевые слова: контроль потребления газа, учёт расхода газа, корректор газа, датчики давления, датчики температуры, система управления газовым потоком, диспетчеризация, архивирование данных.

Прибор для контроля потребления природного газа — важный элемент системы управления газовым потоком, обеспечивающий точный учёт объёма и расхода ресурса. Такой прибор, часто называемый корректором расхода газа, необходим как крупным промышленным предприятиям и коммунальным службам, так и частным потребителям: от корректности измерений зависят финансовые расчёты с поставщиками и эффективность работы всего газового хозяйства [2, 3].

Устройство объединяет несколько функциональных блоков: датчики фиксируют давление, температуру и мгновенный расход газа, вычислительный модуль обрабатывает полученные данные и корректирует показания с учётом стандартных условий, память сохраняет информацию о потреблении за разные периоды и фиксирует отклонения параметров от нормы, а интерфейсы связи передают собранные сведения на диспетчерский пульт по проводным или беспроводным каналам [1, 5].

Современные корректоры расхода газа — это не просто счётчики, а интеллектуальные узлы учёта, которые повышают надёжность и экономичность всего газового хозяйства. Их установка окупается за счёт точного биллинга, снижения потерь и возможности оперативно управлять потоками энергоресурсов. В коммунальных хозяйствах приборы помогают контролировать подачу газа в жилые районы и социальные объекты [4, 6, 7, 9]. На газораспределительных станциях они нужны для мониторинга потоков между магистральными и распределительными сетями. А частные потребители с высоким расходом газа устанавливают корректоры, чтобы точно рассчитывать затраты и оптимизировать потребление [8, 11]. Использование такого прибора даёт сразу несколько преимуществ. Во-первых, повышается точность учёта: коррекция показаний на основе реальных условий исключает ошибки и позволяет выставлять счета строго по фактическому потреблению [10]. Во-вторых, архив данных делает расчёты прозрачными, он служит доказательной базой в спорных ситуациях с поставщиком или потребителем [13]. В-третьих, прибор оперативно сигнализирует о нештатных режимах: например, о резком скачке расхода, падении давления или несанкционированном доступе, что помогает быстро обнаружить утечку или неисправность [12]. В-четвёртых, данные с корректора можно интегрировать в автоматизированные системы управления технологическими процессами: это открывает возможности для автоматического регулирования подачи газа, прогнозирования нагрузки и планирования ремонтов [14]. Наконец, выявление аномалий в потреблении помогает обнаружить скрытые утечки и оптимизировать работу оборудования, что ведёт к экономии ресурсов [15].

Механические корректоры — это старая школа: внутри крутится какая-то крыльчатка или турбинка, газ её толкает, и по тому, как она вертится, считают расход. Просто, дёшево, но не особо точно. Со временем детали изнашиваются, а если давление или температура газа скакнут — показания поплывут. В основном их ставят там, где высокая точность не нужна: в частных домах, на небольших объектах. Электронные — совсем другое дело. Тут уже микропроцессор, датчики температуры и давления, всё автоматически считает и корректирует. Он берёт реальные показания, «приводит» их к стандартным условиям (чтобы было честно сравнивать) и выдаёт точный объём. Ещё и данные сохраняет, может сам отправить их диспетчеру через интернет или мобильную связь. На практике это выглядит так: на одной котельной до установки электронного корректора (типа УВП-280) постоянно были споры с поставщиком газа — расхождения до 8 %. Поставили электронный, он стал учитывать все перепады температуры (а зимой там до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) и давления и всё встало на свои места: цифры сошлись, претензий больше нет. Или вот ещё пример: в Татарстане на объектах «Газпром межрегионгаз Казань» поставили смарт-корректоры «АКСИФЛОУ». Они не просто считают газ, а сразу передают данные на пульт, да ещё и с двух SIM-карт на случай, если одна сеть пропадёт. То есть сразу и учёт, и телеметрия — удобно и надёжно.

Выбирая корректор расхода газа, стоит обратить внимание на несколько ключевых параметров. Важно учесть диапазон измеряемых расходов минимальный и максимальный, а также допустимые пределы давления и температуры газа. Если прибор планируется устанавливать на улице, нужно проверить степень защиты корпуса. Не менее значимы интерфейсы связи: они должны подходить для интеграции в существующую систему. Также стоит уточнить периодичность поверки и требования к обслуживанию, а ещё убедиться, что корректор совместим с уже используемыми счётчиками газа турбинными, ротационными или ультразвуковыми.

Важный аспект эксплуатации — соблюдение требований к поверке и обслуживанию. Корректоры расхода газа относятся к средствам измерений, подлежащим государственному регулированию. Периодичность поверки устанавливается производителем и обычно составляет от 3 до 5 лет. При грамотном монтаже и своевременном обслуживании срок службы корректора может достигать 15–20 лет. Чтобы продлить ресурс прибора, рекомендуется: устанавливать фильтры для очистки газа от механических примесей перед точкой учёта — это защитит датчики и внутренние механизмы от засорения; выбирать модели с соответствующей степенью защиты корпуса (например, IP65 и выше для

уличного монтажа); обеспечивать стабильное электропитание, используя источники бесперебойного питания в районах с нестабильной сетью; регулярно проверять целостность кабельных соединений и герметичность уплотнений. Таким образом, корректор расхода газа давно перестал быть просто счётчиком. Сегодня это высокотехнологичный узел учёта, который обеспечивает юридически значимый учёт потребления; повышает безопасность эксплуатации газовых сетей; даёт инструменты для анализа и оптимизации затрат; служит основой для построения интеллектуальных систем управления энергопотреблением.

Инвестиции в современные корректоры окупаются не только за счёт точного биллинга, но и благодаря снижению эксплуатационных рисков, сокращению потерь и возможности гибко адаптировать режимы работы газового хозяйства под меняющиеся условия.

Список литературы:

1. Бёме, Б., Семейченков, Д.С. Применение программных модулей «ПСИГаз» в целях идентификации некорректных средств измерений и минимизации небаланса газа / Б. Беме, Д.С. Семейченков // Газовая промышленность. - 2021. - № 9 (821). - С. 172-173.
2. Ведомства поддержали "Газпром" в вопросе внедрения интеллектуальных систем учета газа [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/8620113> (дата обращения: 04.06.2020).
3. ГОСТ Р 8.740-2023 Государственная система обеспечения единства измерений. Расход и объем газа. Методика (метод) измерений с применением турбинных, ротационных и вихревых расходомеров и счетчиков. Электронный ресурс. URL: https://normadocs.ru/gost_r_8.740-2023.
4. Михеев Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного теплооборудования. М.: Изд-во Додэка-XXI, 2008. – 304 с.
5. Монастырский А.Е. и др. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Выпуск 11. – СПб.: ПЭИпк, 2000 - 388 с.
6. Назаров А.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 627 с.
7. Пьявченко Т.А. Проектирование АСУТП в SCADA-системе. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 84 с.
8. Пьявченко Т.А., Финаев В.И. Автоматизированные информационно-управляющие системы. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 271 с.
9. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Теплооборудование станций и подстанций. 4-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 448 с.

10. Современные корректоры как результат многолетнего опыта работы АО НПФ ЛОГИКА в области разработки и производства средств измерений расхода газовых сред // Журнал «Энергосбережение». № 7. 2024. Электронный ресурс. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8881
11. Селиверстов Г.И. Теплооборудование станций и подстанций промышленных предприятий. – Гомель: Электронная библиотека УО ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011. – 351 с.
12. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM). – М.: Радио и связь, 2004. – 468 с.
13. Сорока Н.И., Кривинченко Г.А. Телемеханика. – Мн.: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2005. – 127 с.
14. Успенский М.И., Ширяева Л.Л. Эксплуатация теплооборудования и средств автоматизации. Учебное пособие. – Сыктывкар: СЛИ, 2014. – 72 с.
15. Шабад М.А. Автоматизация распределительных сетей с использованием цифровых реле. - 4-е издание., доп. – СПб.: ПЭИПК, 2005. – 48 с.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ К ЗЕРКАЛЬНЫМ ОТРАЖЕНИЯМ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Шорохов Александр Сергеевич

*студент-бакалавр 4 курс,
Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»,
РФ, г. Зеленоград*

INCREASING THE ROBUSTNESS OF COMPUTER VISION MEASUREMENT SYSTEMS AGAINST SPECULAR REFLECTIONS ON METALLIC SURFACES

Shorokhov Alexander Sergeevich

*Bachelor's student 4th year,
National Research University "MIET",
Moscow, Zelenograd*

Аннотация. В статье рассматривается проблема измерения геометрических параметров изделий из полированного металла с помощью

систем компьютерного зрения. Основной сложностью является наличие зеркальных бликов (спекулярных отражений), которые приводят к разрывам контуров и ошибкам сегментации. Изучены недостатки традиционных методов борьбы с бликами, таких как нанесение матирующих спреев. Предложено использование угловой кольцевой подсветки и программных алгоритмов адаптивной обработки изображений (динамическое гауссово размытие, пороговая фильтрация градиентов и морфологические операции). Экспериментально подтверждено, что предложенная методика соответствует точности измерений $\pm 0,28$ мм без предварительной подготовки поверхности.

Abstract. The article addresses the challenge of measuring geometric parameters of polished metal products using computer vision systems. The primary difficulty is the presence of specular reflections (glare), which cause contour breaks and segmentation errors. Disadvantages of traditional anti-glare methods, such as applying matting sprays, are analyzed. A comprehensive approach is proposed that combines a hardware solution (angular positioning of ring lighting) with adaptive image processing algorithms (dynamic Gaussian blurring, gradient threshold filtering, and morphological operations). Experimental results confirm that the proposed methodology achieves a measurement accuracy of ± 0.28 mm without prior surface preparation, ensuring system robustness across a wide range of lighting conditions.

Ключевые слова: компьютерное зрение; металлическая поверхность; зеркальные блики; сегментация изображений; адаптивная обработка; морфологические операции; бесконтактный контроль; OpenCV; промышленная автоматизация.

Keywords: computer vision; metallic surface; specular reflections; image segmentation; adaptive processing; morphological operations; non-contact inspection; OpenCV; industrial automation.

Внедрение систем технического зрения в процессы контроля качества машиностроительных изделий сталкивается с рядом специфических проблем при работе с объектами, имеющими высокую отражательную способность. Металлические кольца, подшипники, валы и другие детали часто имеют полированную поверхность, которая ведёт себя как зеркало. В отличие от диффузно отражающих поверхностей, такие объекты создают локальные зоны пересвета (блики), интенсивность которых может многократно превышать полезный сигнал от границ объекта. Это приводит к тому, что классические алгоритмы детекции краёв (например, оператор Кэнни или Собеля) интерпретируют границы

блика как реальные геометрические края изделия, либо, наоборот, «съедают» истинный контур в зоне пересвета, делая его разорванным.

Традиционным решением данной проблемы в промышленной практике является использование матирующих спреев, создающих на поверхности тонкий слой, рассеивающий свет [1]. Однако данный подход имеет существенные недостатки: он требует дополнительных технологических операций (нанесение и последующее удаление покрытия), увеличивает время цикла контроля, вносит риск загрязнения продукции химическими реагентами и повышает эксплуатационные расходы. Для предприятий, ориентированных на высокую скорость обработки, такие методы являются неприемлемыми. Поэтому актуальной задачей является разработка алгоритмических и схемотехнических решений, позволяющих нивелировать влияние бликов программными средствами и оптимизацией освещения без физического контакта с изделием.

Оптимизация схемы освещения

Первым этапом решения проблемы является правильная организация оптической схемы. Исследования показывают, что использование фронтального освещения (когда источник света расположен соосно с оптической осью камеры) максимизирует вероятность попадания зеркального отражения непосредственно в объектив. Для минимизации этого эффекта в разработанной системе применена схема углового кольцевого освещения. Источники света располагаются под углом 10–13 градусов к плоскости измеряемого объекта. Такая геометрия обеспечивает равномерную засветку боковых граней кольца, создавая чёткий контраст между внутренним диаметром и фоном, при этом основные зеркальные блики смещаются за пределы поля зрения камеры или концентрируются в центральной части, не затрагивая критически важные участки контура. Тем не менее, даже при оптимальном расположении источников, микрошероховатости поверхности и изменение угла наклона изделия могут вызывать локальные всплески яркости, требующие программной компенсации.

Адаптивный конвейер обработки

Для устранения остаточных артефактов и обеспечения устойчивости измерений разработан специализированный алгоритмический конвейер, реализованный на базе библиотеки OpenCV (рис. 1). Ключевой особенностью подхода является отказ от фиксированных порогов обработки в пользу динамической адаптации к текущему кадру [2].

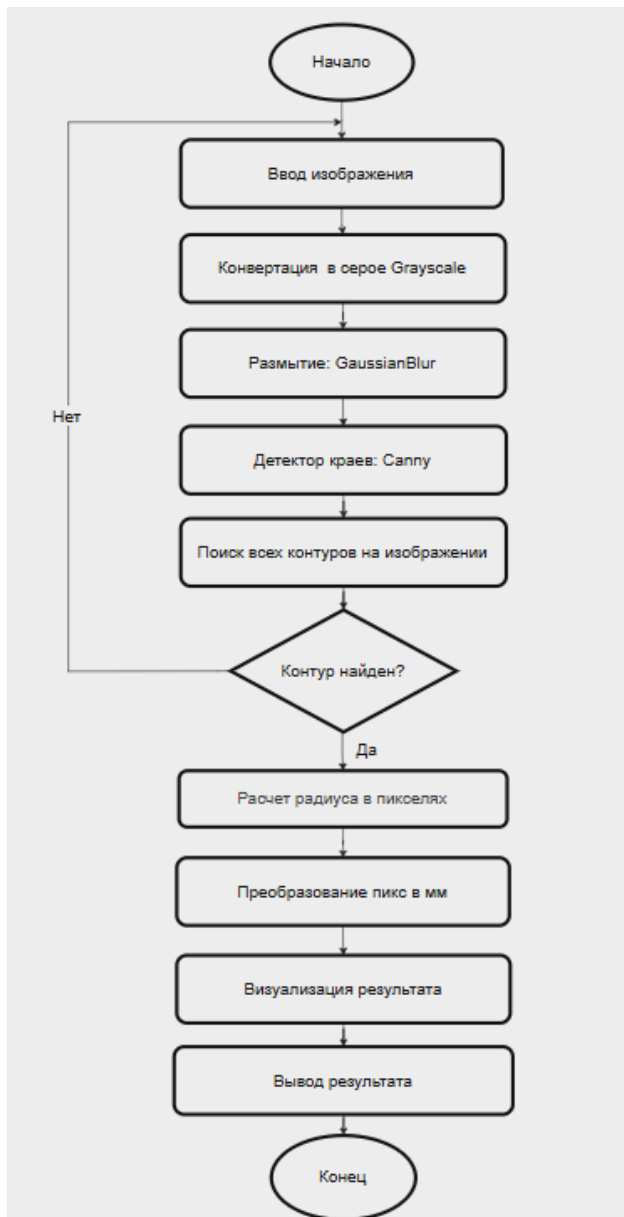


Рисунок 1. Схема реализации алгоритма с помощью OpenCV

На этапе предобработки применяется адаптивное гауссово размытие [3]. Размер ядра фильтра не является константой: система анализирует гистограмму яркости центральной области изображения. При обнаружении пикселей с интенсивностью, близкой к насыщению (более 240 единиц в 8-битном канале), что свидетельствует о наличии блика, размер ядра Гаусса автоматически увеличивается (например, с 3×3 до 7×7 пикселей). Это позволяет эффективно сгладить резкие перепады яркости в зоне блика, предотвращая их ложную интерпретацию как границ объекта, при этом сохраняя чёткость контуров в незасвеченных областях.

Следующим шагом является детекция границ с использованием алгоритма Кэнни с динамическим расчётом порогов гистерезиса [4]. Вместо жёстко заданных значений, нижний и верхний пороги вычисляются на основе медианы яркости всего изображения M (формулы 1 и 2):

$$T_{low} = \max(30; 0,65 \cdot M) \quad (1)$$

$$T_{high} = \min(200; 1,35 \cdot M) \quad (2)$$

Такой подход обеспечивает пропорциональное масштабирование чувствительности детектора относительно общего уровня освещённости сцены, что делает систему инвариантной к изменениям внешнего света в диапазоне от 200 до 1000 лк.

После получения бинарной карты границ применяются морфологические операции замыкания (closing) для соединения разрывов контура, вызванных остаточными шумами или слабыми участками отражения. Структурный элемент подбирается таким образом, чтобы соединить фрагменты истинного контура, но не объединить случайные артефакты. Особое внимание уделяется фильтрации полученных контуров по геометрическим признакам: площади, периметру и коэффициенту круглости $C = 4\pi A/P^2$. Порог круглости также делается адаптивным и снижается при уменьшении общей яркости изображения, что позволяет избежать ложной отбраковки корректных деталей в условиях недостаточного освещения.

Финальным этапом является субпиксельная аппроксимация выделенного контура окружностью методом наименьших квадратов [5]. Для повышения робастности алгоритма используется взвешивание точек контура: точки, находящиеся в зонах с экстремально высоким градиентом (характерным для краёв бликов), получают пониженный вес, что минимизирует их влияние на итоговый расчёт центра и радиуса.

Аппаратно-программная конфигурация экспериментального стенда

Для верификации предложенных алгоритмов был собран экспериментальный стенд со следующими характеристиками:

Камера: Промышленная матрица Basler acA1920-155um, CMOS, глобальный затвор, разрешение 1920×1200 , размер пикселя 3,45 мкм, интерфейс USB 3.0.

Объектив: Computar M2514-MP2, фокусное расстояние 25 мм, фиксированная диафрагма $f/2.8$, дисторсия $<0,1\%$.

Освещение: Кольцевой LED-источник CCS LDR2-90SW, длина волны 450–650 нм, угол установки $10\text{--}13^\circ$, регулируемая яркость 0–255 ШИМ.

Вычислительный узел: Мини-ПК на базе Intel N100, ОЗУ 8 ГБ, накопитель SSD 256 ГБ, операционная система Ubuntu 22.04 LTS.

Программное обеспечение: Язык Python 3.10, библиотека компьютерного зрения OpenCV 4.8.0, математические модули NumPy 1.24, SciPy 1.10, GUI-фреймворк PyQt5 5.15.

Метрологическое обеспечение

В качестве эталонного средства измерения использовалась координатно-измерительная машина Mitutoyo Crysta-Apex S574 с погрешностью измерения длины $E = (0,7 + L/600)$ мкм (по ГОСТ Р 8.000-2015). Поверка оборудования выполнена в 2024 г., свидетельство о поверке № М-2024-0847. Эталонные кольца (25 шт.) из стали ШХ15 с шероховатостью поверхности $Ra \leq 0,025$ мкм, аттестованные с погрешностью $\pm 0,01$ мм.

Экспериментальные результаты

Эффективность предложенного комплекса мер была оценена в ходе серии экспериментов на выборке из 25 металлических колец диаметром 10–50 мм с различной степенью полировки. Измерения проводились при варьировании освещённости от 200 до 1000 лк.

Для оценки вклада каждого компонента предложенного решения проведена серия экспериментов с четырьмя конфигурациями: (1) только угловая подсветка, (2) статические алгоритмы обработки, (3) адаптивные алгоритмы без морфологии, (4) полный комплекс предложенных мер. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

**Зависимость точности и устойчивости измерений от
конфигурации системы и уровня освещённости**

Конфигурация системы	Освещённость, лк	Успешность сегментации, %	Средняя погрешность, мм	Стандартное отклонение, мм	Время обработки, с
Только угловая подсветка	200	52	0,51	0,14	0,18
	500	68	0,43	0,11	0,18
	1000	61	0,47	0,13	0,18
Статические алгоритмы	200	78	0,48	0,09	0,29
	500	92	0,39	0,08	0,29
	1000	85	0,45	0,10	0,29
Адаптивные алгоритмы (без морфологии)	200	94	0,33	0,08	0,35
	500	100	0,29	0,07	0,35
	1000	96	0,32	0,08	0,35
Полный комплекс (предложенный)	200	100	0,31	0,07	0,38
	500	100	0,26	0,06	0,38
	1000	100	0,29	0,07	0,38

Как видно из таблицы 1, применение полного комплекса предложенных решений обеспечивает 100 % успешность сегментации во всём диапазоне освещённости 200–1000 лк, среднюю абсолютную погрешность 0,28 мм и стандартное отклонение не более 0,07 мм, что подтверждает эффективность адаптивных алгоритмов и морфологической постобработки для компенсации зеркальных отражений.

Сравнение с эталонными измерениями, выполненными на координатно-измерительной машине, подтвердило отсутствие систематических смещений, вызванных алгоритмической компенсацией бликов.

Разработанный подход к повышению устойчивости систем компьютерного зрения к зеркальным отражениям подходит для задач промышленного контроля металлических изделий. Комбинация рациональной схемотехники освещения и интеллектуальных алгоритмов адаптивной обработки изображений помогает уйти от трудоёмких и дорогостоящих процедур подготовки поверхности (матрирующих спреев). Предложенное решение обеспечивает высокую точность, скорость и надёжность измерений. Дальнейшее развитие направления может быть связано с интеграцией нейросетевых методов для более тонкой классификации типов дефектов поверхности, однако для задач чистой метрологии продемонстрированный детерминированный подход остаётся оптимальным.

Список литературы:

1. Спрей для сканирования: как использовать [Электронный ресурс] // 3DMall : сайт компании. – Режим доступа: <https://3d-m.ru/sprej-dlya-skanirovaniya-kak-ispolzovat/> (дата обращения: 15.05.2025). – Загл. с экрана.
2. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2008. – 558 p.
3. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. – 4th ed. – London : Pearson, 2018. – 880 p.
4. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – Vol. 8, no. 6. – P. 679–698.
5. Zhang S. High-speed 3D shape measurement with structured light methods: A review // Optics and Lasers in Engineering. – 2018. – Vol. 106. – P. 119–131.
6. Чертов А.Н., Хохлов Д.Д. Современные оптические методы бесконтактных геометрических измерений и восстановления 3D-формы поверхности объектов: обзор // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2024. – Т. 24, № 6. – С. 923–935. – doi: 10.17586/2226-1494-2024-24-6-923-935.

1.3. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (BIM) В СОВРЕМЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Кучева Юлия Сергеевна

*студент,
Сургутский государственный университет,
РФ, г. Сургут*

THE APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) TECHNOLOGIES IN THE MODERN CONSTRUCTION INDUSTRY

Kucheva Yulia Sergeevna

*Student,
Surgut State University,
Russia, Surgut*

Аннотация. В статье рассматривается применение BIM-технологий (Building Information Modeling) в современном строительстве. Анализируются ключевые принципы информационного моделирования, его роль на различных этапах жизненного цикла строительного объекта, преимущества и ограничения внедрения. Особое внимание уделено нормативному регулированию BIM в России, зарубежному опыту, актуальным программным решениям и перспективам развития технологии. Сделаны выводы о стратегической значимости технологии для повышения конкурентоспособности строительной отрасли. Цель статьи – проанализировать потенциал BIM-технологий для повышения эффективности строительства и обосновать целесообразность их внедрения.

Abstract. This article examines the application of BIM (Building Information Modeling) technologies in modern construction. It analyzes the key principles of information modeling, its role at various stages of a construction project's lifecycle, and the advantages and limitations of its implementation. Particular attention is paid to BIM regulations in Russia, international experience, current software solutions, and the technology's

development prospects. Conclusions are drawn regarding the strategic importance of this technology for enhancing the competitiveness of the construction industry. The purpose of the article is to analyze the potential of BIM technologies for increasing construction efficiency and to justify the feasibility of their implementation.

Ключевые слова: BIM, информационное моделирование зданий, ТИМ, проектирование, строительство, жизненный цикл объекта, коллизии, CDE, LOD, цифровая модель.

Keywords: BIM, building information modeling, TIM, design, construction, object life cycle, collisions, CDE, LOD, digital model.

Строительная отрасль переживает цифровую трансформацию, ключевой элемент которой — внедрение BIM-технологий. В отличие от традиционного 2D-проектирования, BIM создаёт единую информационную модель объекта, объединяющую геометрические, технологические, экономические и эксплуатационные данные. Это позволяет управлять проектом на всех этапах — от концепции до демонтажа.

Теоретические основы BIM (информационного моделирования зданий) включают принципы технологии, этапы создания информационной модели, программное обеспечение для работы с BIM и нормативную базу, регулирующую внедрение BIM в строительстве.

BIM-модель — это виртуальная модель строительного объекта, представляющая собой совокупность взаимосвязанной информации о здании. В модели содержатся архитектурно-строительные решения, инженерные системы, коммуникации, экономические данные, сроки строительства и даже каждый материал с указанием марки и количества. [2]

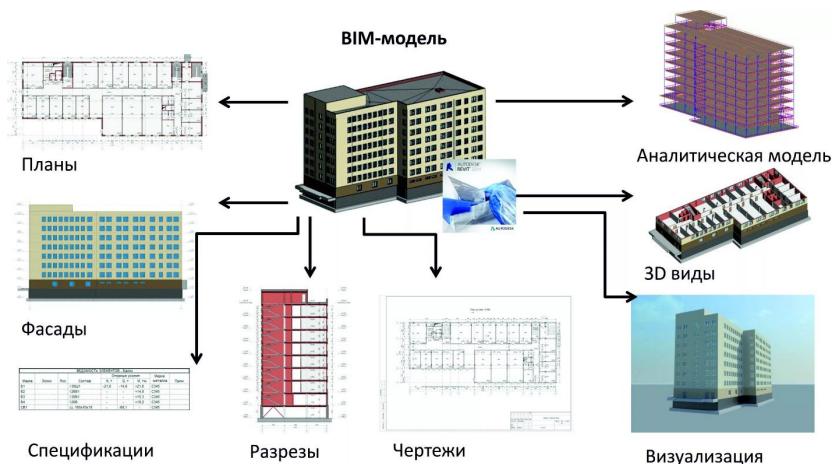


Рисунок 1. BIM-модель

Принципы BIM:

- Взаимосвязь всех элементов. При изменении одного параметра автоматически корректируются связанные с ним данные: чертежи, спецификации, визуализации и календарные графики;
- Создание модели как общего ресурса знаний для всех участников проекта. Модель объединяет архитекторов, инженеров, подрядчиков и заказчиков в единой среде общих данных (CDE);
- Принцип коллективной работы — каждый специалист наполняет свой раздел информацией и взаимодействует с коллегами в реальном времени. Любые изменения модели видны всей команде, что обеспечивает актуальность данных на текущий момент;
- Автоматическая координация процессов — предотвращает возникновение проектных ошибок;
- Охват всего жизненного цикла объекта — от идеи до демонстража. Модель постоянно накапливает важную информацию об объекте и служит базой данных для расчёта полного жизненного цикла сооружения [3].

Внедрение BIM в России регулируется Градостроительным кодексом. С 1 января 2022 года использование BIM стало обязательным для проектов, финансируемых за счёт бюджетных средств, что предусмотрено Постановлением Правительства РФ №331 от 05.03.2021.

Также в области BIM действуют государственные стандарты и своды правил, к примеру:

- СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве»;
 - ГОСТ Р 57563-2017/ISO 12911:2012 (принципы разработки BIM-моделей).
- Международные стандарты:
- ISO 19650 (управление информацией на протяжении жизненного цикла);
 - AIA E202 (BIM-протоколы для США) [4].



Рисунок 2. Технология информационного моделирования

Стандарты

- Создание единых стандартов проектирования: шаблонов проектов, библиотек семейств, правил наименования, регламентов оформления. Без этого каждая команда будет создавать модель по-своему, что сведёт к нулю преимущества информационного моделирования;
- Описание правил взаимодействия, контроля качества модели, подготовки данных для экспертизы и стройки;
- Разработка BIM-процессов — после описания задач применения BIM разрабатывают процессы (сценарии) реализации для каждой задачи, а также согласовывают процесс верхнего уровня, описывающий взаимосвязь BIM-сценариев;
- Внедрение стандарта — он может внедряться на уровне всего проекта или на уровне объекта, а также в отдельные более детализированные BIM-процессы [1].

Программное обеспечение

- Выбор BIM-систем — учитывают специфику проектирования, тип объектов, формат взаимодействия с заказчиком. Например, в условиях импортозамещения часто переходят на российские BIM-решения — nanoCAD, Renga, Model Studio CS и другие;
- Оценка функционала, интеграции с другими программами, удобства освоения, стоимости и доступной поддержки;
- Учёт открытых форматов — например, IFC, что позволяет сократить зависимость от зарубежных платформ и обеспечить устойчивую цифровизацию стройки;
- Анализ доступности оборудования — сложное моделирование требует больших вычислительных мощностей, важно заранее проанализировать, какую программу можно полноценно использовать на предполагаемых мощностях [5].

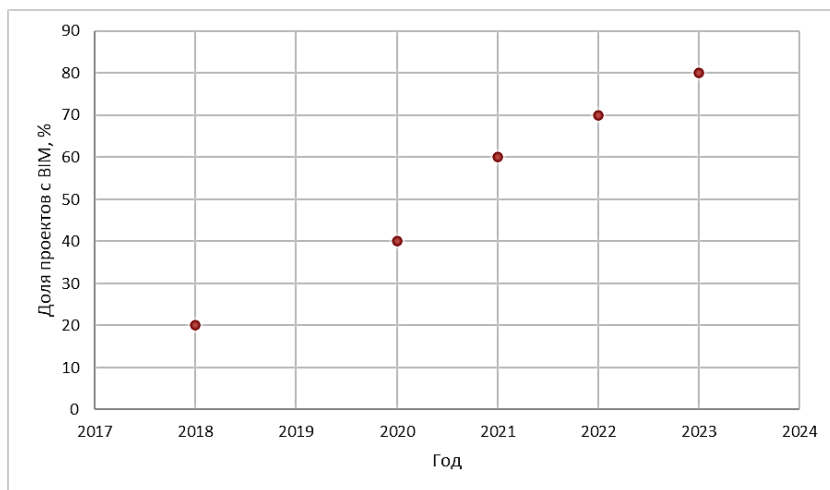


График 1. Динамика внедрения BIM в России (2018–2023 гг.)

Преимущества

- Ускорение проектирования за счёт оптимизации внесения корректировок. Например, если раньше при смене материала и цвета фасада требовался подробный перерасчёт расходной части, то теперь это делается автоматически за несколько секунд;

- Улучшение качества благодаря детальной визуализации с техническими характеристиками. По оценке Минстроя, BIM-технологии примерно на 40% снижают вероятность ошибок и погрешностей в проектной документации по сравнению с традиционными методами;

- Автоматизация рутинных процессов и большинства задач на строительной площадке. Автоматизация помогает создавать 3D-BIM-модели, генерировать документацию, выполнять расчёты и анализы, проводить виртуальное тестирование конструкций без ручного ввода данных;

- Координация работы специалистов — все сведения об объекте содержатся в базе данных, к которой имеют доступ участники проекта (архитекторы, инженеры, технологи, застройщики, бухгалтерия);

- Прозрачность и управляемость — заказчик может в любой момент получить актуальную информацию о ходе проекта, объёмах выполненных работ, соответствии бюджету;

- Оптимизация ресурсопотребления — наличие подробной информационной модели позволяет точно определить необходимое количество материалов, что помогает избежать излишнего расхода и снизить объёмы отходов.

Экономическая эффективность

- Сокращение денежных расходов за счёт масштабирования и тиражирования типовых решений. Если на первом этапе затраты на разработку с использованием информационной модели могут быть существенными, то в дальнейшем использование уже готовой модели значительно сократит конечную стоимость объекта;

- Низкая вероятность ошибок позволяет избежать непредвиденных трат;

- Оценивая весь проект целиком ещё до возведения, можно выбрать оптимальные по соотношению цены и качества материалы;

- Экономия на эксплуатационных расходах — интеграция информационной модели с системами управления эксплуатацией зданий (BMS) открывает возможности для оптимизации энергопотребления, своевременного технического обслуживания и ремонта оборудования, а также предотвращения аварийных ситуаций;

- Повышение стоимости объекта — наличие полной и актуальной информационной модели повышает его инвестиционную привлекательность и рыночную стоимость.

Однако есть и проблемы при внедрении BIM, например, высокие первоначальные затраты на программное обеспечение, оборудование для сбора данных и обучение персонала. [7]

Таблица 1.

Сравнение эффективности BIM и традиционного проектирования

Параметр	Традиционное проектирование	BIM-технологии	Улучшение, %
Ошибки в документации	10–15 % проекта	3–5 %	60–70%
Сроки проектирования	12 месяцев	8 месяцев	33%
Перерасход материалов	15–20 %	5–8 %	60%
Сроки строительства	24 месяца	19 месяцев	21%
Затраты на эксплуатацию	100 % (базовый уровень)	75–90 %	10–25%

Расчёт экономии от выявления коллизий.

Формула расчёта предотвращённых затрат:

$$S_{\text{эконом}} = (N_{\text{кол}} \cdot C_{\text{испр}}) \cdot (1 + K_{\text{риск}}), \quad (1)$$

где $S_{\text{эконом}}$ – экономия от предотвращения коллизий, руб.;

$N_{\text{кол}}$ – количество выявленных коллизий;

$C_{\text{испр}}$ – средняя стоимость исправления одной коллизии на стройплощадке, руб. (≈ 50000 руб.);

$K_{\text{риск}}$ – коэффициент риска дополнительных затрат при позднем обнаружении (0,3–0,5).

Пример: на проекте ЖК «Солнечный» (50000 м²) выявлено 120 коллизий на этапе проектирования. По формуле (1) – Экономия:

$$S_{\text{эконом}} = 120 \cdot 50000 \cdot 1,4 = 8400000 \text{ руб.}$$

Проблемы внедрения BIM в строительстве:

- Отсутствие удобных инструментов для просмотра моделей без специализированного ПО. Многие строительные специалисты не имеют доступа к программам, что затрудняет работу с BIM-моделями непосредственно на площадке;
- Перегруженность моделей излишней информацией. BIM-модели часто содержат детали, не относящиеся к непосредственным

строительным работам, что усложняет их использование для заказчика строительства и исполнителей;

- Недостаточная подготовка персонала. Многие сотрудники строительных компаний не обладают необходимыми навыками для эффективной работы с BIM-моделями, что требует дополнительных образовательных программ и тренингов [6].

Методы решения проблем при внедрении BIM в строительстве:

- Стандартизация BIM-процессов. Разработка внутренних регламентов взаимодействия и представления результатов, создание новой схемы бизнес-процессов, учитывающей все требования и возможности нового инструментария;

- Разработка упрощённых BIM-моделей для строительных нужд. Создание моделей, содержащих только необходимую для строительных работ информацию (без лишней детализации и инженерной «перегрузки»), позволяет сократить объёмы данных и ускорить работу на слабых устройствах;

- Внедрение BIM в рамках «пилотных» проектов. Это позволяет определить основные трудности в переходе на BIM, упростить координацию выполнения проекта и разработать регламент;

- Создание BIM-команды — она имеет доступ ко всем аспектам проекта, обеспечивает эффективное использование BIM-технологий и следит за координацией проекта [6].

BIM-технологии трансформируют строительную отрасль, обеспечивая сквозную цифровизацию процессов. Несмотря на сложности внедрения, экономическая и техническая эффективность технологии доказана практикой. В России развитие BIM поддерживается на государственном уровне, что создаёт условия для масштабирования успешных решений. Перспективным направлением является интеграция BIM с другими цифровыми инструментами — IoT, ИИ, Big Data, — для создания комплексных систем управления инфраструктурой.

Список литературы:

1. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на разных стадиях жизненного цикла».
2. Постановление Правительства РФ от 05.03.2021 № 331 «О требованиях к применению технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве объектов капитального строительства».
3. ГОСТ Р 57563-2017/ISO 12911:2012 «Основные положения по разработке стандартов в области информационного моделирования зданий».

4. ISO 19650:2018 «Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works».
5. Шеина С.Г., Петрова К.С., Фёдорова А.А. Исследование этапов развития BIM-технологий в мировой практике и России // Строительство и технологическая безопасность. — 2019. — № 14. — С. 13–20.
6. Ильинова В.В., Мицевич В.Д. Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве // Российский внешнеэкономический вестник. — 2021. — № 6. — С. 79–93.
7. Минстрой России. Отчёт о результатах внедрения ТИМ в 2022–2023 гг. — М., 2023.

ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ МАҚАЛАЛАР

1-БӨЛІМ.

ФИЗИКА

1.1. АТОМ ЯДРОСЫ ЖӘНЕ ЭЛЕМЕНТАР БӨЛШЕКТЕР ФИЗИКАСЫ

НЕЙТРОНДЫҚ КОМПЬЮТЕРЛІК ТОМОГРАФИЯ ПРИНЦИПТЕРІ МЕН МҮМКІНДІКТЕРІН 3D ҚАРАСТЫРУ

Нуркасымова Сауле Нуркасымовна

*педагогика ғылымдарының
докторы, профессор,
Л.Н. Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан, Астана*

Тлеуканова Алина Ренатовна

*4 курс студенті,
Л.Н. Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан, Астана*

Адибай Айдана Бауржанқызы

*4 курс студенті,
Л.Н. Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан, Астана*

3D VIEW OF THE PRINCIPLES AND CAPABILITIES OF NEUTRON COMPUTED TOMOGRAPHY

Nurkasymova Saule Nurkasymovna

*Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Kazakhstan, Astana*

Tleukanova Alina Renatovna

*4th year student,
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Kazakhstan, Astana*

Adibay Aidana Baurzhankyzy

*4th year student,
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Kazakhstan, Astana*

Аңдатпа. Нейтрондық радиография және компьютерлік томография қазіргі заманғы бұзбай бақылау әдістерінің маңызды салалары болып табылады. Бұл мақаланың мақсаты – нейтрондық томографияның физикалық принциптерін, ерекшеліктерін және қолданылуын зерттеу, сондай-ақ оның басқа бейнелеу әдістерінен артықшылықтарын анықтау. Нейтрондардың затпен өзара әрекеттесуі, сәулелену сәулелерінің геометриялық түрлері және томографиялық бейнелеу принциптері талданады. Сонымен қатар, нейтрондық радиография мен томография археологиядағы мәдени мұра нысандарын, аэроғарыш өнеркәсібінде қолданылатын күрделі техникалық құрылғыларды зерттеуде рентгендік бейнелеу әдістерін тиімді түрде толықтыратыны көрсетілген. Нейтрондардың металдар арқылы еркін өту қабілеті және олардың сутегіге бай материалдарға жоғары сезімталдығы қарастырылған. Бұл қасиеттер бұл әдісті металл корпустардағы органикалық материалдарды және ішкі ақауларды анықтау үшін тиімді етеді. Нейтрондық томографияны археологияда, мәдени мұраны зерттеуде және өнеркәсіпте қолдану мысалдары келтірілген. Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы нейтрондық томографияның заманауи зерттеу құралы ретіндегі тиімділігінің негізделуімен, сондай-ақ болашақта ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында қолданудың кең әлеуетімен анықталады.

Abstract. Neutron radiography and computed tomography are important areas of modern non-destructive testing methods. The purpose of this article is to study the physical principles, features and applications of neutron tomography, as well as to identify its advantages over other imaging methods. The interaction of neutrons with matter, the geometric types of radiation beams and the principles of tomographic imaging are analyzed. In addition, it is shown that neutron radiography and tomography effectively complement X-ray imaging methods in the study of cultural heritage objects in archaeology, complex technical devices used in the aerospace industry. The ability of neutrons to freely pass through metals and their high sensitivity to hydrogen-rich materials are considered. These properties make this method effective for detecting organic materials and internal defects in metal cases. Examples of the use of neutron tomography in archaeology, cultural heritage research and industry are given. The scientific and practical significance of the work is determined by the justification of the effectiveness of neutron tomography as a modern research tool, as well as the broad potential for its application in various fields of science and technology in the future.

Түйін сөздер: нейтрон; нейтрондық томография; нейтрондық радиография; 3D бейнелеу; нейтрондық сәулелену.

Keywords: neutron; neutron tomography; neutron radiography; 3D imaging; neutron radiation.

Кіріспе

Қазақстан Республикасының Президенті Қасым-Жомарт Тоқаев өзінің жастар мен ғылым туралы жолдауларында ғылымның іргелі бағыттарының дамуы елдің интеллектуалдық әлеуеті үшін шешуші маңызға ие екенін бірнеше рет атап өткен еді. Президенттің: «Ғылымсыз елдің болашағы бұлыңғыр. Біз жаңа технология мен іргелі зерттеулерге сүйенген мықты ғылыми мектеп қалыптастыруымыз керек» деген сөзі қазіргі физикадағы жалпы салыстырмалылық теориясы сияқты ілімдердің маңызын ерекше етіп көрсетеді [1].

XXI ғасырда жаңа заман талаптарын басқарып, меңгеретін тұлға ол болашақ жастар. Ол үшін әрбір Қазақстан Республикасының азаматы жан-жақты дамыған, білімді, білгір, құзіретті кәсіпкер болуы тиіс. Соған орай болашақта әр оқушының кәсіби құзыреттілігіне бағдар алып толықтай дамуы да маңызды.

Нейтрондық томография мен радиографияның теориялық негіздері XX ғасырдың 50-60 жылдары қалыптаса бастады. Алайда тәжірибелік қолданысқа енуі жоғары қарқынды нейтрон көздерінің, яғни ядролық реакторлар мен спалляциялық қондырғылардың

дамуымен тікелей байланысты болды. Соңғы онжылдықтарда детектор технологиялары мен цифрлық деректерді өңдеу әдістерінің жедел жетілдірілуі нейтрондық томографияны іс жүзіндегі зерттеулер мен өнеркәсіптік тексеру үшін қолжетімді әрі тиімді құралға айналдырды.

Нейтрондық компьютерлік томография – нейтрон сәулелерін пайдалану арқылы зерттелетін заттың ішкі құрылымын үшөлшемді (3D) түрде бейнелеуге мүмкіндік беретін бейнелеу әдісі.

3D технологиялары қазіргі ғылым мен техниканың болашақтағы дамуы үшін ерекше маңызға ие. Үшөлшемді бейнелеу әдістері күрделі нысандардың ішкі құрылымын толық көлемде зерттеуге мүмкіндік беріп, жаңа материалдарды жасау, инженерлік жүйелерді жетілдіру және тарихи мұраларды сақтау сияқты маңызды міндеттерді шешуге көмектеседі. 3D модельдер зерттелетін құрылғылардың құрылымын қатесіз талдауға, оның ақауларын анықтауға және болашақта қолдануға болатын мүмкіндіктерін қарастырады. Сонымен қатар алынған үшөлшемді деректер сандық форматта сақталып, оларды қайта өңдеу, модельдеу және виртуалды зерттеу жүргізу үшін пайдалануға болады. Сондықтан 3D бейнелеу технологиялары ғылымның, өнеркәсіптің және мәдени мұраны зерттеудің болашақтағы негізгі құралдарының бірі болып саналады.

Нейтрондық томографияның мен рентгендік томографиядан негізгі айырмашылығы - нейтрондардың затпен әрекеттесу механизмі. Рентген сәулелері атомдардың электрон қабықшаларымен әрекеттесіп, ауыр элементтермен күштірек сіңіріледі. Нейтрондардың сіңірілуі химиялық элементтің периодтық кестедегі орнына тәуелсіз. Нәтижесінде нейтрондар темір, алюминий және мыс сияқты ауыр металдардан оңай өтеді. Бұл қасиет нейтрондық томографияны металл корпусстардың ішінде орналасқан майларды, тығыздағыштарды, полимерлерді және басқа да органикалық материалдарды анықтауда тиімді әдіске айналдырады.

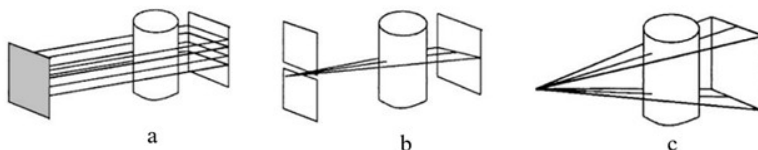
Бүгінгі таңда нейтрондық томография автомобиль және аэроғарыш өнеркәсібіндегі бұзбай сынаудан бастап, ежелгі тарихи артефактілерді зерттеуге дейінгі кең ауқымды міндеттерді шешуде қолданылады.

Нейтрондық томографияның физикалық негіздері

Нейтрондық томография – нейтрон сәулелерін пайдалану арқылы заттың ішкі құрылымын зерттеуге мүмкіндік беретін бейнелеу әдісі. Бұл әдісте зерттелетін зат нейтрон шоғы арқылы әртүрлі бұрыштарда сәулелендіріліп, алынған проекциялық кескіндер компьютерлік

алгоритмдер арқылы өңделеді. Нәтижесінде заттың ішкі құрылымының үшөлшемді (3D) бейнесі қалпына келтіріледі.

Жалпы томографияны жүзеге асыру кезінде сәуле шоғы әртүрлі геометриялық үлгіде қалыптастырылуы мүмкін: параллель шоқ, желдеткіш тәрізді шоқ және конус пішінді шоқ (1-сурет) [2].



а) параллель шоқ, б) желдеткіш тәрізді шоқ, с) конус пішінді шоқ

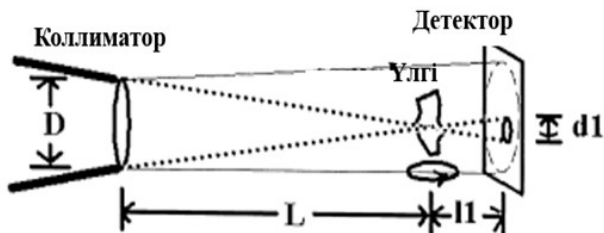
Сурет 1. Томографиялық бейнелеу кезінде қолданылатын сәуле шоғының түрлері

Параллель шоқ геометриясында сәулелер бір-біріне параллель бағытта таралады және зат арқылы өткеннен кейін детекторда тіркеледі. Мұндай геометрия көбінесе нейтрондық және синхротрондық сәулелену көздерінде қолданылады. Желдеткіш тәрізді шоқ жағдайында сәулелер нүктелік көзден таралып, желдеткіш пішінінде затқа бағытталады. Нәтижесінде зат қабат бойынша сканерленіп, алынған проекциялар негізінде кескіндер реконструкцияланады. Ал конус пішінді шоқ геометриясында сәуле нүктелік көзден конус тәрізді таралады, бұл жағдайда заттың бүкіл көлемі бір уақытта сәулеленеді және алынған деректер бір мезгілде өңделіп, үшөлшемді томографиялық кескін қалыптастырылады.

Проекциялық кескіндердің сапасына сәуле шоғының геометриялық параметрлері де әсер етеді. Радиографиялық және томографиялық жүйелердің маңызды сипаттамаларының бірі – сәуле көзінен үлгіге дейінгі қашықтық (L) және коллиматор саңылауының диаметрі (D). Осы шамалардың L/D қатынасы, параметр сәуле шоғының коллимация дәрежесін және алынатын кескіннің ажыратымдылығын анықтайды.

Классикалық радиография жүйесінде сәуле шоғы коллиматор арқылы қалыптастырылады. Заттың шағын көлемдік элементі сәуле көзі бұрышына және зат пен детектор арасындағы қашықтыққа байланысты детектор жазықтығында белгілі бір өлшемдегі дақ түрінде проекцияланады. Нәтижесінде кескіннің геометриялық бұлыңғырлануы пайда болады. Бұл бұлыңғырлану шамасы сәуле көзі өлшеміне, зат пен

детектор арасындағы қашықтыққа және L/D параметріне тәуелді болады (2-сурет).



Сурет 2. Радиографиялық жүйедегі сәуле шоғының қалыптасу схемасы

Суретте радиографиялық қондырғының негізгі элементтері: коллиматор, үлгі және детектор көрсетілген [2]. Коллиматор сәуле шоғын қалыптастырады, ал оның диаметрі D параметрімен сипатталады. Коллиматор мен үлгі арасындағы қашықтық L , ал үлгі мен детектор арасындағы арақашықтық l_1 деп белгіленеді. Үлгінің шағын элементі детекторда белгілі бір диаметрдегі дақ ретінде бейнеленеді. Бұл құбылыс кескіннің геометриялық бұлыңғырлануына (d_1) әкеледі. Айта кету керек, томография әдісі көптеген радиографиялық проекциялар негізінде жүзеге асырылатындықтан, радиография қондырғысының геометриялық параметрлері томографиялық зерттеулер үшін де маңызды болып табылады. Сондықтан томографияда сәуле шоғының мүмкіндігінше параллель болуы кескін сапасын арттыруда маңызды рөл атқарады.

Зерттеу барысында нейтрондардың затпен әсерлесу ерекшеліктері, сәуле шоғының геометриялық параметрлері және томографиялық бейнелеу принциптері қарастырылды. Сонымен қатар ғылыми әдебиеттерге талдау жүргізіліп, заманауи нейтрондық бейнелеу әдістері жүйеленді.

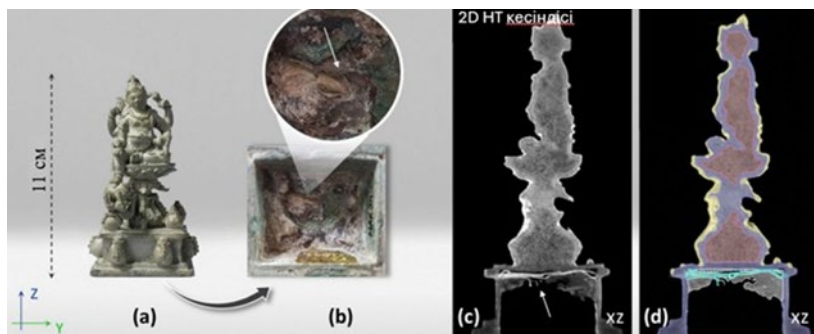
Нәтижелер мен талқылау

Нейтрондық томография қазіргі уақытта ғылым мен техниканың көптеген салаларында кеңінен қолданылатын заманауи зерттеу әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс материалдардың ішкі

құрылымын зерттеуге мүмкіндік беретіндіктен, әртүрлі техникалық және ғылыми салаларда маңызды рөл атқарады.

Археология және мәдени мұраны зерттеу саласында нейтрондық томография ерекше маңызды құрал болып табылады. Бұл әдіс тарихи артефактілердің ішкі құрылымын зақымдамай зерттеуге мүмкіндік береді. Мысалы, қола мүсіндер, ежелгі қару-жарақтар, зергерлік бұйымдар және басқа да мәдени мұра нысандарының ішкі құрылымы мен жасалу технологиясын анықтауға болады. Сонымен қатар мүсіндердің ішінде орналасқан жасырын заттарды немесе қасиеттеу салымдарын анықтау мүмкіндігі бар.

Осы саладағы нақты бір мысал – Индонезиядан табылған қола мүсіні (3-сурет).

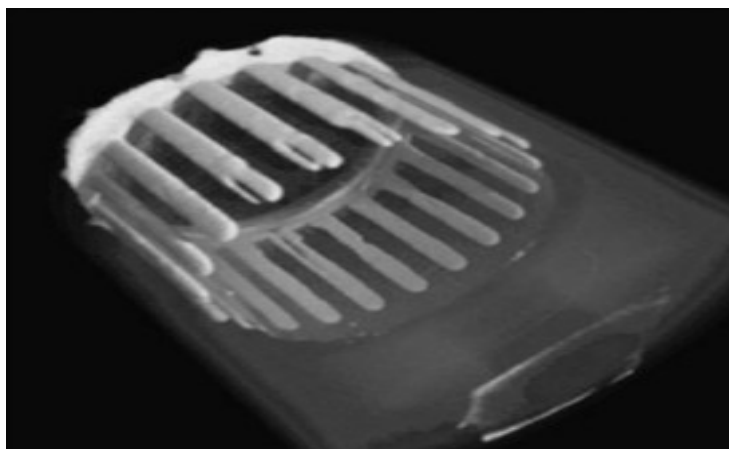


Сурет 3. а) Кувера – байлық құдайын бейнелейтін қола мүсіні; б) мүсіннің тұғырының төменгі жағынан қарағандағы көрінісі. Толтырғыш материал арасынан сыртқа шығып тұрған металл фольгасының бір бөлігі байқалады; с) нейтрондық томография арқылы алынған модельдің тік кесіндісі; d) сұр реңктер бойынша жүргізілген сегментация нәтижесінде әртүрлі материалдарға сәйкес келетін аймақтары көрсетілген

Қарастырылып отырған суретте шағын мүсін индуизмде Кувера, ал буддизмде Джамбхала деп аталатын байлық құдайының бейнесі көрсетілген. Биіктігі шамамен 11 см болатын мүсіннің тұғыры қуыс болып келеді және оның ішінде әртүрлі толтырғыш материалдар мен металл фольга орналасқаны анықталған. Артефактінің ішкі құрылымын бұзбай зерттеу және оның құрамындағы материалдар туралы мәлімет алу мақсатында нейтрондық томография және гамма-спектроскопия әдістері қолданылған [3].

Нейтрондық томография нәтижелері мүсіннің ішкі құрылымы туралы маңызды ақпарат алуға мүмкіндік берді. Томографиялық кескіндер арқылы қола материалдың ішкі кеуектілігі, тұғыр бөлігінде орналасқан металл фольга және оны қоршаған толтырғыш материал анық байқалады. Сонымен қатар алынған деректер бойынша мүсіннің оның ішкі құрылымдық ерекшеліктерін зерттеуге мүмкіндік береді.

Нейтрондық томография өнеркәсіп саласында да кеңінен қолданылады. Бұл әдіс әртүрлі материалдардың ішкі құрылымын және олардың арасындағы байланыс қабаттарын бұзбай зерттеуге мүмкіндік береді. Мысалы, алюминий цилиндрлерінің арасындағы желім қабаттарын зерттеу кезінде нейтрондық бейнелеу әдісі желімнің таралуын, қалыңдығын және ықтимал ақауларын анық көрсетуге мүмкіндік береді (4-сурет). Мұндай зерттеулер желімделген конструкциялардың сапасын бақылауда, сондай-ақ машина жасау және аэроғарыш өнеркәсібінде қолданылатын материалдардың сенімділігін бағалауда маңызды рөл атқарады.



Сурет 4. Нейтрондық томография арқылы алынған алюминий цилиндрлерінің кескіні

4-суретте нейтрондық томография арқылы алынған алюминий цилиндрлерінің ішкі құрылымы көрсетілген [2]. Кескінде цилиндр пішінді үлгінің ішкі бөлігіндегі параллель орналасқан элементтер айқын байқалады. Нейтрондық бейнелеу әдісінің көмегімен материалдың ішкі құрылымы мен қабаттары анық көрінеді. Сонымен

қатар алюминий цилиндрлерінің арасындағы желім қабаттары мен олардың таралуы да айқын байқалады. Мұндай кескіндер нейтрондық томографияның өнеркәсіптік материалдарды, желімделген конструкцияларды және олардың ішкі ақауларын зерттеуде тиімді әдіс екенін көрсетеді.

Осылайша нейтрондық томография материалдардың ішкі құрылымын жоғары дәлдікпен зерттеуге мүмкіндік беретін тиімді әдіс болып табылады. Бұл әдістің негізгі артықшылықтарының бірі – зерттелетін үлгінің ішкі құрылымын үшөлшемді түрде визуализациялау мүмкіндігі. Сонымен қатар нейтрондық томография ауыр металдар арқылы оңай өтіп, сутегіге бай материалдарды жақсы анықтай алады, бұл оны рентгендік әдістермен салыстырғанда бірқатар жағдайларда тиімді етеді. Әдіс жоғары кеңістіктік ажыратымдылыққа ие болып, материалдардың ішкі ақауларын, кеуектілігін және құрылымдық ерекшеліктерін дәл анықтауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ алынған томографиялық деректерді компьютерлік өңдеу арқылы үлгінің толық үшөлшемді моделін құруға болады.

Зерттеу нәтижелері бойынша нейтрондық компьютерлік томография өнеркәсіпте, материалтануда, энергетикада, археологияда және мәдени мұра нысандарын зерттеуде кеңінен қолданылатын маңызды зерттеу құралдарының бірі болып табылады.

Қорытынды

Бұл жұмыста 3D нейтрондық компьютерлік томографияның негізгі принциптері, физикалық ерекшеліктері және қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Нейтрондық томография зерттелетін заттың ішкі құрылымын үшөлшемді түрде бейнелеуге мүмкіндік беретін тиімді бейнелеу әдісі болып табылады.

Нейтрондық томографияның жұмыс принципі, сәуле шоғының геометриялық түрлері және радиографиялық жүйенің негізгі параметрлері қарастырылды. Нейтрондық томография әдісінің археология, мәдени мұраны зерттеу және өнеркәсіп салаларындағы қолданылу мысалдары келтірілді. Нейтрондық томографияның көмегімен тарихи артефактілердің ішкі құрылымын зерттеу, олардың жасалу технологиясын анықтау және жасырын элементтерді табу мүмкіндігі көрсетілді.

Қазіргі уақытта нейтрондық томография технологиясы қарқынды дамып келеді. Жаңа буын спалляциялық нейтрон көздерінің іске қосылуы нейтрон ағынының қарқындылығын арттырып, өлшеу уақытын қысқартуға және кеңістіктік ажыратымдылықты жақсартуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар детектор технологияларының

жетілдірілуі және деректерді өңдеуде жасанды интеллект пен машиналық оқыту әдістерінің қолданылуы томографиялық кескіндердің сапасын одан әрі арттыруға ықпал етеді. Болашақта нейтрондық томография материалдардың микроқұрылымын, магниттік домендерді, кристалдық ақауларды және нанокұрылымдарды зерттеуде маңызды рөл атқарады деп күтілуде.

Әдебиеттер тізімі:

1. Токаев К.Ж. Реформы Токаева: полный текст выступления в Мажилисе 11 января 2022 г. [Электронный ресурс]. – Нур-Султан: Официальный сайт Президента Республики Казахстан. – URL: <https://www.akorda.kz> (дата обращения: 05.05.2026).
2. Schillinger B., Lehmann E.H., Vontobel P. 3D neutron computed tomography: requirements and applications // *Physica B Condens Matter*. – 2000. – Vol. 276–278. – P. 59–62.
3. Yueer J., Creange S., Zhou Z., Southworth W., Pappot A., van Eijck L., et al. Exploiting activation radiation from neutron tomography reveals the hidden elemental composition of 3D art objects for free // *Sci Rep*. – 2024. – Vol. 14.
4. Подурец К.М., Кичанов С.Е., Глазков В.П., Коваленко Е.С., Мурашев М.М., Козленко Д.П., и др. Современные методы нейтронной радиографии и томографии в исследованиях внутреннего строения объектов // *Физика элементарных частиц и атомного ядра*. – 2021. – Т. 52, № 3. – С. 534–584.
5. Zhomartova A.Zh., Nazarov K.M., Kenessarın M., Samashev Z.S., Zhumatayev R.S. The neutron imaging studies of the metal archaeological objects from the Eleke Sazy complex // *Eurasian J Phys Funct Mater*. – 2024.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ**

*Сборник статей по материалам ХСVI международной
научно-практической конференции*

№ 5 (96)
Май 2026 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 07.05.26. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 3,25. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1

16+



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru