УДК: 004.021

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДРЕНАЖОМ И УРОВНЕМ ГРУНТОВЫХ ВОД

Иброҳимов Сухроб Вахоб ўғли
ассистент

Жабборқулов Отабек Улуғбек ўғли
студент
Ташкентский государственный технический университет
https://doi.org/10.5281/zenodo.19979802

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.

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 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

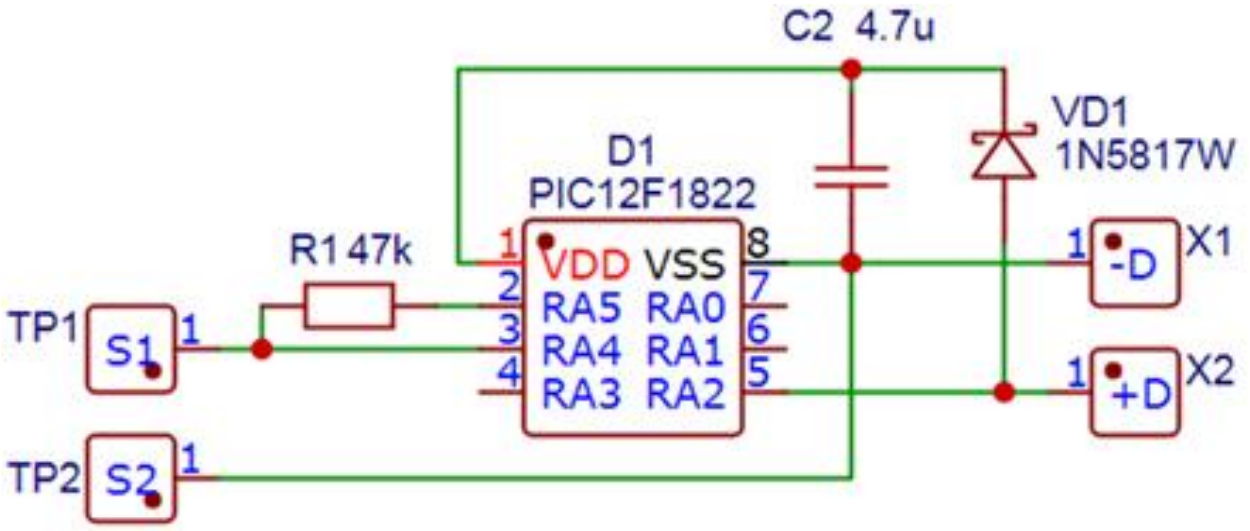

Рис.4. Принципиальная схема ёмкостного датчика влажности почвы

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].

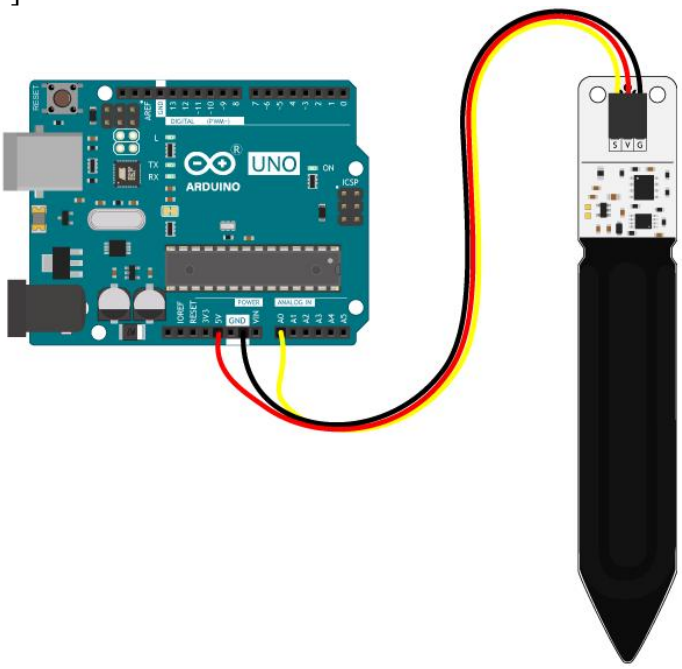

Рис.5. Технологическая схема соединения ёмкостного датчика влажности почвы с Arduino Uno

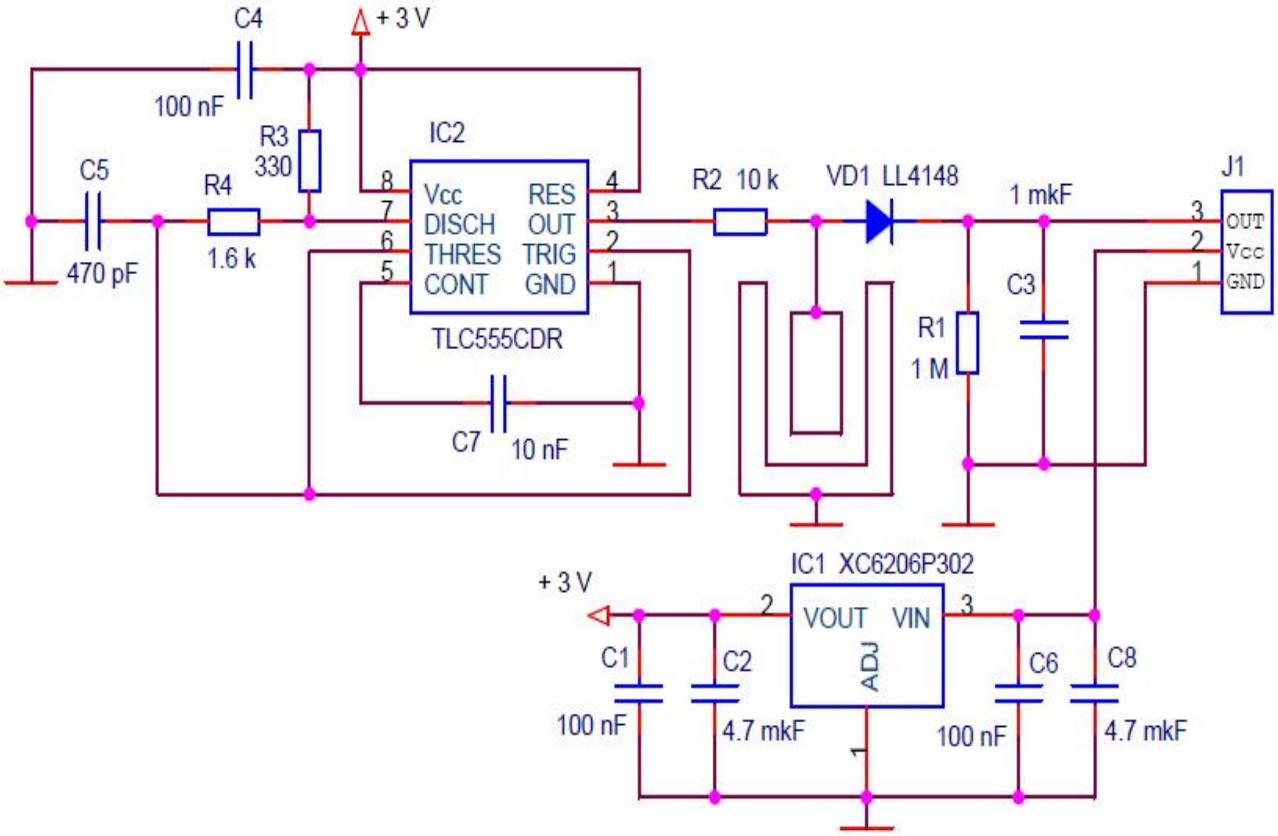

Рис. 6. Принципиальная схема соединения ёмкостного датчика влажности почвы с Arduino Uno

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).

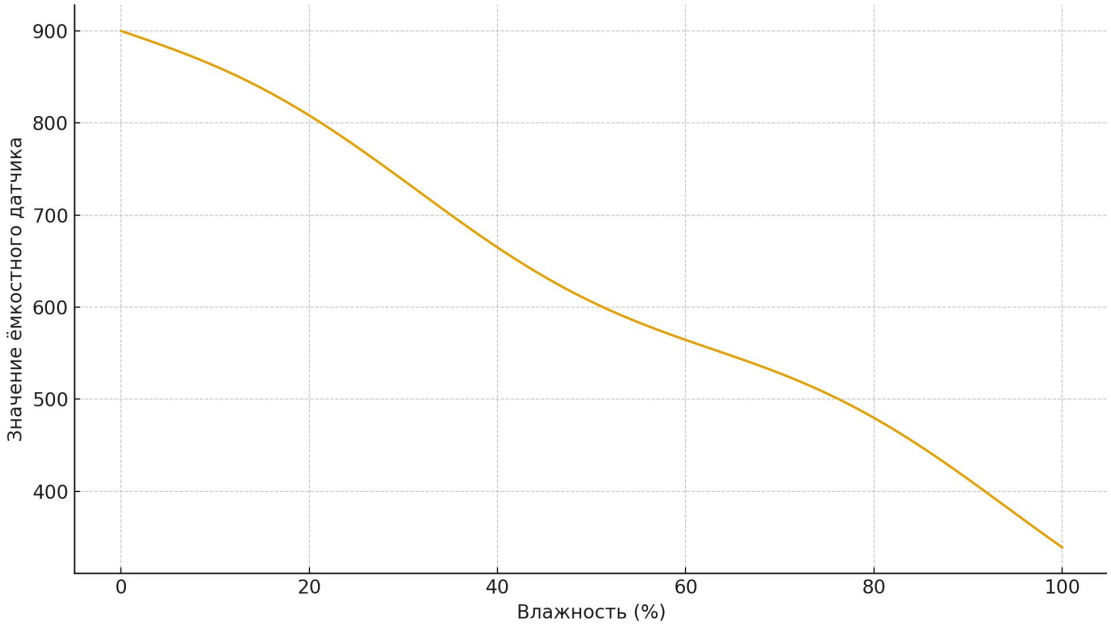

Рис.7. Зависимость выходного напряжения датчика от влажности почвы при питании 5В

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++.

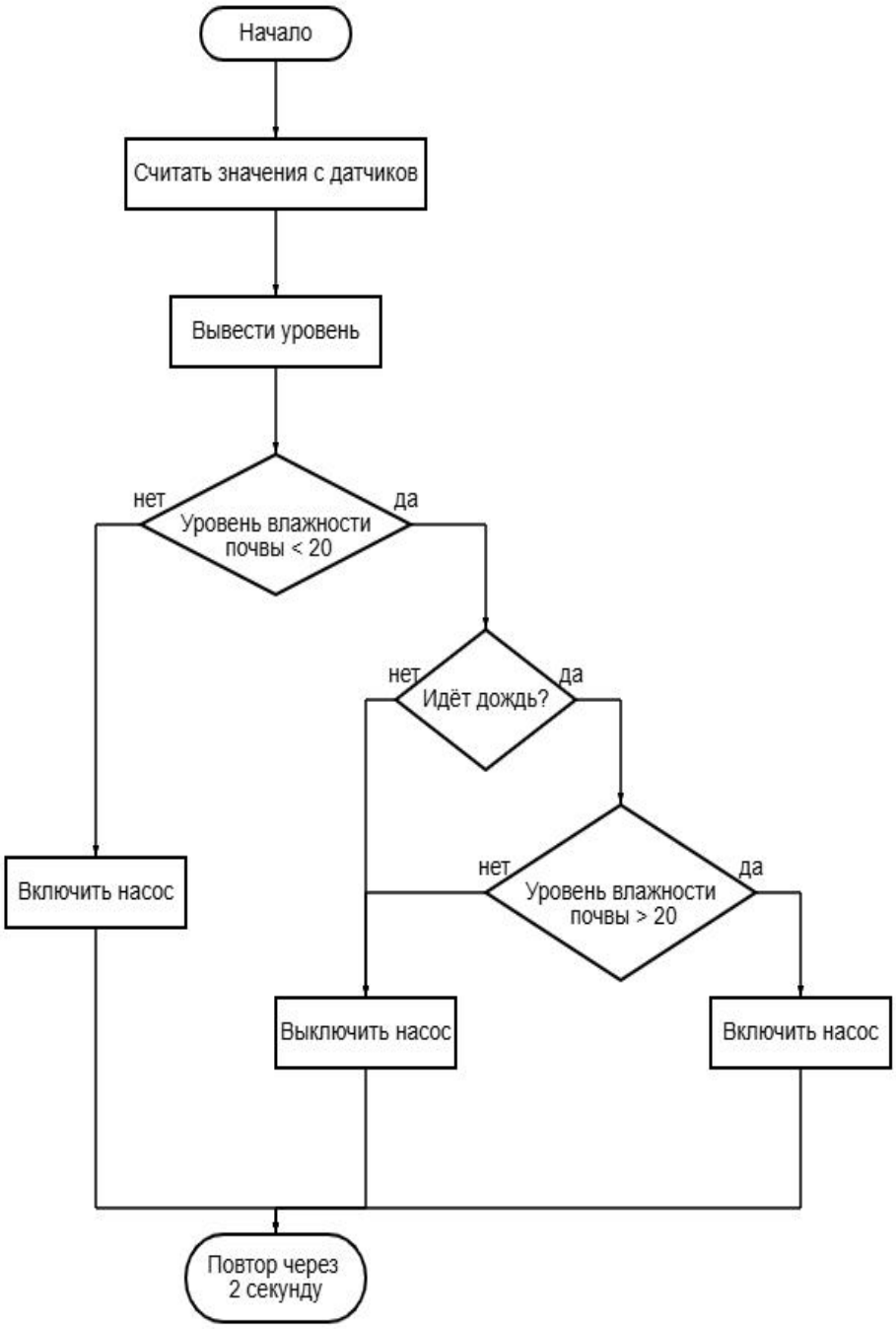

Рис.8. Блок-схема алгоритм управления объекта

```
#define SENSOR_PIN A0
#define PUMP_PIN 7
int LEVEL_HIGH = 600;
int LEVEL_LOW  = 450;
bool pumpState = false;
int readFiltered(int pin) {
long sum = 0;
```

```
void loop() {
int level = readFiltered(SENSOR_PIN);
Serial.print("Sensor = ");
Serial.println(level);
if (!pumpState && level >
LEVEL_HIGH) {
pumpState = true;
```

```
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");
}
```

```
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);
}
```

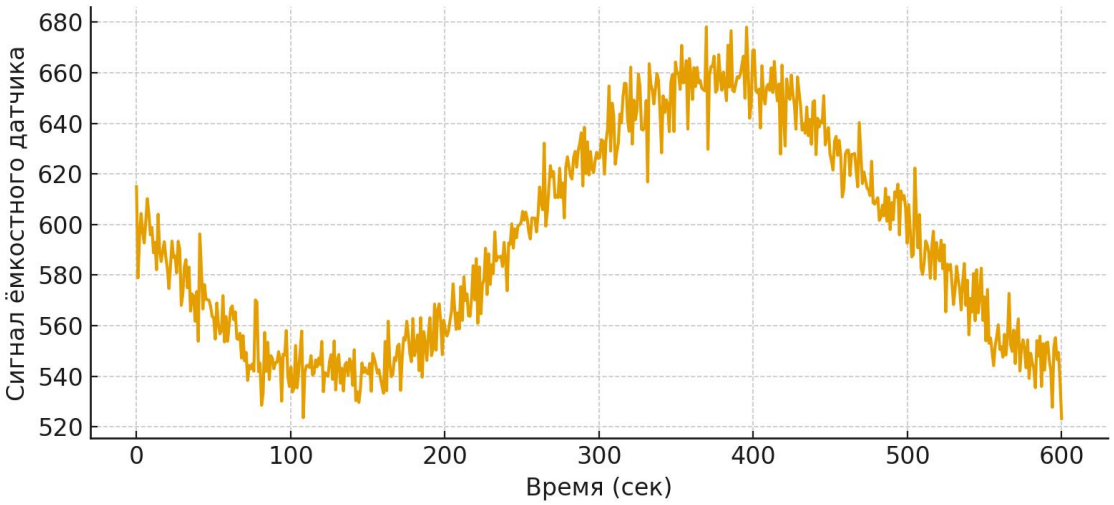

Рис.9. График работы ёмкостного датчика во времени

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 ± 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 (MA). 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.