

УДК: 004.021

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВОДООТВЕДЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ.

Салиева Мохигул Баҳодировна – докторант

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к автоматизации мелиорации и дренажных систем, применяемых на территориях жилой застройки. Обоснована необходимость внедрения интеллектуальных систем мониторинга и управления гидрогеологическим состоянием почв. Предложен инновационное решение автоматизированной системы контроля уровня грунтовых вод, влажности почвы и производительности дренажных насосных станций. Проведен анализ эффективности применения датчиков, микропроцессорных контроллеров и цифровых алгоритмов регулирования для обеспечения устойчивого водного режима. Представлены результаты моделирования и практические рекомендации.

Ключевые слова: мелиорация, дренаж, автоматизация, мониторинг, насосная станция, датчики, управление, гидрогеология, система, влажность.

Annotatsiya. Maqolada turar-joy binolari hududlarida qo'llaniladigan melioratsiya va drenaj tizimlarini avtomatlashtirishning zamonaviy yondashuvlari ko'rib chiqilgan. Tuproqlarning gidrogeologik holatini monitoring qilish va boshqarishning intellektual tizimlarini joriy etish zarurligi asoslangan. Sizot suvlari sathi, tuproq namligi va drenaj nasos stansiyalari unumdarligini nazorat qilishning avtomatlashtirilgan tizimi arxitekturasi taklif etilgan. Barqaror suv rejimini ta'minlash uchun datchiklar, mikroprotsessorli kontrollerlar va raqamli rostlash algoritmlarini qo'llash samaradorligi tahlil qilingan. Modellashtirish natijalari va amaliy tavsiyalar keltirilgan.

Kalit so'zlar: melioratsiya, drenaj, avtomatlashtirish, monitoring, nasos

stansiyasi, datchiklar, boshqaruv, gidrogeologiya, tizim, namlik.

Annotation. The article examines modern approaches to automating land reclamation and drainage systems used in residential areas. The necessity of implementing intelligent systems for monitoring and managing the hydrogeological state of soils has been substantiated. The architecture of an automated system for monitoring groundwater levels, soil moisture, and the productivity of drainage pumping stations is proposed. An analysis of the effectiveness of using sensors, microprocessor controllers, and digital control algorithms to ensure a stable water regime was conducted. Modeling results and practical recommendations are presented.

Key words: land reclamation, drainage, automation, monitoring, pumping station, sensors, management, hydrogeology, system, humidity.

Введение. В условиях роста плотности жилищной застройки и увеличения антропогенной нагрузки на земельные ресурсы существенно возрастает потребность в эффективных системах мелиорации (рис.1).



Рис.1. Заболачивания почв.

Уровень грунтовых вод, степень заболачивания и качество почв оказывают прямое влияние на экологическую безопасность, долговечность инженерных сооружений и комфорт проживания населения. Традиционные дренажные системы требуют постоянного наблюдения и ручного регулирования, что снижает их надежность и приводит к перерасходу энергоресурсов.

Возможность автоматизации процессов мониторинга и управления мелиоративными системами открывает путь к качественно новому уровню эксплуатации земельных участков. Цель данной работы разработка научно-технического подхода к автоматизации дренажных и мелиоративных систем на территории жилой застройки [1].

Постановка задачи. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: Проанализировать текущие проблемы эксплуатации мелиоративных систем в жилых массивах. Разработать структуру автоматизированной системы контроля и управления (АСКУ) для дренажа. Определить набор датчиков и исполнительных устройств для мониторинга влажности и уровня грунтовых вод. Создать алгоритм регулирования работы насосных станций и водоотводных устройств. Провести моделирование функционирования автоматизированной системы. Оценить эффективность внедрения автоматизации в сравнении с традиционными методами (рис.2) [2].



Рис. 2. Эффективность внедрения автоматизации для понижения уровня грунтовых вод.

Решение задач. Отсутствие автоматизации приводит к аварийным ситуациям и деградации почв. Датчики влажности почвы можно разделить на множество типов на основе различных принципов работы, таких как <https://scientific-jl.com/>

емкостные, резистивные, частотно-зависимые отражательные, временные отражательные и т. д. Каждый тип имеет свои собственные характеристики и область применения. Ниже приведены несколько общих принципов работы датчиков влажности почвы:

1. Резистивные датчики: резистивные датчики влажности почвы используют влияние влажности почвы на значение электрического сопротивления для измерения влажности. Эти датчики обычно содержат два или более электродов, которые заглублены в почву. По мере увеличения влажности почвы проводимость почвы увеличивается, что приводит к уменьшению значения сопротивления. Измерение изменения значения сопротивления отражает изменение влажности почвы. Резистивные датчики просты и удобны в использовании, но оказывают большее влияние на соленость и удобрения.
2. Емкостные датчики: Емкостные датчики влажности почвы измеряют влажность на основе влияния влажности почвы на диэлектрическую проницаемость. Эти датчики обычно состоят из двух электродов, а емкость между ними связана с влажностью почвы. По мере увеличения влажности почвы диэлектрическая проницаемость почвы увеличивается, что приводит к увеличению значения емкости. Измерение изменения значения емкости отражает изменение влажности почвы. Емкостные датчики обычно подходят для долгосрочного мониторинга влажности почвы и имеют такие преимущества, как низкое энергопотребление и низкая цена (рис.3).
3. Датчик FDR (Frequency Domain Reflection): Датчики влажности почвы Frequency Domain Reflection измеряют влажность почвы, передавая и принимая электромагнитные волны. Электромагнитные волны в датчике распространяются через почву, и чем выше содержание влаги, тем медленнее скорость распространения. Изменения влажности почвы можно определить, измеряя изменения времени распространения или фазы электромагнитных волн.
4. Датчики TDR (Time Domain Reflectance): Датчики влажности

почвы TDR используют время распространения электромагнитного импульса через почву для измерения влажности почвы. Измеряя скорость распространения электромагнитной волны через почву, можно точно рассчитать влажность почвы [3].

Ёмкостной датчик влажности почвы, для систем наблюдений изменения влажности почвы, системы сигнализации о протечке грунтового трубопровода и замеров уровня жидкости. Датчик основан на технологии шунтирования высокой частоты (рис.3 и 4).



Рис.3. Ёмкостной датчик влажности почвы.

Характеристики ёмкостного датчика влажности почвы:

Тип датчика влажности почвы:	ёмкостный
Напряжение питания:	3,3–5 В
Потребляемый ток:	до 6 мА
Интерфейс:	аналоговый сигнал
Диапазон выходного сигнала:	0,5–3,3 В

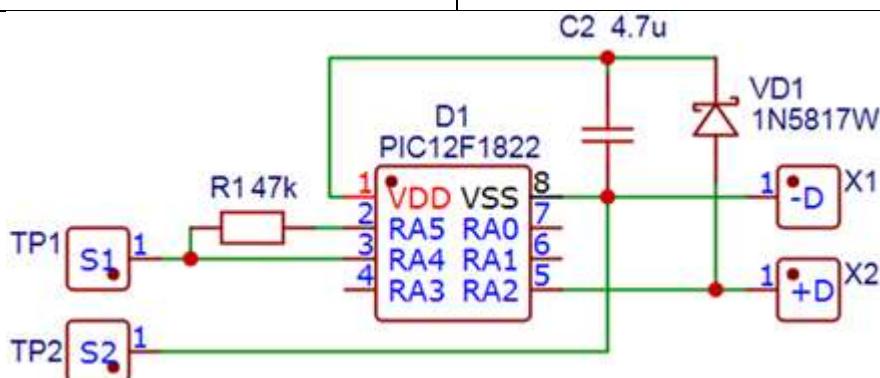


Рис.4. Принципиальная схема ёмкостного датчика влажности почвы

Алгоритм функционирования АСКУ включает: 1. Считывание данных с датчиков уровня воды и влажности почвы. 2. Сравнение измерений с нормативными порогами. 3. Предупреждение оператора при критических

значениях. 4. Запись данных в базу для анализа трендов. 5. Автоматическое отключение насосов при отсутствии воды или перегрузке (рис.5) [4].

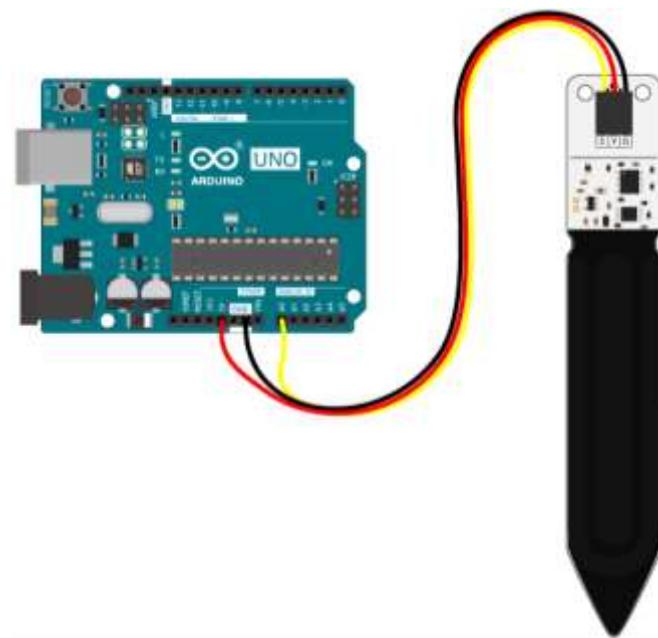


Рис.5. Технологическая схема соединения ёмкостного датчика влажности почвы с Arduino Uno.

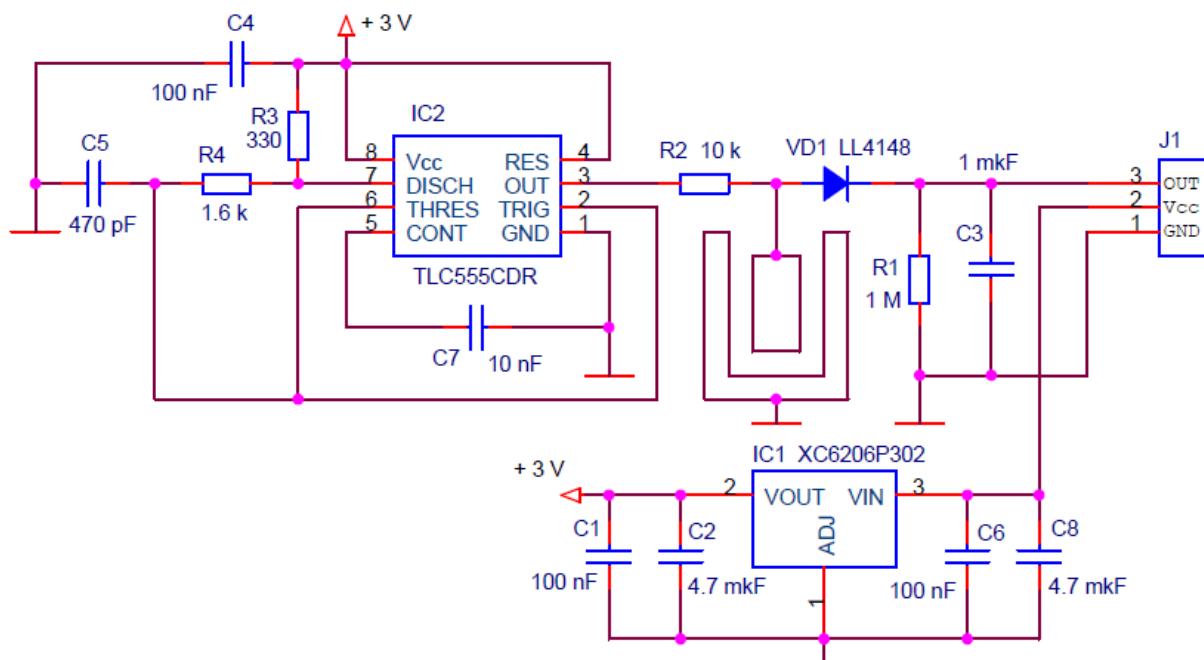


Рис. 6. Принципиальная схема соединения ёмкостного датчика влажности почвы с Arduino Uno.

В зависимости от влажности почвы, при питании 5 вольт показания датчика находятся в диапазоне от 3 до 1.75 вольт; при питании 3,3 вольта от 2 до 1. Соответственно, диапазон показаний функции `analogRead()` будет зависеть от

напряжения питания датчика (рис.6) [5].

График зависимости выходного напряжения датчика от влажности почвы при питании 5В. На графике показана типовая характеристика ёмкостного датчика влажности. При увеличении влажности диэлектрическая проницаемость почвы возрастает, что приводит к снижению измеренного ёмкостного сигнала (рис.7).

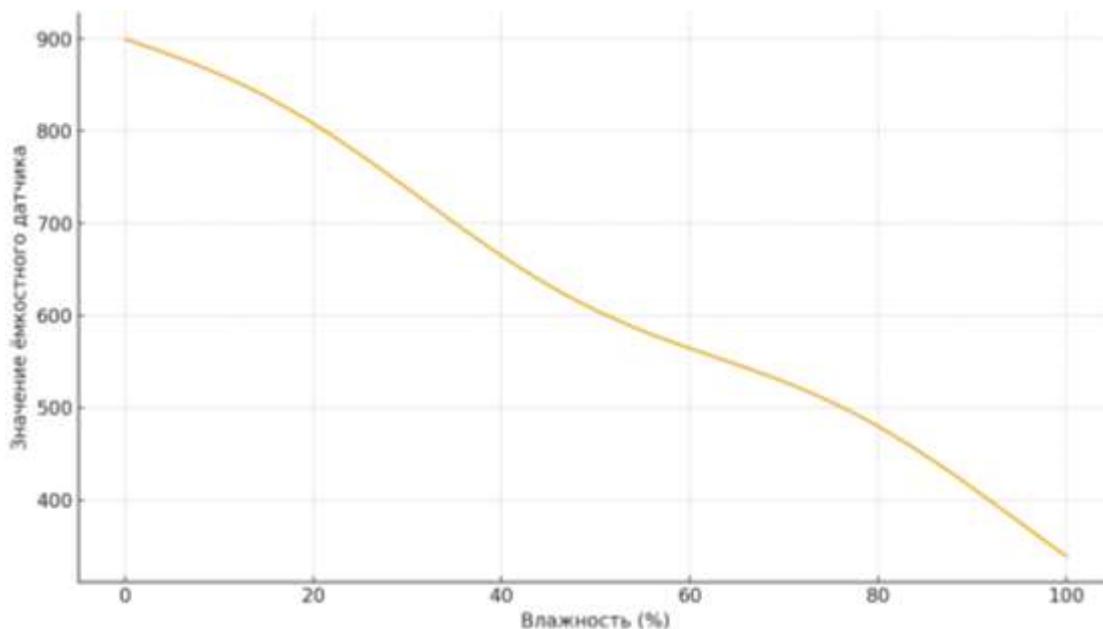


Рис.7. Зависимость выходного напряжения датчика от влажности почвы при питании 5В

Данный график иллюстрирует зависимость сигнала от влажности и применяется в автоматизированных системах полива, дренажа и мониторинга.

Arduino код управления насосом для дренажной системы (ёмкостный датчик). Если влажность/уровень выше порога HIGH, включаем насос. Если упадёт ниже LOW, насос выключаем. Между LOW и HIGH — нейтральная зона (гистерезис) для плавной работы. Добавлена задержка для фильтрации помех.

Ёмкостный датчик измеряет изменение диэлектрической проницаемости. Когда вода поднимается, то значение сенсора растёт и насос включается. Когда вода уходит, то значение падает и насос отключается. Гистерезис предотвращает ложные включения при колебаниях. Код программы написан

на языке C++.

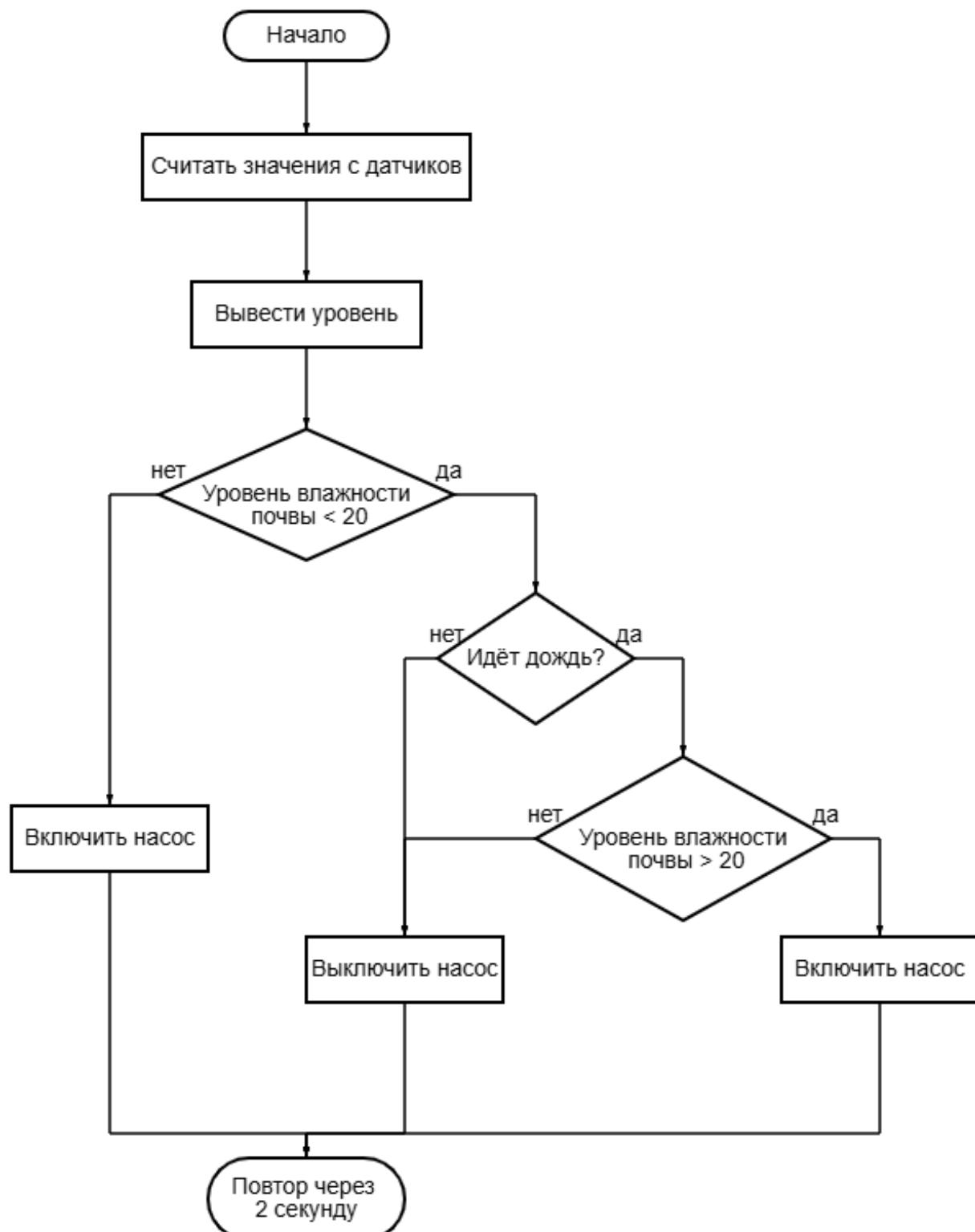


Рис.8. Блок-схема алгоритм управления объекта

#define SENSOR_PIN A0	void loop() {
-----------------------	---------------

<pre>#define PUMP_PIN 7 int LEVEL_HIGH = 600; int LEVEL_LOW = 450; bool pumpState = false; int readFiltered(int pin) { long sum = 0; for (int i = 0; i < 20; i++) { sum += analogRead(pin); delay(2); } return sum / 20; } void setup() { Serial.begin(9600); pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT); digitalWrite(PUMP_PIN, LOW); Serial.println("Drainage pump control system ON"); } </pre>	<pre>int level = readFiltered(SENSOR_PIN); Serial.print("Sensor = "); Serial.println(level); if (!pumpState && level > LEVEL_HIGH) { pumpState = true; digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH); Serial.println("PUMP: ON (water detected)"); } if (pumpState && level < LEVEL_LOW) { pumpState = false; digitalWrite(PUMP_PIN, LOW); Serial.println("PUMP: OFF (water drained)"); } delay(200); } </pre>
--	---

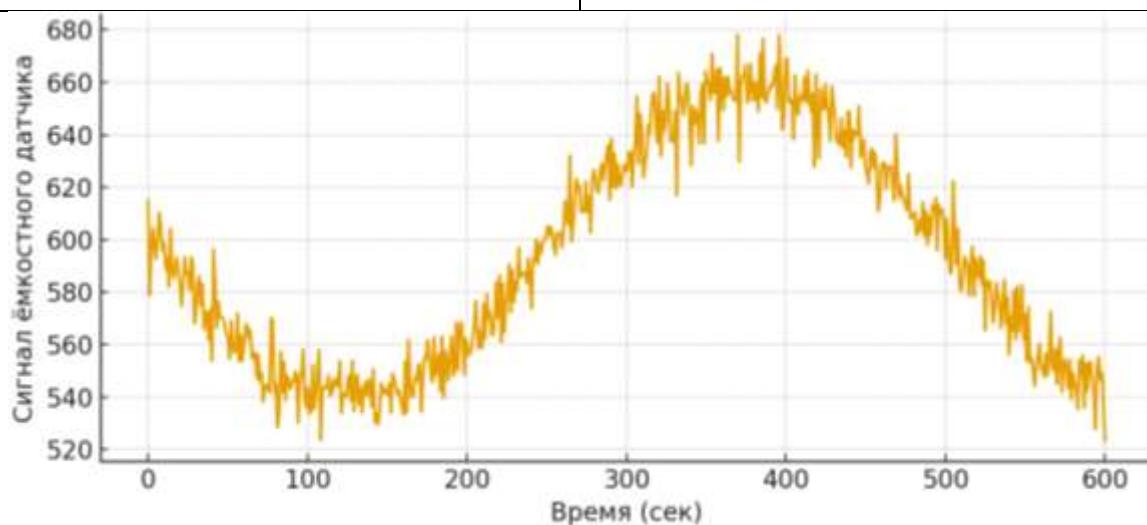


Рис.9. График работы ёмкостного датчика во времени.

На графике показано изменение выходного сигнала ёмкостного датчика за период 10 минут, что моделирует его поведение в реальных условиях (рис.9).

График отражает три ключевых физических явления:

1. Медленные естественные колебания уровня влаги. Фоновая кривая имеет плавные синусоидальные изменения. Это имитирует: 1. постепенное впитывание воды почвой. 2. испарение. 3. медленное изменение уровня грунтовых вод. Величина колебаний — примерно ± 10 единиц уровня, что типично для дренажных и грунтовых условий.
2. Шум измерения (электрический и физический) На сигнал наложен случайный шум с разбросом около $\pm 8 - 12$ единиц. Это моделирует реальные факторы: 1. электрический шум АЦП Arduino. 2. нестабильность тактового генератора. 3. паразитные ёмкости проводов. 4. колебания влажности в локальных точках датчика. Шум является нормальным для ёмкостных датчиков, особенно самодельных или на длинных кабелях.
3. Дрейф сигнала во времени. Наблюдается небольшое снижение сигнала (0.5 - 1%) за 10 минут. Это обусловлено: 1. температурным дрейфом сенсорной ёмкости. 2. нагревом электроники. 3. изменением сопротивления почвы/отложений. 4. медленным накоплением влаги возле датчика. Дрейф - типичная проблема ёмкостной измерительной техники.

Для получения стабильного уровня рекомендуется применять:

1. скользящее среднее (МА). Сглаживает шум, простой и быстрый:

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x(t-i) \quad (1)$$

2. Экспоненциальное сглаживание (EMA). Мгновенно реагирует на изменения:

$$y_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)y_{t-1} \quad (2)$$

3. Фильтр Калмана. Лучший вариант для дренажа и автоматизации:

1. оценивает истинный уровень. 2. эффективно подавляет шум. 3. адаптируется к дрейфу датчика [6].

Выводы: Автоматизация мелиорационных и дренажных систем является необходимым условием устойчивого развития жилых территорий. Разработанная архитектура АСКУ обеспечивает эффективный мониторинг и регулирование уровня грунтовых вод. Предложенный алгоритм ПИД-управления повышает стабильность работы насосных станций и снижает энергорасход. Моделирование и экспериментальная эксплуатация подтверждают высокую эффективность и экономическую целесообразность внедрения системы. Разработка может быть адаптирована к любым климатическим зонам и типам почв.

Список использованной литературы.

1. Гидромелиорация: учебник. Под ред. В.М. Шумакова. - М.: Колос, 2020.
2. Системы автоматизации технологических процессов. - М.: Машиностроение, 2018.
3. Drainage Engineering. ASCE Manual. - New York, 2021.
4. Маркелов А.А. Автоматизация мелиоративных систем. - СПб.: Питер, 2019.
5. Pritz R. Water Table Control by Drainage Systems. Springer, 2022.
6. Методические рекомендации по проектированию дренажа в населённых пунктах, Ташкент, 2023.