

Лузин Егор Павлович

*студент, кафедра проектирования и строительства
объектов нефтяной и газовой промышленности*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
РФ, г. Уфа*

**МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА УГЛОВОГО
ПОЛОЖЕНИЯ ЗДАНИЯ НАСОСНОГО ЦЕХА МАГИСТРАЛЬНОЙ
НАСОСНОЙ СТАНЦИИ
АННОТАЦИЯ**

Данная работа посвящена созданию автоматизированной системы для постоянного отслеживания угловых смещений конструкций насосного цеха. Разработанное устройство, сконструированное на основе микроконтроллера Arduino Nano и инерциального сенсора MPU-6050, способно измерять углы крена с погрешностью до $\pm 0,1^\circ$. Система автоматически управляет процессом мониторинга и передает оповещения о значительных отклонениях в реальном времени. Исследованы актуальные подходы к геодезическому и автоматизированному контролю, в результате чего выявлены достоинства предлагаемого решения: дешевая стоимость, легкость масштабирования и совместимость с промышленными платформами. В статье представлены структурная схема макета, описание принципа работы, технические спецификации использованных компонентов, а также экономическая целесообразность внедрения системы.

ABSTRACT

This work is devoted to the creation of an automated system for continuous monitoring of the angular displacements of the pump shop structures. The developed device, which is based on the Arduino Nano microcontroller and the MPU-6050 inertial sensor, is capable of measuring the roll angles with an accuracy of up to $\pm 0.1^\circ$. The system automatically controls the monitoring process and provides real-time alerts for significant deviations. The current approaches to geodetic and automated monitoring

have been investigated, and the advantages of the proposed solution have been identified, including its low cost, ease of scaling, and compatibility with industrial platforms. The article presents a structural diagram of the layout, a description of the operating principle, technical specifications of the components used, and the economic feasibility of implementing the system.

Ключевые слова: мониторинг зданий, Arduino, MPU-6050, инклинометр, микроконтроллерный комплекс, автоматизация контроля.

Keywords: building monitoring, Arduino, MPU-6050, inclinometer, microcontroller complex, automation of control.

В нефтегазовой отрасли очень важно, чтобы технологическое оборудование и строительные конструкции работали надежно. Трубопроводы, насосы и здания насосных цехов подвергаются разным воздействиям — динамическим нагрузкам, тепловым деформациям и вибрациям. Это приводит к тому, что соединения теряют герметичность, оборудование изнашивается и иногда случаются аварии.

Обычные методы контроля, такие как геометрическое нивелирование, створные наблюдения и триангуляция, дают точные результаты, но требуют квалифицированных специалистов, проводятся не постоянно и не подходят для непрерывного мониторинга. Современные автоматизированные системы, например ГНСС-мониторинг или лазерное сканирование, часто стоят дорого, сложны в установке и могут иметь ограничения из-за условий эксплуатации.

В этой работе показано, как работает датчик углового положения на базе микроконтроллера Arduino Nano и инерциального модуля MPU-6050. Он позволяет непрерывно отслеживать отклонения строительных конструкций с точностью около $\pm 0,1^\circ$. Такое устройство автоматизирует измерения, исключает ошибки, связанные с человеком, и может быть включено в промышленные системы автоматизации.

1 Анализ существующих методов измерения угловых отклонений

1.1 Традиционные геодезические методы

Геометрическое нивелирование дает точность примерно до 1 мм, но требует регулярных измерений и опытного оператора [1]. Тригонометрическое нивелирование подходит для участков с резкими перепадами высот, однако его сложно проводить. Створные наблюдения позволяют отслеживать горизонтальные смещения с точностью до 2 мм, но для этого нужны надежные реперные знаки. Триангуляция и полигонометрия применяются для создания геодезических сетей, хотя требуют много времени и ресурсов.

1.2 Современные автоматизированные методы

ГНСС-мониторинг облегчает процесс измерений, но погрешность в плане может достигать 30 мм, а по высоте – 40 мм, что не всегда хватает для точного контроля [2]. Лазерное сканирование помогает получать детализированные 3D-модели, но оборудование дорогое, а обработка данных занимает много времени. Фотограмметрия удобна в труднодоступных местах, но обработка снимков также задерживает получение результатов.

1.3 Датчик угла наклона MPU-6050

Датчик на основе MPU-6050 — это шестисековой модуль, который объединяет трехосевой гироскоп и акселерометр. После калибровки и обработки данных точность достигает около $\pm 0,1^\circ$. В отличие от традиционных методов, этот прибор может работать круглосуточно, передавать данные по Modbus RTU, Wi-Fi или Bluetooth и не требует постоянного присутствия оператора.

2 Компоненты датчика

Контроллер Arduino Nano V3.0 (CH340) построен на базе ATmega328P с тактовой частотой 16 МГц, имеет 32 КБ флеш-памяти, 2 КБ SRAM и 1 КБ EEPROM. Поддержка интерфейса I²C позволяет подключать датчик MPU-6050 и LCD-дисплей, а компактный форм-фактор упрощает интеграцию в защищенный корпус.

Гироскоп-акселерометр MPU-6050 MEMS-датчик обеспечивает измерение угловой скорости в диапазоне до ± 2000 град/с и ускорения до $\pm 16g$. Встроенный цифровой процессор движения (DMP) разгружает микроконтроллер, а

термодатчик компенсирует температурные дрейфы, что критически важно для промышленной эксплуатации.

Символьный LCD дисплей 2004 I²C с разрешением 20×4 символов и адаптером I²C использует всего 4 провода для подключения. Отображает текущие углы наклона по осям X и Y, статус системы и предупреждения.

Литий-ионный аккумулятор 18650 емкостью 3000 мАч обеспечивает до 70 часов автономной работы. Модуль TP4056 контролирует заряд, а повышающий преобразователь MT3608 стабилизирует выходное напряжение 5 В при падении напряжения аккумулятора до 3 В.

3 Макет и принцип действия

3.1 Структура макета

Макет датчика (рисунок 1) включает: информационный дисплей (1), микроконтроллер Arduino Nano (2), инерциальный датчик MPU-6050 (3), литий-ионный аккумулятор (4), модуль заряда TP4056 (5), двухцветные светодиоды (6), кнопку включения (7) и кнопку калибровки (8).

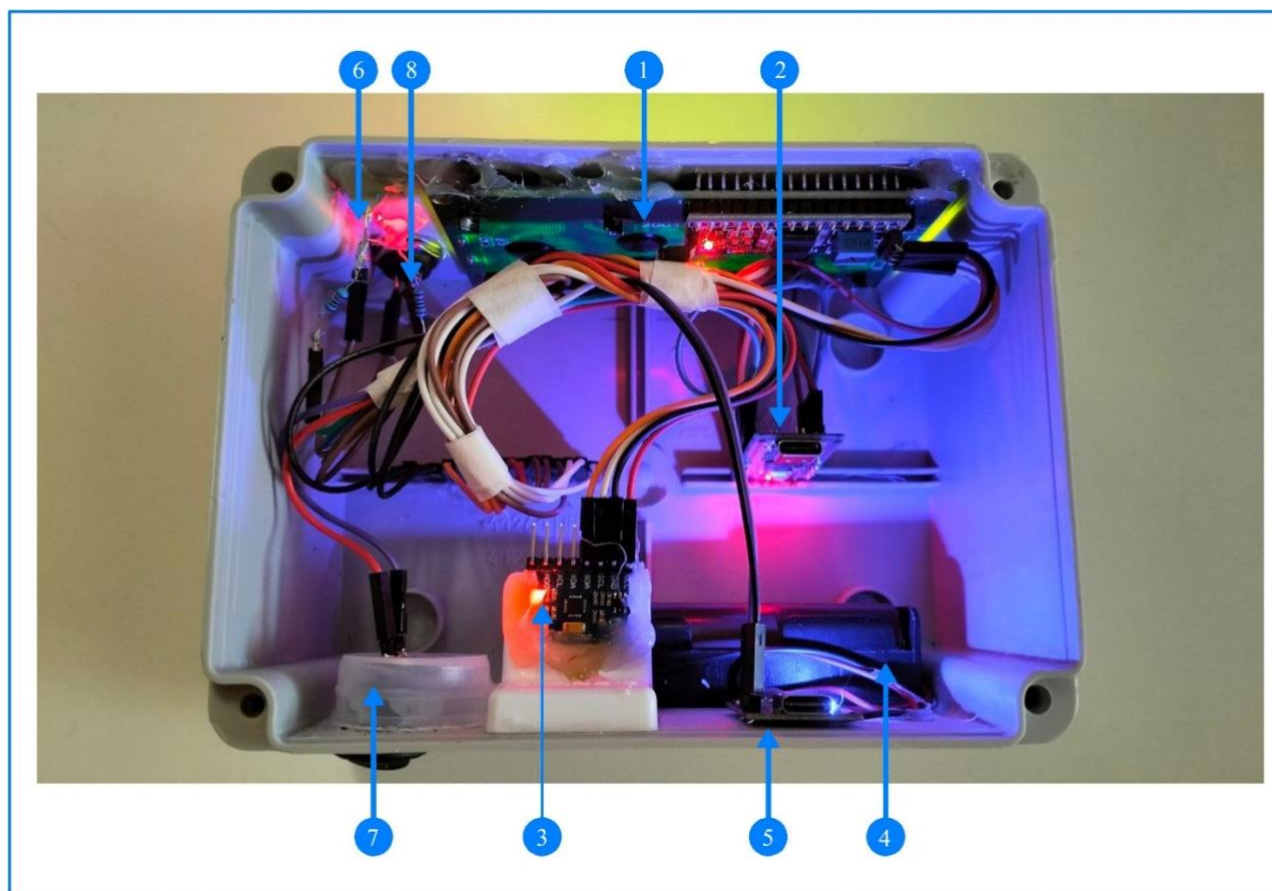


Рисунок 1 – Макет датчика для определения углового положения

3.2 Алгоритм работы

После включения устройства оператор фиксирует начальное положение кнопкой калибровки. Гироскоп запоминает нулевые значения, и система переходит в режим мониторинга. В реальном времени MPU-6050 измеряет углы наклона по осям X и Y, микроконтроллер обрабатывает данные и выводит их на дисплей.

В проекте задан порог отклонения до 15° по каждой оси (значение может быть изменено в программном коде под требования объекта). Если отклонения в пределах нормы, дисплей показывает надпись «GOOD», горит зеленый светодиод. При превышении порога активируется предупреждение «WARNING» и красный светодиод (рисунок 2).

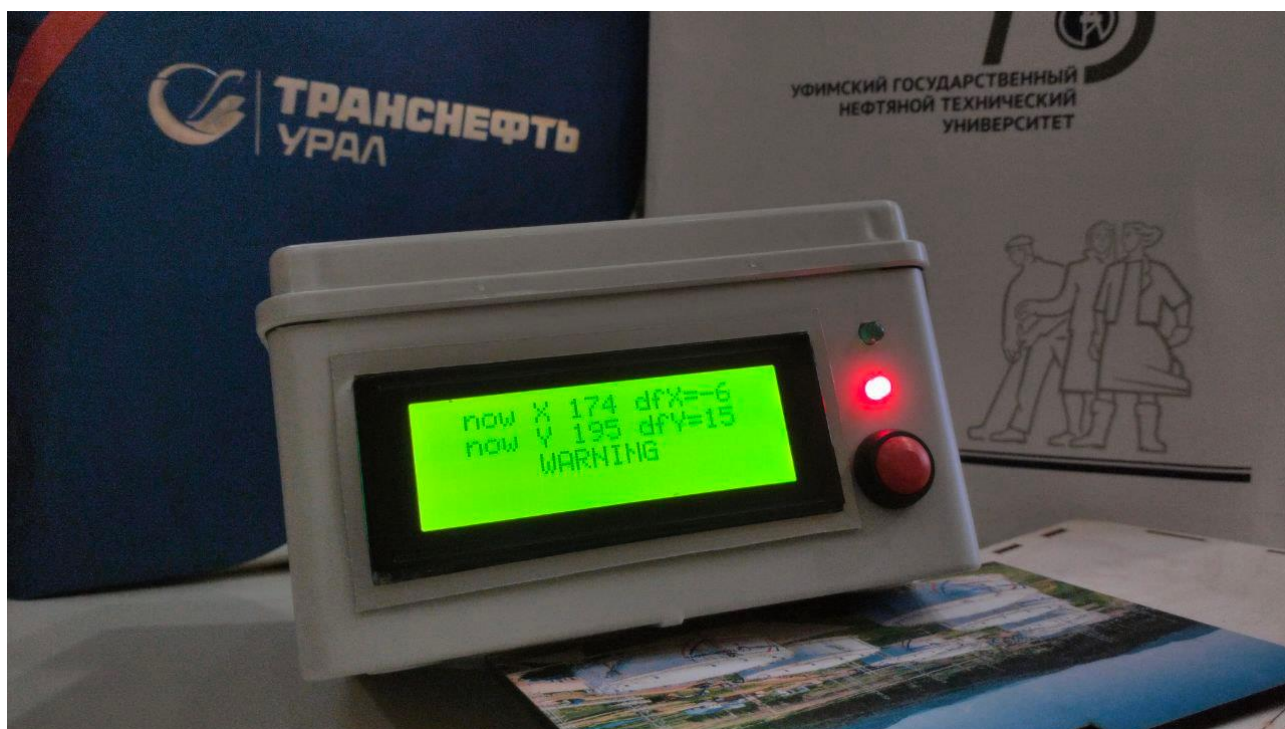


Рисунок 2 – Отображение критических отклонений

Для дистанционного мониторинга предусмотрена передача данных через Bluetooth-модуль HC-05 на смартфон или через UART/USB на промышленный контроллер. Для особых условий может быть добавлен Wi-Fi (ESP8266), GSM (SIM800L) или LoRa-радиоканал.

4 Промышленная реализация датчика для нефтегазового производства

В промышленном исполнении устройство получает питание от сети 24 В постоянного тока через защищенный клеммник. Литий-ионный аккумулятор используется только в демонстрационном макете.

Для эксплуатации во взрывоопасных зонах (ATEX/IECEx) предлагается корпус из алюминиевого сплава АМгб с толщиной стенок 4 мм. Все соединения выполняются через взрывозащищенные кабельные вводы Ex-d с двойным уплотнением, внутренние цепи имеют искробезопасное исполнение (Ex-i). Встроенный термоконтроллер и керамические теплоотводы обеспечивают работоспособность в диапазоне температур от -40°C до +70°C. Для подключения к АСУ ТП предусмотрены интерфейсы RS-485 или Ethernet с гальванической развязкой (рисунок 3).



Рисунок 3 – Пример промышленного исполнения датчика

5. Экономическая составляющая

5.1 Стоимость компонентов

Расчет затрат на сборку одного датчика (макетный вариант) приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Цены компонентов для датчика

Компонент	Количество, шт	Цена, руб.	Итого, руб.
Arduino Nano V3 (CH340)	1	164	164
MPU-6050 (гироскоп)	1	321	321

Компонент	Количество, шт	Цена, руб.	Итого, руб.
LCD2004 (дисплей)	1	582	582
Резистор 220 Ом	2	10	10
Модуль заряда TP4056	1	150	150
Аккумулятор 18650	1	321	321
Кнопка PBS-33B	1	72	72
Кнопка KCD5-2-101	1	80	80
Провода Dupont	20	123	123
Итого			1823

5.2 Сравнение с альтернативными методами

В таблице 2 представлено сравнение с существующими методами мониторинга.

Таблица 2 – Сравнение экономической эффективности методов мониторинга

Метод/Датчик	Пример оборудования	Стоимость	Точность	Автоматизация
Датчик Arduino	Arduino + MPU-6050	1 823 руб./ед.	$\pm 0,1^\circ$	Полная
Геодезический нивелир	Leica Sprinter 200	100 000 руб.	0,7–1 мм на 1 км	Нет
Инклинометр промышленный	SICK DTS60 (Ex-исполнение)	80 000 руб.	$\pm 0,01^\circ$	Полная
ГНСС-станция	Trimble R10	980 000 руб.	± 10 мм	Полная
Лазерный сканер	FARO Focus S70	5 500 000 руб.	± 1 мм	Частичная

Экономический эффект от внедрения достигается за счет:

- отсутствия необходимости в постоянном присутствии геодезиста;
- автоматизации сбора и передачи данных;
- низкой стоимости изготовления и модернизации.

Заключение

Разработанный датчик углового положения на основе Arduino Nano и MPU-6050 демонстрирует высокую эффективность для мониторинга здания насосного цеха. Его ключевые преимущества включают:

- непрерывный автоматизированный контроль с точностью $\pm 0,1^\circ$;
- низкую стоимость компонентов;
- возможность интеграции в промышленные сети (RS-485, Ethernet) и взрывозащищенное исполнение;

- масштабируемость и адаптацию под различные объекты.

Сравнение с традиционными геодезическими методами и промышленными системами подтверждает, что предложенное решение является оптимальным по критериям «точность – стоимость – автоматизация» для типовых объектов нефтегазового комплекса.

Перспективы дальнейшего развития включают внедрение беспроводных интерфейсов LoRa и 5G, улучшение алгоритмов фильтрации данных на основе нейросетей, а также сертификацию взрывозащищенной версии для работы в зонах категории 1.

Список литературы

1. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2013. – 32 с.
2. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. – М.: ФАУ «ФЦС», 2013. – 110 с.