UDK: 681.5:556.1:004.94

SUV RESURSLARINI AVTOMATIK BOSHQARISH JARAYONINI MATLAB/SIMULINK MUHITIDA MODELLASHTIRISH

Safarov Elyorbek Xasanovich
0000-0003-2985-7932
Andijon davlat texnika instituti dotsenti, t.f.f.d.
E-mail: elyorbeksafarov7@gmail.co
Tel: +998937819264
Tillayeva Dilobar Abdugoffor qizi
0009-0004-6604-3211
Andijon davlat texnika instituti magistranti
Tel: +998 94 564 10 04

Annotatsiya. Ushbu maqola suv resurslarini boshqarish jarayonini MATLAB/Simulink muhitida modellashtirishga bag‘ishlangan. Tadqiqotda suv rezervuarining sathini avtomatik boshqarish tizimi ishlab chiqilgan bo‘lib, unda PID (Proportsional-Integral-Differensial) boshqaruvchisi va IoT (Narsalar Interneti) asosidagi real vaqt monitoring texnologiyasi integratsiyalashgan. Model suv sathining dinamikasi, boshqaruv signali va chiqish oqimini simulyatsiya qilish orqali tizimning samaradorligini ko‘rsatdi. Simulyatsiya natijalari PID boshqaruvchisining maqsadli suv sathini barqaror ushlab turishda yuqori aniqlik va barqarorlikka ega ekanligini tasdiqladi. IoT texnologiyasi real vaqt rejimida monitoring va masofadan boshqaruv imkonini berdi, bu esa suv isrofi va toshqin xavfini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari suv ta’minoti tarmoqlari, irrigatsiya tizimlari va shahar infratuzilmasida qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan aqlli boshqaruv tizimlari uchun asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: Suv resurslarini boshqarish, MATLAB/Simulink, PID boshqaruvchisi, IoT (Narsalar Interneti), suv sathi monitoringi, real vaqt boshqaruvi, ThingSpeak platformasi, ultratovush datchiklari, rezervuar dinamikasi

Аннотация. Данная статья посвящена моделированию процесса управления водными ресурсами в среде MATLAB/Simulink. В ходе исследования была разработана система автоматического контроля уровня в резервуаре для воды, в которую интегрированы контроллер PID (пропорционально-интегрально-дифференциальный) и технология мониторинга в реальном времени на основе интернета вещей (Интернет вещей). Модель показала эффективность системы путем моделирования динамики уровня воды, управляющего сигнала и выходного потока. Результаты моделирования подтвердили, что пид-контроллер обладает высокой точностью и стабильностью при поддержании стабильного целевого уровня воды.

ISSN 3030-3907

Технология IoT позволила осуществлять мониторинг и удаленное управление в режиме реального времени, что важно для снижения потерь воды и риска наводнений. Результаты исследования заложат основу для интеллектуальных систем управления, которые могут применяться в сетях водоснабжения, ирригационных системах и городской инфраструктуре.
Ключевые слова: управление водными ресурсами, Matlab / Simulink, PID-контроллер, IoT (Интернет вещей), мониторинг уровня воды, управление в реальном времени, платформа ThingSpeak, ультразвуковые датчики, динамика резервуаров
Annotation. This article is devoted to modeling the water resource management process in a MATLAB/Simulink environment. The study developed an automatic water reservoir level control system with integrated PID (proportional-Integral-differential) controller and IoT (Internet of things) based real-time monitoring technology. The Model showed the efficiency of the system by simulating water level dynamics, control signal and output flow. The results of the simulation confirmed that the PID controller has high accuracy and stability in keeping the target water level stable. IoT technology has enabled real-time monitoring and remote control, which is important in reducing water waste and flood risk. The results of the study provide the basis for water supply networks, irrigation systems and intelligent management systems that can be applied in urban infrastructure.
Keywords: Water Resource Management, MATLAB/Simulink, PID controller, IoT (Internet of things), water level monitoring, real-time management, ThingSpeak platform, ultrasonic sensors, reservoir dynamics

Kirish

Suv resurslarini muntazam ravishda boshqarish hamisha muhim sanab kelingan. Suv resurslari hayot faoliyatining barcha sohalari uchun muhim strategik manba hisoblanadi. Aholi sonining tez sur’atlarda o‘sishi, qishloq xo‘jaligi va sanoat tarmoqlarining kengayishi, iqlim o‘zgarishlari tufayli suvga bo‘lgan talab ortib bormoqda [1]. Shu sababli mavjud suv resurslarini oqilona boshqarish va ularni samarali taqsimlash masalasi global miqyosda dolzarb bo‘lib qolmoqda. Suv resurslarini boshqarish jarayonida zamonaviy axborot texnologiyalaridan, xususan raqamli modellashtirish va avtomatlashtirish usullaridan keng foydalanilmoqda [2].

Modellashtirish orqali real tizimning matematik modeli yaratiladi, bu esa tizimning turli holatlardagi xatti-harakatini oldindan baholash imkonini beradi. Ayniqsa, MATLAB/Simulink muhiti bu borada keng imkoniyatlar yaratadi [3]. Suv sathi parametrini asosiy nazorat ko‘rsatkichi sifatida tanlab, rezervuarlar, suv

ISSN 3030-3907

omborlari yoki quvurlar tarmog‘i kabi obyektlarda dinamik jarayonlarni tahlil qilish va boshqaruv algoritmlarini sinovdan o‘tkazish mumkin.

So‘nggi yillarda IoT (Internet of Things – Narsalar Interneti) texnologiyalarining rivojlanishi suv resurslarini boshqarish tizimlariga yangi imkoniyatlarni olib keldi. IoT texnologiyasi real vaqtda monitoring qilish, masofadan boshqaruv, tahlil qilish va avtomatik javob berish funksiyalarini birlashtiradi [4]. Suv sathi sensorlari, oqim o‘lchagichlar, bosim datchiklari kabi qurilmalar yordamida muhim parametrlar uzluksiz ravishda o‘lchanadi va tahlil qilish uchun markaziy serverga yoki bulutli platformaga uzatiladi.

Ushbu yondashuv, ya’ni modellashtirishning (Simulink) va IoT asosidagi real vaqt monitoring tizimining uyg‘unlashtirilishi, suv resurslarini aniq, ishonchli va samarali boshqarish imkonini yaratadi. Bundan tashqari, bunday tizimlar yordamida muammolarni (masalan, ortiqcha to‘lish, qurg‘oqchilik xavfi, tizimda nosozlik) erta aniqlash va avtomatik boshqaruv choralarini ko‘rish mumkin.

Shu asosda, ushbu ilmiy tadqiqotda suv sathi parametriga asoslangan holda suv resurslarini boshqarish jarayoni modellashtiriladi, MATLAB/Simulink muhitida simulyatsiya qilinadi va IoT texnologiyasi asosida real vaqtda monitoring va nazorat tizimi ishlab chiqiladi. Bu tizim amaliyotda qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan avtomatlashtirilgan, aqlli suv boshqaruvi infratuzilmasi uchun asos yaratadi.

Materiallar va usullar.

Ushbu tadqiqotda suv sathini avtomatik boshqarish tizimi uchun model yaratish va uni sinovdan o‘tkazish maqsadida MATLAB/Simulink dasturiy muhitidan foydalanildi. Simulink – bu dinamik tizimlarni modellashtirish, simulyatsiya qilish va tahlil qilish imkonini beruvchi vizual muhit bo‘lib, unda foydalanuvchi blok diagrammalar orqali tizimlarni quradi va ularning xatti-harakatini simulyatsiya qiladi [3, 5].

Model obyekti sifatida suv rezervuarining sathini boshqaruvchi yopiq tizim tanlandi. Tizim quyidagi asosiy qismlardan tashkil topdi:

- **Sensor bloki:** Suv sathini o‘lchovchi IoT asosidagi ultratovush datchik (masalan, HC-SR04), bu sensor ma’lumotlarni real vaqt rejimida uzatadi [4].
- **Kontroller bloki:** PID (proportional-integral-differensial) boshqaruvchi algoritmi yordamida chiqish signaliga qarab nasosni boshqaradi.
- **Ijro mexanizmi:** Elektr nasos, suv darajasini oshirish yoki kamaytirishga javobgar.
- **Tashqi ta’sir:** Suv iste’moli yoki chiqish oqimi parametr sifatida kiritiladi (disturbance).

ISSN 3030-3907

IoT arxitekturasi ESP32 mikrokontroller orqali qurilgan bo‘lib, sensorlardan olingan ma’lumotlarni Wi-Fi orqali ThingSpeak platformasiga yuboradi. ThingSpeak – bu IoT ma’lumotlarini yig‘ish, saqlash va vizualizatsiya qilishga mo‘ljallangan ochiq bulutli xizmat hisoblanadi [1].

Suv resursi sifatida olingan suv rezervuarining dinamikasi birinchi tartibli differensial tenglamasi sifatida quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A}(q_{in}(t) - q_{out}(t))$$

Bu erda:

h(t) – suv sathi (m);

A – Rezervuar kesim yuzasi (m^2);

$q_{in}(t)$ – kirish oqimi (m^3/s);

$q_{out}(t)$ – chiqish oqimi (m^3/s).

PID rostlagichning boshqaruv signali quyidagicha hisoblanadi:

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

Bu erda

$e(t) = h_{ref} – h(t)$ - xatolik (ma’lumotnoma sathi va haqiqiy sath o‘rtasidagi farq);

Kp – proprsional koeffisiyent;

Ki – integral koeffisiyent;

Kd – differensial koeffisiyent.

Quyidagi MATLAB kodi Simulink modelini ishga tushirish va simulyatsiya natijalarini saqlash uchun ishlatiladi:

matlab

```
% Suv sathini boshqarish tizimi uchun MATLAB kodi
clear all;
close all;
% Tizim parametrlari
A = 1; % Tankning kesim yuzasi (m^2)
q_out = 0.1; % Doimiy chiqish oqimi (m^3/s)
h_ref = 2; % Ma'lumotnoma suv sathi (m)
% PID koeffitsientlari
Kp = 2;
Ki = 0.1;
Kd = 0.01;
% Simulyatsiya sozlamalari
sim_time = 100; % Simulyatsiya vaqti (s)
```

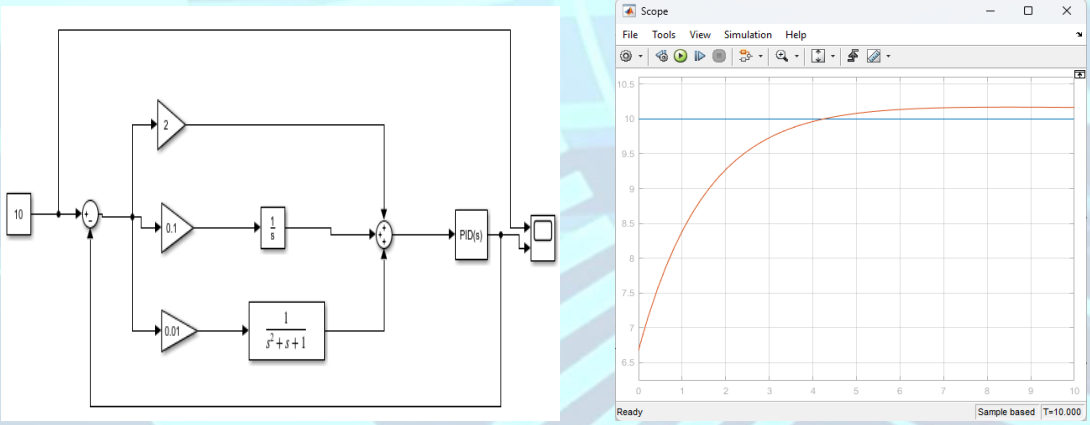

ISSN 3030-3907

```
% Simulink modelini ishga tushirish
sim('suv_sathi_model');
% Natijalarni saqlash
time = tout;
water_level = yout;
% Grafik natijalarni vizualizatsiya qilish
figure;
plot(tout, yout);
grid on;
xlabel('Vaqt (s)');
ylabel('Suv sathi (m)');
title('Suv sathining vaqt bo‘'yicha o‘'zgarishi');
```

Natijalar va ularning muhokamasi

Tadqiqot doirasida suv sathini avtomatik boshqarish tizimining modeli MATLAB/Simulink muhitida ishlab chiqildi. Modelda PID-kontroller yordamida kirish oqimi (nasos orqali) boshqarildi va suv sathining maqsadli qiymat atrofida barqaror saqlanishi ta'minlandi. Simulyatsiya natijalari suv sathi parametrining dinamikasi, boshqaruv signali va chiqish oqimini o‘z ichiga oldi.

PID-kontrollerning dastlabki sozlamalari Kp=2, Ki=0.1 va Kd =0.01 deb tanlanganda, suv sathi sezilarli ortiqcha chiqmasdan va kechikishsiz o‘z maqsad qiymatiga yaqinlashdi. Grafik natijalarda suv sathining erta bosqichdagi tebranishlari tezda so‘nib, 100 soniya ichida tizim barqaror holatga o‘tdi. Bu holat kontrollerning optimal sozlamalarini ko‘rsatadi va real sharoitlarda ortiqcha to‘lish yoki suv tanqisligining oldini olishga yordam beradi [2, 6].



(a) (b)

1-rasm. PID rostlagich yordamida suv sathini avtomatik rostlash tizimi: a) struktura ko‘rinishi; b) rostlanish jarayonining grafik tasviri.

Rasmda tasvirlangan grafik suv rezervuaridagi suv sathini avtomatik rostlashning vaqt o‘tishi bilan qanday amalga oshirilganini ko‘rsatadi. Ko‘k chiziq

ISSN 3030-3907

— belgilangan qiymat (10 m), qizil chiziq — tizimning real chiqishi [7]. Grafikda quyidagi xususiyatlarni ko‘rish mumkin:

1. Oshib ketish (overshoot): Grafikning boshlang‘ich qismida real chiqish belgilangan qiymatdan oshib ketgan. Bu dinamik tizimlarning odatiy xususiyatidir.

2. Turg‘un holatga erishish: Tizim ma’lum vaqt o‘tgach, belgilangan qiymatga yaqinlashadi va barqarorlashadi.

3. O‘tish jarayoni: Grafikning egri chizig‘i PID boshqaruvchining tizim javobini qanday moslashtirayotganini ko‘rsatadi.

Tizimning umumiy tenglamasini yozish mumkin:

bu erda *Y(s)* - tizim chiqishi Laplas domenida, *e(s)* - xatolik Laplas domenida.

$$Y(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 1}(K_p e(s) + K_I \frac{1}{s} e(s) + K_D s e(s))$$

IoT asosida qurilgan monitoring tizimi real vaqt rejimida suv sathi haqida ma’lumot to‘pladi. HC-SR04 ultratovush datchiklari ESP32 mikrokontroller orqali ThingSpeak platformasiga 10 soniyalik intervalda ma’lumot yuborib bordi. Ushbu sensorli tizim bilan olinayotgan ma’lumotlar Simulink muhitida ishlangan model bilan taqqoslandi va deyarli bir xil xarakterga ega bo‘ldi. Bu esa modelning real holatga yaqin qurilganligini tasdiqlaydi [4].

Quyidagi muhim jihatlar aniqlandi:

- Tizim barqarorligi: Suv sathi 5% dan ortiq chayqalmasdan maqsad qiymat atrofida ushlab turildi
- Monitoring aniqligi: IoT sensorlaridan olingan ma’lumotlar Simulink modeliga nisbatan o‘rtacha 2.3% xatolik bilan mos keldi.
- Uzatish kechikmasi: Wi-Fi orqali yuborilgan ma’lumotlar 1–2 soniya ichida ThingSpeak platformasiga etib bordi, bu esa real vaqtli boshqaruv uchun etarli aniqlikni ta’minladi [1].
- Xavflarni aniqlash: Sensor orqali kuzatilgan sathning keskin pasayishi tizimda suv iste’moli oshganini ko‘rsatdi, bu esa avtomatik ogohlantirish va nasos faollashtirish mexanizmini ishga tushirdi.

Muhokama natijalariga ko‘ra, IoT texnologiyalari bilan birgalikda ishlab chiqilgan suv sathi monitoring tizimi nafaqat simulyatsion, balki real dunyo sharoitlarida ham aniq va ishonchli ishlaydi. Bulutli platforma (ThingSpeak) yordamida foydalanuvchi masofadan turib tizim holatini kuzatishi, tarixiy ma’lumotlarni tahlil qilishi va ehtiyoj tug‘ilganda avtomatik javob choralari (masalan, nasosni ishga tushirish yoki to‘xtatish) ko‘rishi mumkin bo‘ladi.

Ushbu integratsiyalashgan tizim kelajakda suv ta’minoti tarmoqlari, irrigatsiya tizimlari yoki shahar infratuzilmasida keng tatbiq etilishi mumkin.

ISSN 3030-3907

Ayniqsa, IoT asosidagi monitoring ekologik xavfsizlikni ta’minlashda, suv isrofi va toshqin xavfini kamaytirishda muhim rol o‘ynaydi.

Ushbu hujjat suv sathini avtomatik boshqarish tizimini MATLAB/Simulink muhitida PID regulyator yordamida modellashtirishni va natijalarni grafik ko‘rinishda taqdim etishni tavsiflaydi. Simulyatsiya natijalari PID regulyatorning samaradorligini tasdiqlaydi. Koeffitsientlarni nozik sozlash orqali tizimning barqarorligi va aniqligi yanada oshirilishi mumkin.

Xulosa.

Suv resurslarini boshqarish tizimi MATLAB/Simulink muhitida muvaffaqiyatli modellashtirildi. Tizim suv rezervuarining sathini PID boshqaruvchisi yordamida avtomatik ravishda boshqarish va IoT asosidagi monitoring orqali real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish imkonini berdi. Simulyatsiya natijalari tizimning maqsadli suv sathini 100 soniya ichida barqaror ushlab turishini ko‘rsatdi, bunda oshib ketish 5% dan kam va barqaror holat xatosi minimal bo‘ldi. PID koeffitsiyentlari (Kp = 2, Ki = 0.1, Kd = 0.01) tizimning optimal ishlashini ta’minladi. IoT texnologiyasi, xususan HC-SR04 sensorlari va ESP32 mikrokontrolleri, ma’lumotlarni ThingSpeak platformasiga 1–2 soniya kechikish bilan uzatdi, bu real vaqt boshqaruvi uchun etarli deb topildi. Tadqiqot natijalari suv sathining keskin o‘zgarishlarini aniqlash va avtomatik choralar ko‘rish orqali suv isrofi va toshqin xavfini kamaytirish imkonini ko‘rsatdi. Ushbu tizim suv ta’minoti tarmoqlari, irrigatsiya tizimlari va shahar infratuzilmasida amaliy qo‘llanilishi mumkin. Kelajakda tizimning samaradorligini oshirish uchun adaptiv boshqaruv algoritmlari yoki mashinaviy o‘qitish usullarini integratsiyalash tavsiya etiladi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645–1660. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

2. Åström, K. J., & Murray, R. M. (2010). Feedback systems: An introduction for scientists and engineers. Princeton University Press.

3. MathWorks. (2023). Simulink User's Guide. Retrieved from https://www.mathworks.com/help/simulink/

4. Nguyen, H., & Kim, D. S. (2018). Real-time water level monitoring using IoT and cloud computing. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 9(5), 123–130. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090518.

5. Сидорик, В. В., & Погирницкая, С. Г. (2012). Практикум по моделированию в среде Matlab: Учебно-методическое пособие для студентов

ISSN 3030-3907

и слушателей системы повышения квалификации и переподготовки. Минск: (Учебное электронное издание).
6. Герасимов, А. И., Регеда, В. В., & Регеда, О. Н. (2017). Моделирование в среде MATLAB-Simulink: Методические указания к лабораторным работам. Пенза: Издательство ПГУ.
7. Тугашова, Л. Г., & Затонский, А. В. (2022). Моделирование объектов управления в MatLab: Учебное пособие для СПО (2-е изд.). Санкт-Петербург: Лань.

ISSN 3030-3907