



YOMG'IRLATIB SUG'ORISH MASHINALARINING TEZLIGINI NEYROBOSHQARISH

Ziyodullo Eshmurodov [0009-0007-5198-132X],

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, DSc., professor

Annotatsiya. Maqolada yomg'irlatib sug'orish mashinasining tezligini neyrotarmoqli boshqarish orqali modellashtirish natijalari keltirilgan. An'anaviy yondashuvlar, faqat texnik jarayonlar va ularning bog'liqliklarini fizik modellashtirishga asoslangan yondashuvlar, ko'pincha samarali yechimlarni topishni qiyinlashtiradi. Taklif etilgan yondashuv esa ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish modeliga, ya'ni tezlikni neyroboshqarish modeliga asoslangan. Neyroboshqarish yomg'irlatib sug'orish texnikasini yanada samarali va optimal boshqarish imkonini beradi. Ishda dumaloq harakat qiluvchi yomg'irlatib sug'orish mashinalarida suv taqsimlashning energiya samaradorligini oshirish usullari, vositalari va nazariy asoslari keltirilgan. Yomg'irlatib sug'orish mashinalarining energiya iste'moli tayanch aravachalarining elektr yuritmalari tomonidan iste'mol qilinadigan quvvat hamda ularning ishlash vaqti bilan belgilanadi. Yomg'irlatib sug'orish mashinasi harakatlanishi jarayonida ko'pincha uni siljitish uchun kamroq energiya talab etiladigan holatlar yuzaga keladi. Masalan, relyefning yuqori nuqtasidan pastga qarab harakatlanishda energiya sarfi kamroq bo'ladi. Biroq elektr yuritmalarini boshqarish tizimi faqat nominal ish rejimlari va iste'mol qilinadigan quvvatni hisobga oladi.

Kalit so'zlar: energiya samaradorligi, energiya iste'moli, elektr yuritmalarini boshqarish tizimi, yomg'irlatib sug'orish mashinasi, harakatlanish, neyroboshqarish, tezlik, sug'orish, model. neyroboshqaruv; tezlik; sug'orish; model.

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования скорости дождевальной машины с использованием нейросетевого управления. Предложенный подход основан на модели интеллектуального анализа данных, то есть на модели нейроуправления скоростью. Нейроуправление позволяет более эффективно и оптимально управлять дождевальной техникой.

В данной работе рассматриваются методы, средства и теоретические положения, направленные на повышение энергетической эффективности водораспределения дождевальными машинами кругового действия. Энергопотребление таких машин определяется мощностью, потребляемой электроприводами опорных тележек, а также продолжительностью их работы. В процессе перемещения дождевальной машины нередко возникают условия, при которых для её движения требуется меньшее количество энергии. Например, при движении с высокой точки рельефа вниз потребление энергии меньше. Однако система управления электроприводами ориентирована лишь на номинальные режимы функционирования и учитывает только потребляемую мощность.

Ключевые слова: энергетической эффективности, энергопотребление, система управления электроприводами, дождевальная машина, перемещения, нейроуправление; скорость; орошение; модель.

Annotation. The article presents the results of modeling the speed of a sprinkler irrigation machine using neural network control. The proposed approach is based on an intelligent data analysis model, namely a neural speed control model. Neural control enables more efficient and optimal management of sprinkler irrigation equipment. The study outlines the methods, tools, and theoretical foundations for improving the energy efficiency of water distribution by center-pivot irrigation machines. The energy consumption of sprinkler machines is determined by the power consumed by the electric drives of the support carts and their operating time., situations often arise where less energy is required for movement. For example, when moving downhill from a high point in the terrain, energy consumption is lower. However, the electric drive control system only takes into account nominal operating modes and the power consumed.

Keywords: energy efficiency, energy consumption, electric drive control system, irrigation machine, movement, neurocontrol, speed, irrigation, model.

Kirish

Yomg'irlatib sug'orish texnikasini takomillashtirishning asosiy yo'nalishlaridan biri – yomg'irlatib sug'orish mashinalarini avtomatik masofadan boshqarish, nazorat va himoya tizimlarini rivojlantirishdir. Chet eldagi ishlab chiqishlarda yomg'irlatib sug'orish texnikasini



avtomatlashtirish, robotlashtirish va intellektualizatsiya yo'nalishida aniq tendensiyalar kuzatilmoqda. Sug'orish sohasida ekin yetishtirishni yanada rivojlantirishda sug'orish tizimlarini zamonaviy texnik vositalar bilan ta'minlash muhim omil hisoblanadi. [1] manbada keltirilishicha, yomg'irlatib sug'orish mashinalari parkida taxminan 30 % birinchi avlod, 60 % ikkinchi avlod mashinalar ulushini tashkil etadi, qolgan qismi esa zamonaviy va ilg'or texnologiyalar asosida ishlab chiqilgan mashinalardan iborat.

Sug'orish sohasida ekin yetishtirishni rivojlantirishda sug'orish tizimlarini zamonaviy texnik vositalar bilan jihozlash muhim ahamiyat kasb etadi. [2] manbasiga ko'ra, yomg'ir mashinalari parki taxminan 30% birinchi avlod mashinalardan, 60% ikkinchi avlod mashinalardan iborat bo'lib, qolgan qismi zamonaviy, ilg'or texnologiyalarga ega mashinalardan tashkil topgan.

So'nggi paytlarda yomg'ir mashinalarini takomillashtirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar asosan ish bosimini kamaytirish [2], yomg'ir intensivligini kamaytirish va strukturasini yaxshilash, sug'orishning yanada bir xilligi va mashinalarning unumdorligini oshirishga qaratilgan [3-9].

Jahonda yomg'irlatib sug'orish mashinalarini avtomatlashtirish va robotlashtirishga qaratilgan muayyan tendensiyalar shakllanmoqda, bu esa energiya, suv hamda boshqa resurslardan yanada tejamkor foydalanish imkonini yaratmoqda. So'nggi yillarda xorijiy tadqiqotlarning aksariyati sug'orish samaradorligini oshirish maqsadida ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish va chuqur o'rganish usullarini joriy etishga yo'naltirilgan [10–12].

Asosiy qism

Yomg'irlatib sug'orish mashinalari (YM) murakkab texnik obyektlar bo'lib, ularning xulq-atvori va xossalari alohida komponentlar xossalari oddiy yig'indisi hisoblanmaydi. Ayrim komponentlarni ajratish yoki birlashtirish yangi xossalarning yuzaga kelishiga yoki mavjud xossalarning yo'qolishiga sabab bo'lishi mumkin. Yomg'irlatib sug'orish mashinasining har bir komponenti o'ziga xos belgilarning ma'lum bir to'plami bilan tavsiflanadi, va ushbu qiymatlar nafaqat komponentning, balki butun yomg'irlatib sug'orish mashinasining joriy holatini belgilashda muhim rol o'ynaydi. Yomg'irlatib sug'orish mashinasiningga tashqi omillar hisobga olingan holda, qiymatlari vektori orqali ifodalanadi.

Shu sababli bunday obyektlarni boshqarish vazifasi murakkab nazorat va diagnostika masalasini tashkil etadi, bunda ko'plab murakkab formalizatsiyalanadigan parametrlar mavjudligi hamda real vaqt rejimida qarorlar qabul qilish zarurati inobatga olinadi.

Tizimning matematik modeli ma'lum bir vaqt momenti t da yomg'irlatib sug'orish mashinasining (YM) joriy holat o'zgaruvchilari $X(t)$, atrof-muhitning YM ga ko'rsatadigan tashqi ta'sirlari $Z(t)$, shuningdek, YM ga ta'sir qiluvchi boshqaruv signallari orqali ifodalanadi

$$Y(t) = F(X(t), Z(t), U(t))$$

bu yerda: $X(t)=\{X_i(t)\}$ — $X_i(t_j)$ ni t vaqt momentida tizimning i -holatini ifodalovchi vektor; $Z(t)=\{Z_i(t)\}$ — $Z_i(t_j)$ ni t vaqt momentida tizimga ta'sir qiluvchi i -tashqi omillar vektori; $U(t)=\{U_i(t)\}$ — $U_i(t_j)$ ni t vaqt momentida tizimga ta'sir etuvchi i -boshqaruv ta'sirlari vektori.

Harakat jarayonida ishlaydigan keng qamrovli yomg'irlatib sug'orish mashinalari uchun sug'orish me'yorini belgilashda cheklovchi omil mashinaning harakat tezligi hisoblanadi. Parametrlar va ish rejimlarini hisoblashda minimal sug'orish me'yorini mashinaning harakat tezligi bilan uyg'unlashtirish zarur. Tezlikning pasayishi belgilangan sug'orish me'yoriga nisbatan 7–10,5 % gacha sug'orish miqdorining ortishiga olib keladi. Shu sababli, mashinaning ekspluatatsion ish rejimlarini doimiy ravishda "qo'lda" sozlash talab etiladi. Yuqorida aytilganlarga asoslanib, funksional bog'liqlik quyidagi ko'rinishni oladi:

$$m(t) = F(V(t))$$

bu yerda chiqish signali $m(t)$ — sug'orish me'yoring qiymati, $V(t)$ esa boshqaruvchi ta'sir bo'lib, bizning holatda u tezlik bilan ifodalanadi. Funktsional bog'liqlikning ko'rinishdagi soddaligi chalg'itmasligi kerak, chunki tashqi ta'sirlarning ta'siri boshqaruvchi ta'sir qiymatida hisobga olinadi.

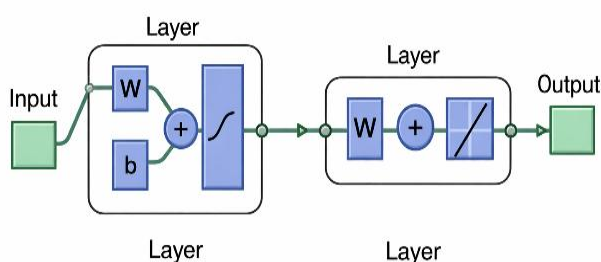
Aslida,

$$V(t) = G(Z(t), X(t)).$$

Neyrokontrollerni sintez qilish uchun Matlab, R, Python va boshqa turli dasturiy mahsulotlardan foydalanish mumkin. Biz Matlab muhitida amalga oshiriladigan algoritmdan (Neural Network Toolbox paketi) foydalandik. Birinchi bosqichda neyrokontrollerni sintez qilish uchun zarur bo'lgan amalda ishlayotgan keng qamrovli yomg'irlatib sug'orish mashinalarining boshlang'ich ma'lumotlari to'plandi. Neyrokontrollerni sintez qilish masalasi trivial emas bo'lib, neyron tarmoqlar topologiyasini, o'qitish parametrlari tanlash bo'yicha sinchkovlik bilan ish olib borishni talab qiladi. Yakuniy natijada o'qitish tanlamasida chiqish signalini to'g'ri shakllantiradigan, kontroller modeli hisoblangan neyron tarmoq olinishi lozim.

Modellashtirish natijalariga asosan, neyromodel kutilgan signalga mos chiqish signalini shakllantiradi, bunda xatolik — ya'ni belgilangan va amaldagi sug'orish me'yorlari o'rtasidagi tafovut — eng kichik qiymatga ega bo'ladi. Neyron tarmoq jarayon dinamikasini yetarli darajada aks ettira olishi lozim. Shundan keyin ushbu tarmoq regulyator bilan integratsiyalanadi. Tarmoqning og'irlik koeffitsiyentlari doimiy sifatida qabul qilinadi, tarmoq-regulyator og'irliklari esa etalon model javobiga mos kirish signali uchun neyron tarmoq chiqishlari orasidagi farqni minimallashtirish yo'li bilan moslashtiriladi.

Neyron tarmoq sxemasi va algoritmnining yaqinlashuvi rasmda (1-rasm) keltirilgan.



1-rasm. Neyron tarmoq sxemasi (chapda) va Matlab muhitida algoritmnining yaqinlashuvi.

O'qitishdan so'ng regulyator boshqaruv konturida qo'llanilib, og'ishlarni 1–3 % gacha kamaytiradi.

Tezlikni neyroboshqarish modeli ishida tadqiq qilingan bo'lib, unda integratsiyalashgan neyroregulyatorga ega boshqaruvning funktsional sxemasi ham keltirilgan.

Sug'orish normasi agrotexnik talablariga javob berishi zarur bo'lib, u yomg'ir mashinalarining asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanadi. Ma'lumki, mashina harakatlanish vaqti davomida beriladigan norma quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$m=600Q/2\pi RV_c,$$

bu yerda V_c — aravachaning o'rtacha harakat tezligi (m/daq), shunda mashinaning chiziqli harakat tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$V=60 \cdot n_i,$$

bu yerda n — oxirgi tayanch yuritmaning siklikligi (takt/daq), i — gidrotsilindrning bir takti davomida oxirgi tayanchning harakat qadamini bildiradi (0,16 m).

Bu xarakteristikalar konstruktiv hamda ishlab chiqarish ko'rsatkichlar bilan uzviy bog'liq bo'lib, ularning ta'sir darajasi bir xil emas. Aksariyat mahalliy yomg'irlatib sug'orish mashinalarida sug'orish me'yori faqat qo'lda sozlanadi, xorijiy o'xshash qurilmalarda esa avtomatik boshqaruv va intellektual tizim elementlaridan foydalaniladi. Yomg'ir mashinalarining samaradorligini oshirish muammosi hanuz dolzarb bo'lib qolmoqda, chunki dinamik ko'p komponentli tizimlarni chiziqsiz bog'liqliklar bilan jismoniy modellashtirish murakkab va texnologik jarayonga ta'sir qiluvchi tashqi stokastik omillarni hisobga olish talab etiladi. Shu sababli, sun'iy neyron tarmoqlari asosida boshqaruv modellari, ya'ni intellektual boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

Sun'iy neyron tarmog'ining asosiy tarkibiy qismi bo'lib, biologik neyron faoliyatining asosiy tamoyillarini aks ettiruvchi eng sodda modellashtiruvchi analog o'zgartiruvchi element hisoblanadi. Sun'iy neyron tarmoqlari esa o'zaro bog'langan va bir-biri bilan ta'sirlashuvchi ko'plab elementlardan, ya'ni neyronlardan (oddiy protsessorlardan) tashkil topgan.

Sun'iy neyron, ya'ni neyron tarmog'ining asosiy elementi, modellashtiruvchi eng sodda analog o'zgartiruvchi element bo'lib, u tirik neyronning ishlashiga oid asosiy tushunchalarni ifodalaydi. Sun'iy neyron tarmoqlari o'zaro bog'langan va bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashuvchi ko'plab elementlardan — neyronlardan (oddiy protsessorlardan) tashkil topadi.

Ma'lum bir signallar to'plami sun'iy neyron kirishiga uzatiladi va bu kirish ma'lum koeffitsiyentga ko'paytiriladi (ya'ni og'irliklanadi). Faollashtiruvchi nochiziqli blok kirishiga esa summatorning chiqish signali kelib tushadi. Summator tenglamasini sun'iy neyronning matematik ifodasi sifatida ko'rib chiqamiz:

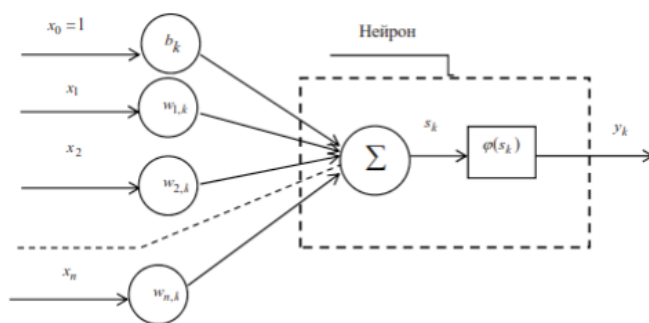
$$S_k = \sum_{j=1}^n W_{j,k} x_j + b_k \quad (1)$$

Bunda faollashtiruvchi blok tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$y_k = \varphi(S_k), \quad (2)$$

bu yerda $x_1, x_2, \dots, x_n$ — kirish signallari; y_k — chiqish signali; b_k — og'ish; $\varphi(s_k)$ — chiziqli summator chiqish signalida s_k k -neyron uchun aktivatsiya blokini o'zgartirish funksiyasi.

Shu bilan birga, sinaptik og'irliklar quyidagicha belgilanadi; $w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{nk}$
1-rasmda sun'iy neyron modeli faoliyat ko'rsatishining sxemasi keltirilgan.



2-rasm. Sun'iy neyron modelining ishlash sxemasi.

Sun'iy neyron tarmog'i kirish va chiqishlari orqali o'zaro bog'langan neyronlar majmuasidan iborat. Eng sodda neyron tarmog'ining ishlash prinsipi quyidagicha: kirish signallari $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ vektori tarmoq tomonidan qabul qilinadi va yashirin qatlam neyronlarida signal $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ hosil qilinadi. Chiqish signallari $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ vektori sifatida olinadi.

Neyronlarining bog'lanish og'irliklari va siljish (bias) qiymatlari tarmoq ma'lum bir o'quvchi kirish vektorlari to'plamini mos keluvchi kerakli chiqishlar to'plamiga aks ettirishni

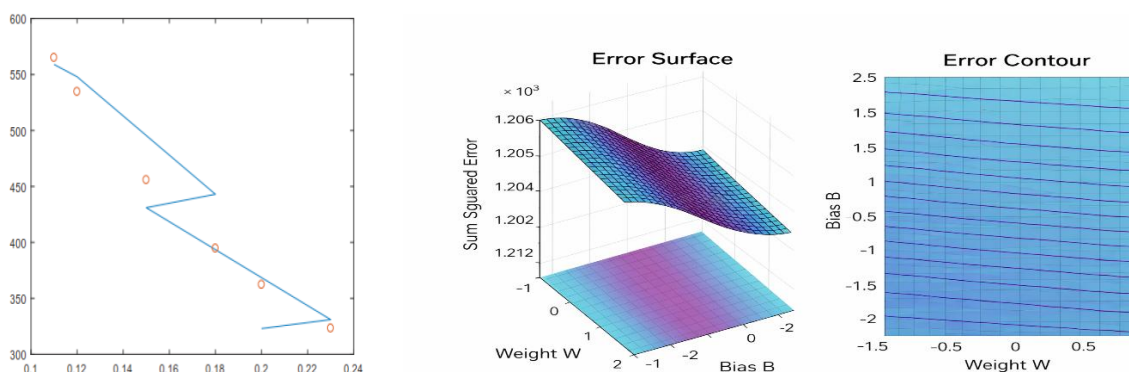
o'rganmaguncha o'zgartirib boriladi. Shu tariqa, ushbu bog'lanishlarga mos keluvchi arxitektura va og'irliklar shakllanadi, bu esa neyron tarmog'ining asosini tashkil etadi.

Sun'iy neyron tarmog'i — kirish va chiqishlar orqali o'zaro bog'langan neyronlar majmuasidan iborat. Eng sodda neyron tarmog'ining ishlash prinsipi quyidagicha: kirish signallari vektori tarmoq tomonidan qabul qilinadi va yashirin qatlam neyronlarida signal shakllantiriladi. Chiqish qatlamidan esa chiqishlar vektori olinadi.

Birinci bosqichda boshqariladigan obyektning neyromodeli tuziladi. Tezlikni boshqarish neyromodelini o'rgatish jarayonida: noma'lum jarayon V — tezlik qiymatlari o'qituvchi to'plamni hosil qilish uchun boshqariladigan obyekt kirishiga uzatiladi. O'qituvchi to'plam tezliklar bo'yicha kirish boshqaruvchi ta'sirlar n va sug'orish normalari bo'yicha chiqish reaksiyalari m dan shakllantiriladi. Obyektning chiqish signali m — sug'orish normasi, neyromodelning chiqish signali esa sug'orish normasining bahosi hisoblanadi. Ushbu qiymatlar orasidagi farq e xatolik bo'lib, u og'irlik koeffitsiyentlarini tuzatish uchun, signalni neyron tarmog'i orqali teskari yo'nalishda uzatish yo'li bilan qo'llaniladi. Qabul qilingan neyron tarmoq arxitekturasi ikki qatlamdan iborat bo'lib, birinchi qatlamda 6 ta, ikkinchi qatlamda esa 1 ta neyron joylashgan. Aktivatsiya funksiyasi sifatida giperbolik tangens tanlangan, o'qitish jarayonining sifatini baholash mezoni sifatida esa o'rta kvadrat xato (MSE) ishlatiladi. Birinchi va ikkinchi qatlamlar uchun og'irlik koeffitsiyentlari matritsalarini hamda og'irish (bias) vektorlari, shuningdek (1)–(2) ifodalar bilan berilgan vazifalar neyron tarmoqni tavsiflovchi quyidagi qiymatlarga ega.

$$w_1 = \begin{bmatrix} -8.5276 \\ 8.4022 \\ -8.3422 \\ 8.4009 \\ -8.406 \\ 8.3973 \end{bmatrix} \quad b_1 = \begin{bmatrix} 8.2727 \\ -5.0357 \\ 2.0904 \\ 1.6856 \\ -5.0327 \\ 8.4032 \end{bmatrix} \quad w_2 = \begin{bmatrix} -0.69215 \\ 0.06806 \\ 1.6576 \\ 0.6581 \\ 1.0787 \\ 0.14988 \end{bmatrix} \quad b_2 = [0.064735]$$

Neyron tarmoqning ishini grafik tasviri 3-rasmda keltirilgan: Modelning adekvatligini baholash maqsadida tizimning chiqish signali test to'plamida modellashtiriladi. Shuningdek, yaqinlashuv parametrlari va neyronlar xatoliklarining kattaligi tahlil qilinadi. Og'irliklar W va siljishlar b ga bog'liq holda neyron uchun xatoliklar va sath chiziqlarining o'rganilishi (3-rasmga qarang) o'qitishning adekvat parametrlarini namoyish etadi. Eng yaxshi og'irlik va chegaraviy (porog) qiymatlar — bu xatolik sirtining eng past nuqtalaridir.



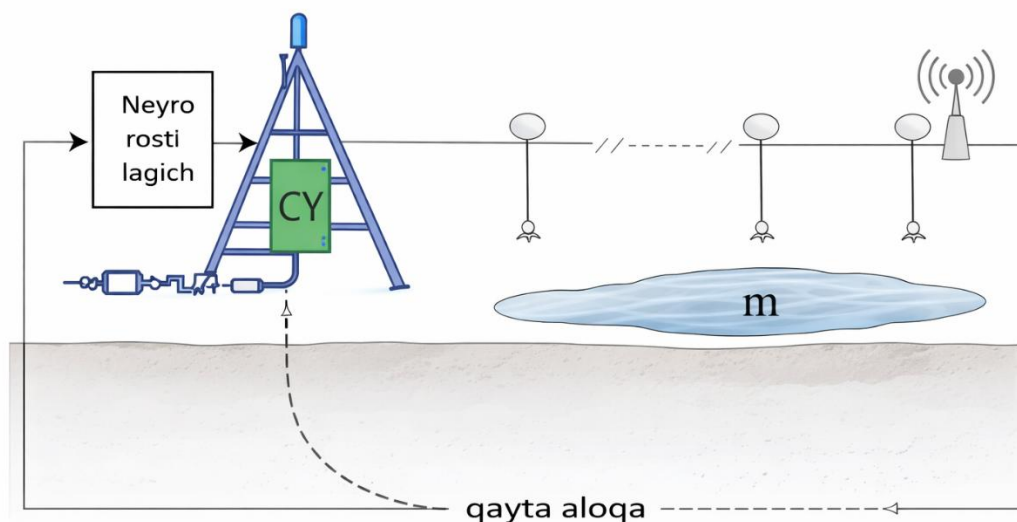
3-rasm. Neyron tarmoqning ishlashi (chapda) va neyron xatolik yuzasi (o'ngda) tasvirlangan.

Natijalar

Natijalar shuni ko'rsatadiki, neyromodel chiqish signalini kutilgan signalga muvofiq hosil qiladi, va xato minimal — 2 % dan kam. Tezlikni boshqarish rejimida ishlab chiqilgan neyron tarmoqni qo'llash bosqichi neyrokontrollarni sintez qilish va uni tezlikni boshqarish

tuzilmasiga integratsiya qilib amalga oshiriladi. Neyrokontroller sintezini, Matlab muhitidagi Neural Network Toolbox dasturiy paketida bajarish mumkin [13].

Biz quyidagi tezlikni boshqarish funksional sxemasini taklif qilamiz (4-rasm). Tizim kirishiga joriy tezlik qiymati signali beriladi va u standart signal sifatida hisoblanadi. Rostlagichdagi kirish va chiqish ma'lumotlarining mos massivlari neyron tarmog'ini sintez qilishda qo'llaniladi, bunda sug'orish normasi m ning hisoblangan va haqiqiy qiymatlari orasidagi og'ish minimal bo'ladigan boshqaruv ta'siri aniqlanadi. Ushbu ma'lumotlar optimallashtirilgan boshqaruv ta'sirini hosil qilish maqsadida sug'orish mashinasining boshqaruv tizimiga uzatiladi.



4 rasm. Neyrorostlagich integratsiyalangan boshqaruv funksional sxemasi.

Xulosa

Neyroboshqaruv har qanday oldindan belgilangan aniqlik darajasida moslasha olish qobiliyatiga ega bo'lib, bu omillar ta'sirida yuzaga keladigan sug'orish normasi talab qilingan va haqiqiy qiymatlar orasidagi farqni tuzatishda an'anaviy usullardan farq qiladi; bu farq 7–10,5 % ni tashkil etadi. Shu bilan, sug'orish parametrlari optimallashtiriladi va neyroboshqaruvga ega sug'orish mashinasi yordamida boshqaruv tizimi konturida elektr energiyasi va suv sarfi kamayadi. Qishloq xo'jaligida sug'orish jarayonda intellektual boshqaruv tizimlarini yaratish, shuningdek, qishloq xo'jaligi korxonalarini boshqarish servislariga, masalan, ExactFarming, Agrosignal va boshqa tizimlarga mos keladigan intellektual boshqaruv dasturiy mahsulotlarini ishlab chiqish muhimdir. Bundan tashqari, integratsiyalangan intellektual boshqaruv tizimiga ega robotlashtirilgan sug'orish komplekslarini yaratish orqali sug'orish jarayonining samaradorligini yanada oshirish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar:

- [1]. Моделирование нейрорегулирования скоростью дождевальных машин/ Д.А. Соловьев, Г.Н. Камышова, Н.Н. Терехова, С.М.Бакиров //Аграрный научный журнал. – 2020. – №7. – С.81-84.
- [2]. Соловьев Д.А., Камышова Г.Н., Терехов П.О. Интеллектуализация дождевальной техники – инновационная тенденция повышения эффективности орошения ГРТИ 55.57.40 itno.2020.280-284



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

[4]. 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.

[5]. 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 №3 211-219 bet

[6]. Ziyodullo Eshmurodov, Sardor Saifiev. The Use of Renewable Energy Sources in

[7]. Electrified Crop Production Systems //International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 12, Issue 3, March 2025 p. 23126 - 23131

[8]. Z.O. Eshmurodov, S. E. Saiyfiyev. Methods of improving the energy efficiency of machines and equipment used in agriculture //«Проблемы энерго- и ресурсосбережения специальный выпуск (№88) - 2025 г. Стр.463-472 <https://doi.org/10.1063/5.0306104>

[9]. 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>

[10]. 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>

[11]. Abdurakhim Taslimov., Feruz Raximov., Farrukh Rakhimov., Iles Bakhadirov, Optimal parameters and selection criteria for neutral grounding resistors in 20 kv electrical networks, AIP Conf. Proc. 3331, 030048 (2025) <https://doi.org/10.1063/5.0306108>

[12]. Islom Togaev., Akram Tovbaev., Gulom Nodirov, Systematic analysis of reactive power compensation in electric networks is essential for improving electricity quality enhancing system stability, and reducing operational costs, AIP Conf. Proc. 3331, 030099 (2025) <https://doi.org/10.1063/5.0305740>

[13]. Abdurakhim Taslimov., Farrukh Rakhimov., Feruz Rakhimov., Vaxobiddin Mo'minov, Analysis of the results of sampling the surfaces of sections of rural electric networks, AIP Conf. Proc. 3331, 030041 (2025) <https://doi.org/10.1063/5.0305783>