



MOBIL YOMG'IRLATIB SUG'ORISH QURILMASINING MATEMATIK MODELINI ISHLAB CHIQISH

Eshmurodov Z.O. ¹[0009-0007-5198-132X], Saiyfiyev.S.E. ²[0000-0002-1471-1757]

¹Navoiy davlat konchilik va texnologiya universiteti texnika fanlari doktori, dotsent

²Qarshi davlat texnika universitetining katta o'qituvchisi

Annotatsiya. Mazkur maqolada quyosh energiyasi asosida ishlovchi mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasining matematik modeli ishlab chiqilgan. Modelda elektr yuritma, nasos agregati, gidravlik tizim, quyosh panellari, akkumulyator batareyasi va avtomatik boshqaruv tizimining o'zaro bog'liqligi hisobga olingan. Qurilmaning harakat tezligi, suv sarfi, energiya iste'moli hamda boshqaruv parametrlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi tahlil qilingan. MATLAB/Simulink muhiti asosida ishlab chiqilgan model yordamida tizimning dinamik va energetik ko'rsatkichlari baholangan. Tadqiqot natijalari mobil sug'orish tizimining barqaror ishlashini, energiya samaradorligini va suv sarfini avtomatik boshqarish imkoniyatlarini tasdiqlaydi. **Kalit so'zlar:** mobil sug'orish qurilmasi, matematik model, quyosh energiyasi, PID-regulyator, suv sarfi, elektr yuritma, MATLAB/Simulink, avtomatik boshqaruv.

Аннотация. В данной статье разработана математическая модель мобильной дождевальной установки, работающей на основе солнечной энергии. В модели учтена взаимосвязь электрического привода, насосного агрегата, гидравлической системы, солнечных панелей, аккумуляторной батареи и системы автоматического управления. Проанализированы изменения скорости движения установки, расхода воды, энергопотребления и параметров управления во времени. На основе модели, разработанной в среде MATLAB/Simulink, выполнена оценка динамических и энергетических показателей системы. Результаты исследования подтверждают устойчивую работу мобильной оросительной системы, её энергетическую эффективность и возможность автоматического регулирования расхода воды.

Ключевые слова: мобильная дождевальная установка, математическая модель, солнечная энергия, PID-регулятор, расход воды, электропривод, MATLAB/Simulink, автоматическое управление.

Annotation This article presents the development of a mathematical model of a mobile sprinkler irrigation system powered by solar energy. The model considers the interrelation between the electric drive, pump unit, hydraulic system, solar panels, battery storage, and automatic control system. The time-dependent variations of the unit movement speed, water flow rate, energy consumption, and control parameters were analyzed. Based on the model developed in the MATLAB/Simulink environment, the dynamic and energy performance characteristics of the system were evaluated. The research results confirm the stable operation of the mobile irrigation system, its energy efficiency, and the capability of automatic water flow regulation.

Keywords: mobile irrigation system, mathematical model, solar energy, PID controller, water flow rate, electric drive, MATLAB/Simulink, automatic control.

Kirish

Qishloq xo'jaligida suv resurslaridan samarali foydalanish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, suv tanqisligi kuzatilayotgan hududlarda energiya tejamkor va avtomatlashtirilgan sug'orish texnologiyalarini joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida ishlovchi mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmalarini yaratish va ularning matematik modellarini ishlab chiqish ilmiy-amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega [1-4].

Qishloq xo'jaligining zamonaviy rivojlanish tendensiyalari energiya tejamkor va avtonom sug'orish tizimlarini joriy etishni talab qiladi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida ishlovchi mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmalari elektr energiyasi xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirish va agrotexnik jarayonlarning barqarorligini oshirish imkonini beradi. Biroq, bunday tizimlarni samarali loyihalash barcha qurilma elementlari o'rtasidagi o'zaro



bog'liqlikni tavsiflovchi adekvat matematik modelni ishlab chiqmasdan mumkin emas [2-3].

Muqobil energiya manbalaridan foydalanish qishloq xo'jaligida ishlatiladigan mashina va mexanizmlarning elektr ta'minoti samaradorligini oshirishning zamonaviy usuli hisoblanadi [5].

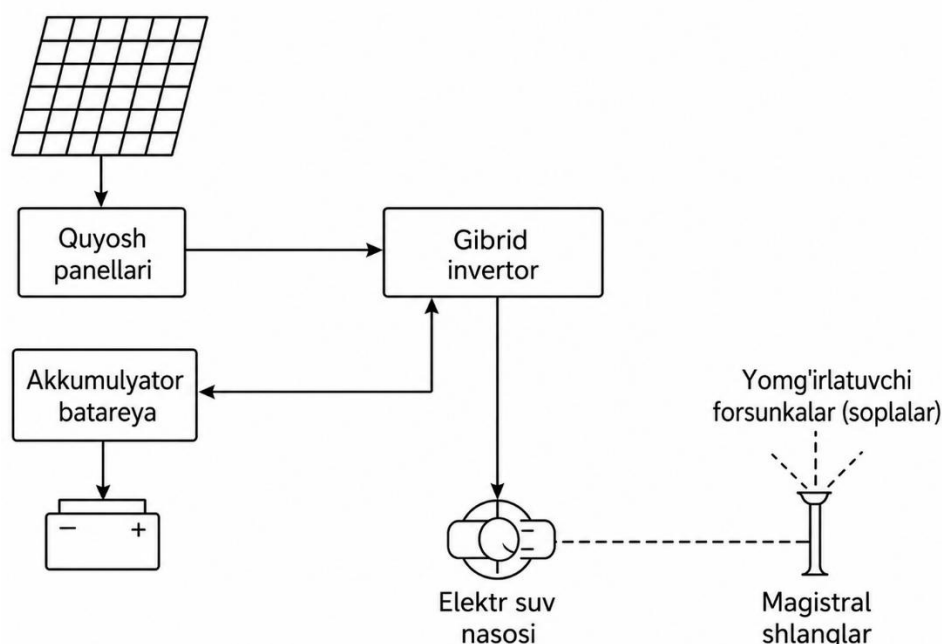
Mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasi quyosh panellari, akkumulyator batareyasi, MPPT-kontroller, inverter, elektr yuritma, nasos va yomg'irlatish tizimidan tashkil topgan bo'lib, suvni avtomatik ravishda dalaga bir tekis taqsimlash imkonini beradi. Qurilmaning samarali ishlashi ko'plab parametrlarning o'zaro bog'liqligiga bog'liq bo'lgani sababli tizimning kompleks matematik modelini ishlab chiqish talab etiladi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi quyosh energiyasi asosida ishlovchi mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasining matematik modelini ishlab chiqish hamda uning dinamik va energetik ko'rsatkichlarini tahlil qilishdan iborat. [6-8].

Asosiy qism

Mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasi ishlash jarayonida gidravlik, mexanik va energetik jarayonlar o'zaro bog'liq holda amalga oshadi. Shu sababli uning matematik modeli tizimli yondashuv asosida tuziladi.

Mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasining funksional sxemasi quyidagi asosiy elementlardan tashkil topadi: quyosh panellari, MPPT-zaryad kontrolleri, akkumulyator batareyasi, inverter, elektr yuritma, suv nasosi, magistral quvur va yomg'irlatgich forsunkalar, avtomatik boshqaruv tizimi. 1-chi rasmda mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasining funksional sxemasi keltirilgan.



1-rasm. Mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasining funksional sxemasi.

Tizimning ishlash prinsipi quyidagicha amalga oshiriladi: quyosh panellarida hosil bo'lgan elektr energiyasi MPPT-kontroller orqali akkumulyator batareyasiga uzatiladi. Inverter yordamida doimiy tok o'zgaruvchan tokka aylantiriladi va elektr yuritma hamda nasos agregati ishga tushiriladi. Avtomatik boshqaruv tizimi suv sarfi va harakat tezligini nazorat qiladi.



Qurilmaning matematik modeli qurilmaning asosiy elementlari elektr yuritmaning matematik modeli, nasos agregatining matematik modeli, quyosh energiyasi manbaining modeli, PID (proporsiyonal-integral-differensiyal) – regulyator modelilaridan iborat. Elektr yuritmaning dinamik tenglamasi quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi [9]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - M_y \quad (1)$$

bu yerda J — inertsia momenti, ω — burchak tezlik, M_e — elektromagnit moment, M_y — yuklama momenti.

Elektr motorining elektr muvozanat tenglamasi [9-10]:

$$U = E + IR + L \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

bu yerda U — ta’minot kuchlanishi, E — teskari EYuK, I — tok, R — aktiv qarshilik, L — induktivlik.

Nasosning suv uzatish sarfi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$Q = A \cdot v \quad (3)$$

bu yerda Q — suv sarfi, A — quvur kesim yuzasi, v — suv oqim tezligi.

Nasosning quvvat tenglamasi:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (4)$$

bu yerda ρ — suv zichligi, g — erkin tushish tezlanishi, H — bosim balandligi, η — foydali ish ko‘effitsiyenti.

Quyosh panelining ishlab chiqarayotgan quvvati quyidagi tenglama asosida aniqlanadi:

$$P_{pv} = \eta_{pv} \cdot S \cdot G \quad (5)$$

bu yerda η_{pv} — quyosh panelining FIK qiymati, S — panel yuzasi, G — quyosh radiatsiyasi intensivligi.

Akkumulyator batareyasining zaryad holati quyidagicha ifodalanadi [11]:

$$SOC(t) = SOC_0 + \frac{1}{C} \int (I_z - I_y) dt \quad (6)$$

bu yerda SOC — zaryad darajasi, C — batareya sig‘imi, I_z — zaryad toki, I_y — yuklama toki.

Suv sarfini avtomatik boshqarish uchun PID-regulyator qo‘llaniladi [12]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

bu yerda K_p — proporsional ko‘effitsiyent, K_i — integral ko‘effitsiyent, K_d — differensia, ko‘effitsiyent, $e(t)$ — boshqaruv xatosi.

PID-regulyator yordamida suv sarfining berilgan qiymatda barqaror saqlanishi ta’minlanadi.

Yuqoridagi tenglamalarni birlashtirish orqali mobil yomg‘irlatib sug‘orish qurilmasining kompleks matematik modeli hosil qilinadi. Ushbu model qurilmaning ish rejimlarini optimallashtirish va avtomatik boshqaruv tizimlarini ishlab chiqishda asos bo‘lib xizmat qiladi.

Yomg‘irlatib sug‘orish tizimining umumiy matematik modeli quyidagi funksiya bilan ifodalanadi [13-14]

$$F(t) = f(P_{pv}, SOC, Q, \omega, u(t)) \quad (8)$$

Mazkur model energiya manbai, elektr yuritma, nasos va boshqaruv tizimining o‘zaro bog‘langan dinamikasini tavsiflaydi.

Matematik model MATLAB/Simulink dasturiy muhiti asosida modellashtirildi. Simulink modelida quyidagi asosiy bloklardan foydalanildi: quyosh panellari, MPPT controller, akkumulyator batareyasi, I inverter, DC/AC Motor, nasos, PID rostlagich, Scope bloklari [13].

Eksperiment natijalarida vaqtga bog‘liq holda quyidagi parametrlar aniqlandi: qurilmaning harakat tezligi $v(t)$, suv sarfi $Q(t)$, tezlikning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi $v-t$, suv sarfining



vaqt bo'yicha o'zgarishi $Q-t$, energiya iste'molining vaqt bo'yicha o'zgarishi $P-t$, batareya zaryad darajasining o'zgarishi $SOC-t$. ўзгариши олинди.

1-jadval.

Tizimning parametrlari

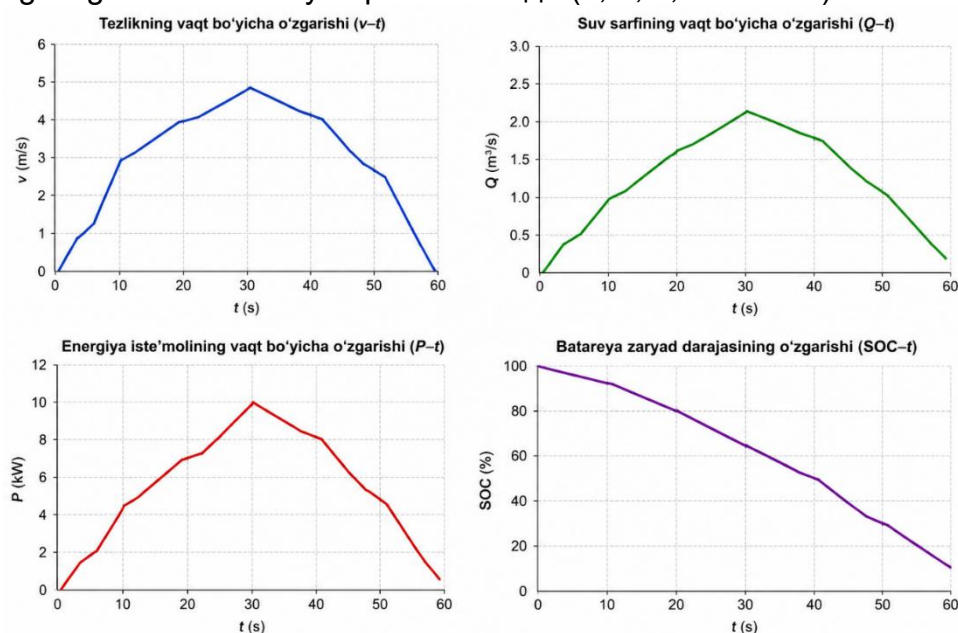
Ko'satkich	Belgilanish	Qimat
Quvvat	P_{pv}	310 BТ
Sigim AKB	C_{bat}	150 A
Kuchlanish	U	12 B
Nasos quvvati	P_{motor}	250 BТ
Tizim FIK	η	0,85

2-jadval.

Modellshtirish natijalari

Vaqt (s)	P_{pv} (VТ)	P_{motor} (VТ)	Soc	Q ($m^2 / \text{ч}$)
0	0	200	0,60	10
6	150	220	0,55	11
12	300	250	0,70	12,5
18	120	230	0,65	11,5
24	0	200	0,50	10

Ishlab chiqilgan MATLAB / Simulink dasturida modellashtirish natijasida quyidagi grafik bog'lanishlar olindi: tezlikning vaqt bo'yicha o'zgarishi $v-t$, suv sarfining vaqt bo'yicha o'zgarishi $Q-t$, energiya iste'molining vaqt bo'yicha o'zgarishi $P-t$, batareya zaryad darajasining o'zgarishi $SOC-t$. ўзгариши олинди (1, 2, 3, 4 rasmlar).



2-rasm. Tezlikning vaqt bo'yicha o'zgarishi $v-t$, suv sarfining vaqt bo'yicha o'zgarishi.

$Q-t$, energiya iste'molining vaqt bo'yicha o'zgarishi $P-t$, batareya zaryad darajasining o'zgarishi $SOC-t$.

Natijalar tahlili shuni ko'rsatdiki, tizimda PID-regulyator qo'llanilishi suv sarfining tez barqarorlashishini ta'minlaydi hamda energiya sarfini kamaytiradi [15-16].



O'tkazilgan modellashtirish natijalari quyidagilarni ko'rsatdi: qurilma harakat tezligi 35–40 sekunddan so'ng barqarorlashadi; suv sarfi PID-regulyator yordamida barqaror boshqariladi; MPPT texnologiyasi energiya ishlab chiqarishni 15–25 % ga oshiradi; akkumulyator batareyasi yuklama o'zgarishlarini kompensatsiya qiladi; tizimning umumiy energetik samaradorligi ortadi.

Grafik natijalar mobil sug'orish tizimining dinamik barqarorligini va avtomatik boshqaruv tizimining samarali ishlashini tasdiqlaydi.

Xulosa

Mazkur tadqiqotda quyosh energiyasi asosida ishlovchi mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasining matematik modeli ishlab chiqildi. Model elektr yuritma, nasos agregati, gidravlik tizim, quyosh panellari va avtomatik boshqaruv tizimining o'zaro bog'liqligini hisobga oladi.

MATLAB/Simulink muhitida o'tkazilgan modellashtirish natijalari tizimning barqaror ishlashini hamda energiya tejamkorligini tasdiqladi. PID-regulyator yordamida suv sarfi avtomatik ravishda boshqarildi va sug'orish sifati yaxshilandi.

Ekspirimental tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan model quyosh radiatsiyasi o'zgaruvchan sharoitlarida mobil yomg'irlatib sug'orish qurilmasining barqaror ishlashini ta'minlaydi. Aniqlanishicha: MPPT qo'llanilishi energiya ishlab chiqarishni 15–25 % ga oshiradi; akkumulyator batareyasidan foydalanish tizimning uzluksiz ishlashini ta'minlaydi; suv sarfi og'ishi 5 % dan oshmaydi; tizimning energetik samaradorligi 18–22 % gacha oshadi.

Ishlab chiqilgan matematik model kelgusida energiya tejamkor mobil sug'orish tizimlarini loyihalash va optimallashtirishda foydalanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati:

[1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 09.09.2022 yildagi PF-220-son "Energiya tejoyvchi texnologiyalarni joriy qilish va kichik quvvatli qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" farmoni <https://lex.uz/uz/docs/-6189000>

[2] Eshmurodov Z.O., Sayfiyev S.E. Qishloq xo'jaligi elektr ta'minoti tizimida quyosh energiyasidan foydalanishni asoslash. O'zbekiston agrar fani xabarnomasi Ilmiy-amaliy jurnal № 4 (22) 2025 185-188 b

[3] Eshmurodov Z.O. Sayfiyev S.E. Qishloq xo'jaligi elektrlashtirilgan o'simlikshunoslik tizimlarida quyosh energiyasidan foydalanish. © International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences Vol.1(6), 2025 IF=4.372, ICV:59.77 76-83s.

[4] Eshmurodov Z. O., Sayfiyev S. E. Qishloq xo'jaligi sug'orish ishlarida quyosh energiyasidan foydalanish. Muqobil energetika/Альтернативная энергетика/Alternative energy, ISSN 2181-2284, #03 [19] 2025 211-219 b

[5] Ziyodullo Eshmurodov, and Shukhrat Abdullaev Investigation of the methods of starting and braking in the "Frequency converter asynchronous motor" system, E3S Web of Conferences 548, 06013 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454806013>

[6] Togayev, A.Tovbaev, G. Nodirov, Assessment of the quality of electricity by applying reactive power sources, E3S Web of Conferences, 525, 03004 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503004>

[7] Narzullayev B. S., Eshmirzaev M. A, Causes of the appearance of current waves in high voltage electric arc furnaces, and methods of their reduction, E3S Web of



Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 417. – C. 03003.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703003>

[8] Shukhrat Abdullaev., Ziyodullo Eshmurodov., Islom Togaev, A systematic analysis of the gradual increase in quality indicators of electricity using reactive power sources involves several steps, AIP Conf. Proc. 3331, 040051 (2025).
<https://doi.org/10.1063/5.0306786>

[9] Bobur Narzullayev; Javokhir Boboqulov, Improving reliability based on diagnostics of the technical condition of electric motor stator gutters, AIP Conf. Proc. 3331, 030032 (2025). <https://doi.org/10.1063/5.0305735>

[10] Ziyodullo Eshmurodov Yomg'irlatib sug'orish mashinalarining tezligini neyroboshqarish International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences Vol.4(8), 2024 41-48

[11] Ziyodullo Eshmurodov, Sardor Saifiev. The Use of Renewable Energy Sources in Electrified Crop Production Systems //International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 12, Issue 3, March 2025 p. 23126 – 23131

[12] Jo'raev T.D. Quyosh issiqlik va energetik qurilmalari//Darslik Toshkent, "Ma'naviyat", 2022. -210 bet

[13] MATLAB Simulink User Guide. MathWorks Inc.,The MathWorks, Inc.,2023. — 5204 p. Deep Networks. Deep Network Designer.

[14] Yuldoshev I.A., Sultonov M.Q., Yuldashev F.M. Quyosh energetikasi//Darslik Toshkent, "Bookani print", 2022. -338bet.

[15] Эшмуродов З.О. Исследование вопросов выбора электроприводов электрифицированных растениеводческих систем //Journal of Advances in Engineering Technology Vol.1 (9) 2023 стр 1-3 bet.

[16] A.Tovboyev, I.Togayev, I.Uzoqov, G. Nodirov, Use of reactive power sources in improving the quality of electricity, E3S Web of Conferences 417, 03001 (2023)
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703001>