

Article

VVER-1000 reaktori birinchi konturiga ammiak dozalash jarayonlarini MatLab Simulink muhitida modellashtirish

X.F. Xoshimjonov *¹ 

¹ Yadro fizikasi va astronomiya kafedrası, Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti, Toshkent, 100174, O'zbekiston

xoshimjonovxurshidbek1999@gmail.com (I.F.)

* Correspondence: xoshimjonovxurshidbek1999@gmail.com (X.X.)

Xulosa:

Ushbu maqolada Matlab Simulink dasturiy muhiti yordamida VVER-1000 reaktorining birinchi konturida ammiak konsentratsiyasini boshqarish tizimini ishlab chiqish va modellashtirish natijalari keltirilgan. Tadqiqotning maqsadi – dozalanish tizimining matematik modelini, jumladan nasos va boshqaruv regulyatorini yaratish hamda uning turli ish sharoitlaridagi dinamik xatti-harakatini o'rganishdir. Tadqiqot davomida ammiak konsentratsiyasini optimal darajada ushlab turishning muhimligi alohida ta'kidlandi. Bu jarayon suvning radiolizini bostirish, konstruktsion materiallarning korroziya tezligini kamaytirish va reaktorning xavfsiz hamda ishonchli ishlashini ta'minlash uchun zarurdir. Simulink muhitida ob'ektning differensial va ayirmali tenglamalari asosida batafsil modella shtirish amalga oshirildi. Tizim turli regulyator koeffitsientlari uchun bosqichli kirish signallariga javob nuqtai nazaridan o'rganildi, o'tkinchi jarayonlar va barqarorlik aniqligi tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, tizim barqaror ishlashi uchun proporsional regulyator zarur. Optimal regulyator koeffitsienti topildi. Topilmalar Matlab Simulinkning atom energetikasidagi boshqaruv tizimlarini modellashtirishda samarali muhit ekanini tasdiqlaydi hamda kelgusida MWBridge kabi real vaqt tizimlariga integratsiya qilish uchun asos yaratadi.

Kalit so'zlar: VVER-1000, birinchi kontur, ammiak dozalash, suv kimyosi, korroziya nazorati, Matlab Simulink, boshqaruv tizimini modellashtirish, proporsional regulyator, atom elektr stansiyasi.

Modeling of ammonia dosing processes in the primary circuit of a VVER-1000 reactor using the MATLAB Simulink environment

Khurshidbek F. Khoshimjonov *¹ 

Iqtibos: X.F. Xoshimjonov. VVER-1000 reaktori birinchi konturiga ammiak dozalash jarayonlarini MatLab Simulink muhitida modellashtirish. 2025, 2,2, 3. <https://doi.org/>

Olingan: 10.03.2025

Tuzatilgan: 18.03.2025

Qabul qilingan: 25.04.2025

Nashr qilingan: 30.04.2025

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted to for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

¹ Department of Nuclear Physics and Astronomy, Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent 100174, Uzbekistan
xoshimjonovxurshidbek1999@gmail.com (Kh.Kh.)

Abstract:

This paper presents the development and simulation of a control system for ammonia concentration in the primary circuit of a VVER-1000 reactor using Matlab Simulink. The objective of the study is to design a mathematical model of the dosing system, including the pump and control regulator, and to investigate its dynamic behavior under various operating conditions. The research emphasizes the importance of maintaining optimal ammonia concentration to suppress water radiolysis, reduce corrosion rates of structural materials, and ensure the safe and reliable operation of the reactor. A detailed simulation was performed in Simulink, where transfer functions and difference equations describing the object of control were implemented. The study examined system responses to step inputs with different controller gains, analyzing the impact on transient processes and steady-state accuracy. Results demonstrated that the system requires proportional regulation to achieve stable performance. The optimal regulator coefficient was determined. The findings confirm the

effectiveness of Matlab Simulink as a modeling environment for control systems in nuclear power applications and lay the groundwork for future integration into real-time environments such as MWBridge.

Keywords: VVER-1000, primary circuit, ammonia dosing, water chemistry, corrosion control, Matlab Simulink, control system modeling, proportional regulator, nuclear power plant.

Kirish

VVER-1000 reaktori haqida umumiy tushuncha

VVER-1000 turidagi reaktor – AES energoblokining asosiy tarkibiy qismi bo‘lib, unda zanjirli reaksiya sodir bo‘ladi va energiya hosil qilinadi. Reaktor suv-suvli, geterogen, korpus tipida bo‘lib, termal neytronlarda ishlaydi va issiqlik tashuvchi hamda neytron sekinlashtiruvchi sifatida suvdan (bosim ostidagi suv) foydalanadi.

VVER korpuslarini loyihalash va ishlab chiqarishda asosiy maqsad – turli rejimlarda reaktorning ko‘p yillar (30 va undan ortiq) davomida ishonchli ishlashini ta‘minlashdir. Reaktor korpusi juda og‘ir sharoitlarda ishlaydi: issiqlik tashuvchining yuqori bosimi va harorati, kuchli radioaktiv nurlanish oqimlari (0,5 MeV dan katta energiyali tezkor neytronlarning maksimal flyuensi $5,7 \times 10^{19}$ neytron/sm² ni tashkil etadi), issiqlik tashuvchining yuqori oqim tezligi, u juda toza bo‘lsa ham, korroziyaga faol muhit hisoblanadi.[1]

VVER-1000 reaktor qurilmasining asosiy qismlari va tizimlari – texnologik jarayonlarni (ishga tushirish, quvvatga chiqish, quvvatda ishlash, to‘xtatish, sovitish va yoqilg‘ini qayta yuklash) normal amalga oshirishga mo‘ljallangan.

VVER-1000 reaktorining normal ekspluatatsiya uchun asosiy qism va tizimlariga quyidagilar kiradi:

- asosiy sirkulyatsiya konturi va bosim kompensatsiyasi tizimi;
- boshqaruv va himoya tizim;
- nazorat, boshqaruv va diagnostika tizimi;
- radiatsion himoya tizimi;
- issiqlik ajratuvchi elementlar qobig‘ining germetikligini nazorat qilish tizimi;
- diagnostika tizimi;
- yoqilg‘ini yuklash uchun transport-texnologik uskunalar.[2]

Shunday qilib, VVER-1000 – turli tizimlar, qurilmalar va uskunalaridan tashkil topgan murakkab majmuadir. AESning xavfsiz va uzluksiz ishlashi uchun barcha jarayonlarning xususiyatlari va fizik jihatlarini hisobga oluvchi ko‘plab texnologik yechimlar zarur.

Korroziyani kamaytirish maqsadida VVER-1000 tizimlarida ammiak qo‘llaniladi, u vodorod konsentratsiyasiga ta‘sir ko‘rsatadi. Ushbu maqolada ko‘rib chiqilayotgan boshqaruv tizimi SVO-2(rus. , suvni maxsus tozalash) tarkibida joylashgan. Ammiak konsentratsiyasini me‘yor doirasida ushlab turish konstruksion materiallarning korroziya tezligini kamaytirish va korroziya mahsulotlarining issiqlik tashuvchiga tushishini kamaytirish imkonini beradi.[3]

Birinchi kontur suv-kimyotartiboti(SKT).

Birinchi kontur o‘ziga hos taraflaridan biri korroziya mahsulotlari issiqlik ajratuvchi elementlar sirtida jamlanishi bo‘lib, bu nafaqat issiqlik o‘tkazuvchanlikni yomonlashtiradi, balki bu mahsulotlarning aktivlashishiga olib keladi va natijada remont ishlarini qiyinlashtiradi.

Birinchi konturdagi suv-kimyoviy tartib quyidagilarni ta‘minlashi kerak:

1. birinchi kontur konstruksion materiallari korroziya tezligini minimal darajaga tushirish;
2. issiqlik ajratuvchi elementlarda, bug‘ generatorlari issiqlik almashuv yuzalarida va konturdagi boshqa uskunalarda korroziya mahsulotlari cho‘kindilarining bo‘lmasligi (yoki kamaytirilishi);
3. energoblok ishlashi jarayonida issiqlik tashuvchining radioliz mahsulotlari hosil bo‘lishini bostirish;
4. radioaktiv chiqindilar miqdorini minimal darajada ushlab turish;
5. cho‘kindilarning aktiv zona reaktivligiga ta‘sirini minimal darajaga tushirish.

VVER reaktorlarining birinchi konturidagi suv tartibini tashkil etishda muhim omillardan biri bor yordamida nazorat qilishdir. Suyuqlikdagi yutuvchi (bor) aktiv zonadagi issiqlik chiqishining notekisligini kamaytiradi, bu esa aktiv zona o‘lchamlari o‘zgarmagan holda uning quvvatini oshirish

imkonini beradi. Bunda reaktivlikning sust effektlari suvda bir tekis taqsimlangan bor yordamida kompensatsiya qilinadi, tezkor effektlar esa faqat reaktorning boshqaruv va himoya tizimi sterjenlari orqali bartaraf etiladi.[4]

Reaktivlikni rostdash uchun bor kislotasi (H_3BO_3) ishlatiladi, u reaktor sharoitida bir qator afzalliklarga ega:

- reaktor sharoitida kimyoviy jihatdan barqaror;
- suvda yaxshi eriydi;
- reaktor suvining kationlari bilan yaxshi eriydigan birikmalar hosil qiladi.

Ammo bor kislotasining ham kamchiliklari mavjud:

- reaktor suvining pH qiymatini pasaytiradi;
- reaktor suvini xloridlardan tozalashni qiyinlashtiradi;
- suvning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini oshiradi va konstruksion materiallarni passivatsiya qilish uchun kisloroddan foydalanish imkoniyatini yo'q qiladi.

Korreksiyalovchi qo'shimcha sifatida ishlatiladigan ishqorni tanlashda ularning sirkoniy qotishmalariga nisbatan agressivligi hisobga olinadi. Bu xususiyatiga ko'ra ishqorlar quyidagi ketma-ketlikda joylashadi:



Shundan ko'rindiki, ammiak rejimi sirkoniy qotishmalaridan tayyorlangan issiqlik ajratuvchi element qobig'iga nisbatan eng xavfsiz hisoblanadi. Ammo, yuqorida aytib o'tilganidek, ammiak issiqlik tashuvchining pH ko'rsatkichini rostlovchi sifatida bir qator kamchiliklarga ega va yuqori haroratlarda pH ni to'g'rilay olmaydi.[5]

Reaktor quvvatda ishlayotganda va issiqlik tashuvchining harorati yuqori bo'lganda asosiy neytrallovchi modda kaliy gidroksidi (KOH) hisoblanadi. Past haroratlarda esa ammiakning asosiy xossalari kuchayadi va bu issiqlik tashuvchining zarur pH qiymatini qo'shimcha kaliy gidroksidi konsentratsiyasini oshirmasdan ushlab turishga imkon beradi.

VVER-1000 reaktorining birinchi konturidagi suv-kimyoviy tartib (SKT) korreksion hisoblanadi. Korreksiyalovchi qo'shimchalar sifatida issiqlik tashuvchiga quyidagilar kiritiladi: bor kislotasi (H_3BO_3), kaliy gidroksidi (KOH) yoki litiy gidroksidi (LiOH, xorijiy PWR reaktorlarida), ammiak (NH_3), gidrazin-gidrat ($N_2H_4 \cdot 2H_2O$).

Bor, bor kislotasi ko'rinishida, reaktorning reaktivligini yumshoq rostdashda qo'llaniladi. Bor kislotasi radiatsion maydonlarda barqaror, yuqori haroratlarda parchalanmaydi, suvda yaxshi eriydi, shlam va qattiq qoplamalar hosil qilmaydi, ishqorlar mavjudligida korroziya ingibitori sifatida xizmat qiladi.

Bor kislotasining konsentratsiyasi aktiv zonadagi reaktivlik zahirasiga qarab belgilanadi. Bor kislotasi bevosita issiqlik tashuvchiga qo'shilganda pH keskin pasayadi, shuning uchun suv-kimyoviy tartibni ishqoriy qo'shimchalar bilan (masalan, KOH eritmasi kiritish orqali) korreksiya qilish talab etiladi.[1]

Shunday qilib, bosim ostidagi suv bilan ishlaydigan reaktorlarning birinchi konturida ammiak-kaliyli suv-kimyoviy tartiboti va reaktor reaktivligini bor yordamida rostdash qo'llaniladi.

Issiqlik tashuvchining pH qiymatini ushlab turish bilan bir qatorda, ammiak dozalash suvning radioliz jarayonini bostirish uchun ham amalga oshiriladi, bu jarayon quyidagi reaksiya bo'yicha kechadi:



Ammiak harorat va aktivlik ta'sirida parchalanishi natijasida quyidagi reaksiya bo'yicha vodorod ajralib chiqadi:



Ammiak konsentratsiyasini shunday holda saqlab turish kerakki, vodorod konsentratsiyasi $2.2-4.5 \text{ mg/dm}^3$ qiymatlar oralig'ida saqlanib tursin. Ushbu ish maqsadi issiqlik tashuvchida ammiak konsentratsiyasini nazorat qiluvchi TBC-01 regulyatorini modellashirish. Rasm.1. da reagentlar dozalash tizimi soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan.

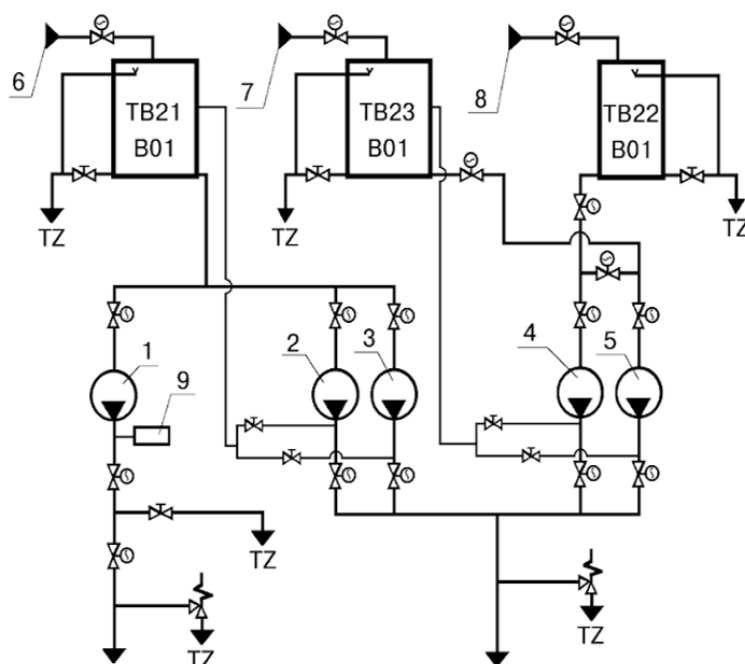


Figure 1. Simplified diagram of the reagent addition system.

Rasm 1. Reagentlar qo'shish tizimi soddalashtirilgan sxemasi.

- 1- TB20D05 ammiak nasos-dozatori
- 2- TB20D04 ammiak nasos-dozatori
- 3- TB20D03 ammiak nasos-dozatori
- 4- TB20D02 KOH va gidrazin nasos-dozatori
- 5- TB20D01 KOH va gidrazin nasos-dozatori

TB20 tizimining asosiy ishlash tartibi kimyoviy reagentlarni (ammiak, kaliy gidroksidi, gidrazin-gidrat) podpitka (qo'shimcha suv beruvchi) nasoslari sathiga uzatishdan iborat.[6]

Ammiak eritmasi TB21B01 bakidan chiqib, TB20D03, 04, 05 nasoslarining umumiy so'ruv kollektoriga TB20S13, 14, 15 armaturalari orqali kiradi. Ishlayotgan TB20D03 yoki TB20D04 nasosi yordamida ammiak eritmasi mos ravishda TB20S18 va TB20S19 bosim armaturalari orqali uzatiladi va TB20D01, 02, 03, 04 nasoslarining umumiy bosim kollektoriga yuboriladi. Shu yerdan eritma TK21, 22, 23D01, 02 nasoslarining so'ruv kollektoriga tushadi.[2]

Agar birinchi konturda ammiak konsentratsiyasini tez oshirish zarur bo'lsa, ammiak eritmasi TB21B01 bakidan TB20D05 nasosi orqali TB20S16 va TB20S17 bosim armaturalari yordamida to'g'ridan-to'g'ri TK21, 22, 23D01, 02 nasoslarining bosim kollektoriga uzatiladi.

TB20D05 belgili nasos-dozator soatiga 25 litrgacha suyuqlik yetkazib beroladi, lekin uni masofadan nazorat qilish imkonsiz. TB20D03 va TB20D04 belgili nasoslar esa soatiga 100 litrgacha suyuqlik yetkazib beroladi va ularning suyuqlik uzatish miqdorini masofadan sozlash mumkin. Biz ayna shu nasos-dozator ishlashini modellashtiramiz.[3]

Materiallar va usullar

Nazorat obykti matematik modeli

Ushbu ishda VVER-1000 reaktorining birinchi kontur issiqlik tashuvchisiga ammiak dozalashni boshqarish tizimining matematik modeli qurildi. Model boshqariluvchi obyekt (nasos-dozator), ijro mexanizmi va regulyatordan iborat. Tenglamalar va o'tkazuvchanlik funksiyalari asosida Matlab Simulink muhitida strukturaviy sxema tuzildi. Tajribalarni o'tkazishda standart bloklardan foydalanildi: Gain, Transfer Fcn, Step, Scope va Mux. Tadqiqotlar turli P-regulyator koeffitsientlari qiymatlarida olib borildi.

O'rganilayotgan nasos-dozator plunjer tipidagi nasos sanaladi. Uning ishlash sxemasi Rasm.2. da keltirildi.[6]

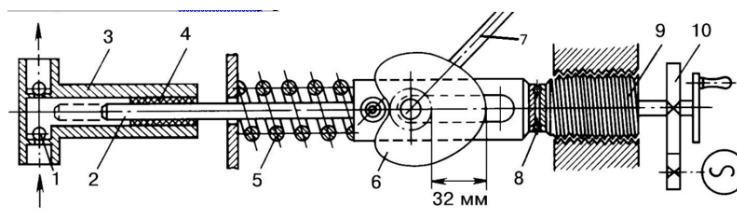


Figure 2. Pump dosing work scheme.

Rasm 2. Nasos dozator ish sxemasi.

Bu yerda

1. Klapan;
2. Plunjer
3. Nasos korpusi
4. Germetiklovchi qism
5. Qaytaruvchi prujina
6. Plunjerni tekis xarakatlantiruvchi
7. Dvigatel bilan bog'lovchi
8. Taqaluvchi podshipnik
9. Sozlovchi qurilma
10. Ijrochi mexanizm

Nasos plunjeri o'ngga harakatlanganda klapan ochiladi, plunjer chapga harakatlanganda esa bu klapan yopilib, ikkinchi klapan plunjer bosimi ta'sirida ochiladi. Suyuqlik harakati yo'nalishi ham rasmda ko'rsatilgan. Qaytaruvchi prujina plunjerni chapga harakatdan keyin ortga qaytishini ta'minlaydi. 6-qism esa plunjerning harakati tezligi bir tekis bo'lishini ta'minlaydi. 9- va 10- qismlar plunjer qadamini belgilaydi, plunjer qadamini kattalashtirish yoki kichiklashtirish orqali vaqt birligida yuboriladigan suyuqlik miqdorini belgilash mumkin. Aynan shu mexanizm masofadan avtomatik boshqarilishi mumkin. [2,4]

O'tkazuvchi funksiyani topish

Nazorat mexanizmi uchun o'tkazuvchi funksiyani quyidagicha topiladi.

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} = \frac{X_{chiq}(s)}{X_{kir}(s)};$$

$$k X_{kir}(s) = X_{chiq}(s) (Ts + 1);$$

$$Ts X_{chiq}(s) + X_{chiq}(s) = k X_{kir}(s);$$

$$s \rightarrow \frac{d}{dt}.$$

$$T \frac{d}{dt} X_{chiq}(t) + X_{chiq}(t) = k X_{kir}(t);$$

$$T \left(\frac{X_{chiq}(t + \Delta t) - X_{chiq}(t)}{\Delta t} \right) + X_{chiq}(t) = k X_{kir}(t);$$

$$X_{chiq}(t + \Delta t) - X_{chiq}(t) = \frac{\Delta t}{T} (k X_{kir}(t) - X_{chiq}(t));$$

$$X_{chiq}(t) = \frac{k X_{kir}(t) - \frac{T}{\Delta t} X_{chiq}(t + \Delta t)}{\left(\frac{T}{\Delta t} + 1 \right)} \quad (3)$$

Shu orqali o'tkazuvchi funksiya quyidagicha olindi:

$$W(s) = K_{sm} * \frac{K_{no}}{Ts + 1} \quad (4)$$

K_{sm} - sozlovchi mexanizm koeffitsienti, K_{no} - nazorat obyekti koeffitsienti. Ularning har birini topamiz. Ksm dan boshlaymiz, agar nasosni 100% quvvatda ishlatmoqchi bo'lsak, plunjer qadami 40 mm bo'lishi kerak. Shu orqali:

$$K_{sm} = \frac{4}{100} = 0,04$$

K_{no} koeffitsient tanlash yo'li bilan topildi $K_{no}=1.012$ va T koeffitsient nasos uchun 12 ekanligi nasos hujjatlaridan aniqlandi. Shunda obyekt o'tkazuvchi funksiyasi yakuniy ko'rinishag keladi:

$$W(s) = 0,04 * \frac{1,012}{12s + 1} \quad (5)$$

O'tkazuvchi funksiya yordamida nazorat obyektini Simulinkda modellashtira olamiz.

Matlab Simulink muhitida ishlash

Simulink – bu Matlab muhitidagi paket sanaladi.

Simulink paketi laboratoriya ishlarini, kurs ishlari va kurs loyihalarini, bitiruv malakaviy ishlarini bajarishda, shuningdek, ilmiy tadqiqotlar olib borishda turli tizimlarning hisob-kitoblari, funksional va imitatsion modellashtirishini amalga oshirish uchun qo'llanilishi mumkin.[7]

Vizual dasturlash tamoyiliga asoslangan holda, Simulink paketi turli kutubxonalarga joylashtirilgan standart bloklardan foydalanib modellar yaratish, shuningdek, turli hisob-kitoblarni bajarish imkonini beradi. [7]

Modellashtirish jarayonida foydalanuvchi differensial tenglamalarni yechish usulini, modellashtirish vaqtining o'zgarish tartibini (doimiy yoki o'zgaruvchan qadam bilan) tanlash, shuningdek, tizimda kechayotgan jarayonlarni kuzatish imkoniyatiga ega bo'ladi. Modellashtirish natijalari turli qabul qiluvchilarga raqamli qiymatlar, grafiklar yoki jadvallar ko'rinishida chiqarilishi mumkin. [7]

Simulink paketi boshqaruv va aloqa tizimlari, raqamli qurilmalar, elektrotexnika hamda energetika qurilmalarining funksional modellarini yaratish uchun zarur bo'lgan bloklar kutubxonalarining to'liq majmuasini o'z ichiga oladi. Shu bilan birga, u kutubxona bloklarini o'zgartirish yoki foydalanuvchi tomonidan yaratilgan yangi bloklarni qo'shish imkonini ham beradi. [7]

Simulink muhiti signallar bilan ishlash uchun qulay. Biz kiruvchi signal sifatida turli xildagi, xususan Step, sinus yoki kosinus qonuniga bo'ysunuvchi signallar berishimiz va tizim bu signallarni qayta ishlashini kuzatishimiz – simulyatsiya qilishimiz mumkin. Bu biron tizimni qurishdan avval uning qanday ishlashini tekshirish uchun juda qulay va ortiqcha harajatlar oldini oladi. Chunki tizimda nosozlik bo'lsa uni avvaldan aniqlash va bartaraf etish mumkin. Muhitga har bir obyektini, masalan, hozirgi holatda nasos-dozator hamda bajaruvchi mexanizmini alohida bloklar sifatida qo'shishimiz mumkin. Shuning uchun avvalroq har bir qism o'tkazuvchi funksiyasini aniqlab oldik.

Murakkabroq tizimlarda teskari aloqani ham modellashtirish mumkin. Misol uchun, yopiq hajmdagi bosimni nazorat qilishda bosimni o'lchovchi datchik ko'rsatkichi muhim ahamiyatga ega. Agar bizga biron bosim qiymatini saqlanishini istasak, ayni vaqtdagi bosim qiymatini tizim boshlang'ich qiymat sifatida qabul qilishi va signalni qayta ishlashi zarur. Bu jarayonlar Simulink muhitida teskari aloqa deb nomlanadi.

Ushbu ish davomida kirish signali sifatida Step dan foydalandik, chunki operator sekundiga suyuqlik uzatish miqdorini beradi holos. Va simulyatsiyadan maqsad tanlash yo'li orqali nasos-dozator o'tkazuvchi funksiyasi, bajaruvchi mexanizm o'tkazuvchi funksiyasi orqali mos bloklarni bog'lash va tizimdan o'tgan da signal o'zini qanday tutishini kuzatish.

Amaliy jihatdan biz Step orqali signal berganimizda vaqt birligida qancha miqdorda ammiak dozalanishini kiritamiz. Tizimdan chiqishdagi signal kirish signaliga teng bo'lishini ta'minlasak nasos-dozatorning operator belgilagan miqdorda ammiakni dozalashiga erishgan bo'lamiz. Buning uchun tizimga regulyator o'rnatilishi zarur.

Regulyatorlarning bir nechta turlari bor: P, PD, I, PI, PID. Regulyator nomlaridagi P – proporsional, I – integral, D – differensial. Proporsional regulyator signalni proporsionallik

koeffitsienti marta oshiradi, integral regulyator signalni integrallaydi va differensial regulyator signalni differensiallaydi. Bir nechta regulyatorni kombinatsiya qilib murakkabroq regulyatorlarni hosil qilish mumkin. Bunga PID regulyatorni misol qilib ko'rsatish mumkin. Simulinkda har bir regulyator uchun mos blok mavjud.

Ushbu ish davomida tizimni modellashtirishimiz va chiqish signalini kuzatgan holda biz uchun zarur regulyator tipini tanlashimiz hamda regulyatorning xos parametrlarini aniqlashimiz zarur. Chiquvchi signalni Scope bloki orqali kuzatish mumkin. Sozlash orqali bir grafikning o'zida ham boshlang'ich, ham chiquvchi signalni tasvirlashga erishishimiz, bunda tashqari bir vaqtda bir nechta liniyalar orali bir nechta regulyatorlar qayta ishlagan signallarni turli ranglarda bir grafikda kuzatish ham mumkin.

Nasos suyuqlik uzatish tezligini operator suv sarfiga ko'ra belgilaydi, ammiak konsentratsiyasini aniqlovchi datchiklar hozircha ommaviy mavjud emas. Bu degani sxemada teskari aloqa mavjud emas. Simulinkda qurilmamizga mos sxema Rasm.3. kabi ko'rinishda bo'ldi:

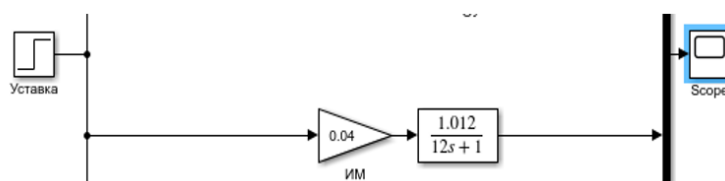


Figure 3. Initial scheme.

Rasm 3. Boshlang'ich sxema.

Rasm.3 da faqat bajaruvchi mexanizm va nasos-dozator bloklaridan o'tgan signalni kuzatish uchun sxema yig'ildi. Scopeni kuzatish orqali signal regulyatorsiz o'zini qanday tutishini kuzatishimiz mumkin. Shunga ko'ra keyinchalik mos regulyator tipini tanlashimiz mumkin.

Sxema bo'yicha Scope quyidagi(Rasm.44.) grafikni ko'rsatdi:

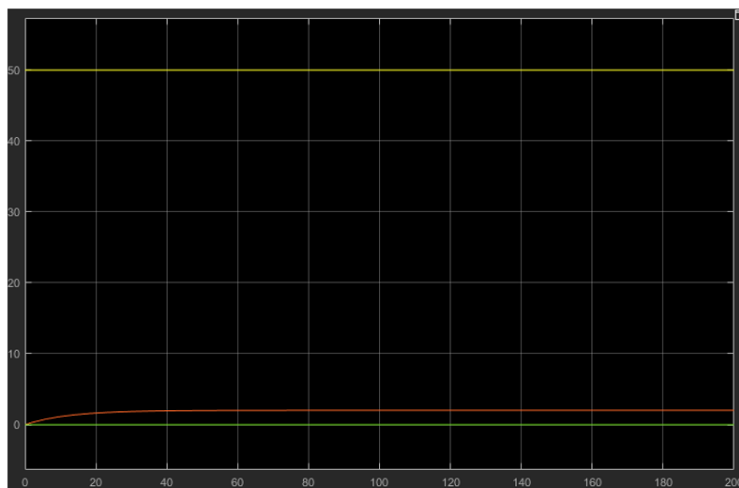


Figure 4. Initial circuit output.

Rasm 4. Boshlang'ich sxema chiqishi.

Rasm.4 da sariq rang bilan Step orqali yuborilgan kirish signali va qizil rang bilan tizimdan o'tgan signal tasvirlangan. Ko'rish mumkinki, tizimdan o'tgach signal amplitudasi ko'p marta kamaymoqda. Bundan shuni xulosa qilish mumkinki, bizga signalni regulyatsiya qilish uchun proporsional regulyator albatta zarur bo'ladi. Boshqa tip regulyatorlar zarur bo'lish yoki bo'lmasligini ularni qo'shib kuzatish mumkin.

Natijalar

Grafikda sariq chiziq - kutilayotgan signal, qizil chiziq esa hozirda kuzatilayotgan signal. Kutilayotgan natijaga erishish uchun P-regulyator yetarli ekan. Sxemani P-regulyator qo'shgan holda Rasm.5. kabi o'zgartiramiz:

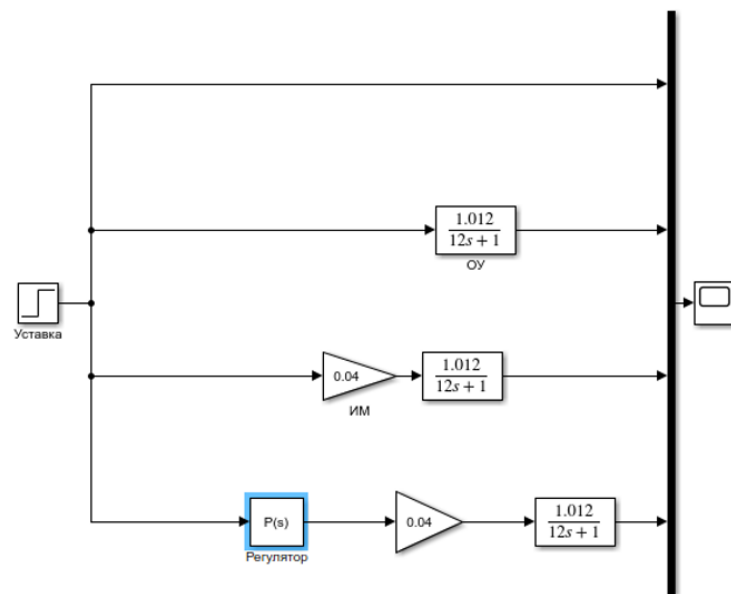


Figure 5. Perfected scheme.

Rasm 5. Mukammallashtirilgan sxema.

Modellashtirish natijalari shuni ko'rsatdiki, boshqariluvchi obyekt o'z-o'zidan barqarorlashish xususiyatiga ega, biroq regulyatorsiz tizim talab etilgan boshqaruv sifatiga erisha olmaydi. Boshqa tip regulyatorlarni qo'shish tizim beqarorlashishiga olib keldi va signalni normallashtirish uchun proporsional regulyator yetarli bo'ldi. Tanlash yo'li bilan signali normallashtirish uchun proporsional P-regulyator koeffitsienti aniqlandi. $K=10$ bo'lganda chiqish signalining sekin o'sishi va ustavkadan sezilarli og'ish kuzatildi. $K=20$ bo'lganda o'tkinchi jarayon tezlashdi, ammo barqarorlashgan qiymat berilgan qiymat bilan mos kelmadi. Optimal qiymat $K=24,7$ da kuzatildi, bunda tizim 60 soniya ichida ustavkaga chiqdi va statik xatosiz ishladi. Ushbu natijalar modelning to'g'riligini hamda P-regulyatordan foydalanish zarurligini tasdiqlaydi.

Shunda Scope orqali quyidagi(Rasm.6.) grafikni oldik:

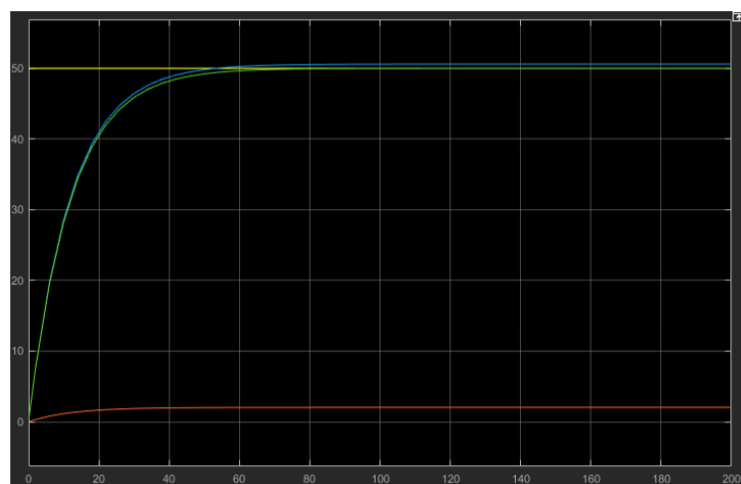


Figure 6. Updated scheme.

Rasm 6. Yangilangan sxema.

Bu yerda qizil - avvalgi sxemadagi signal, yashil bilan P-regulyator qo'shganimizdan keyingi signal.

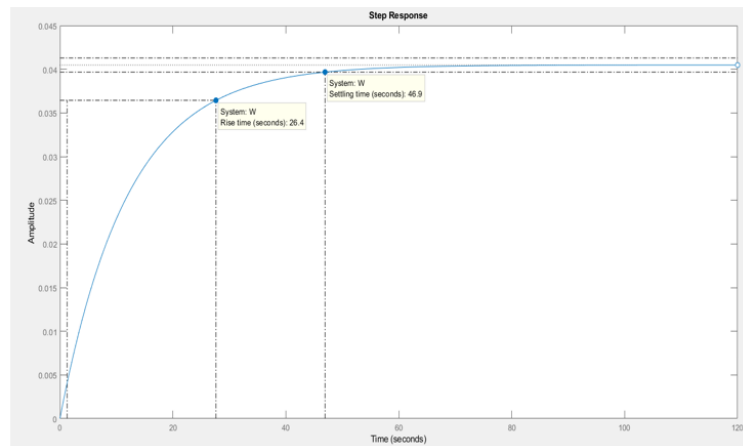


Figure 7. Step Response.

Rasm 7. Step Response.

Rasm.7. dan ko'rish mumkinki, setting time 45.9 s, ya'ni shuncha vaqt ichida kerakli suyuqlik oqimiga erishdik.

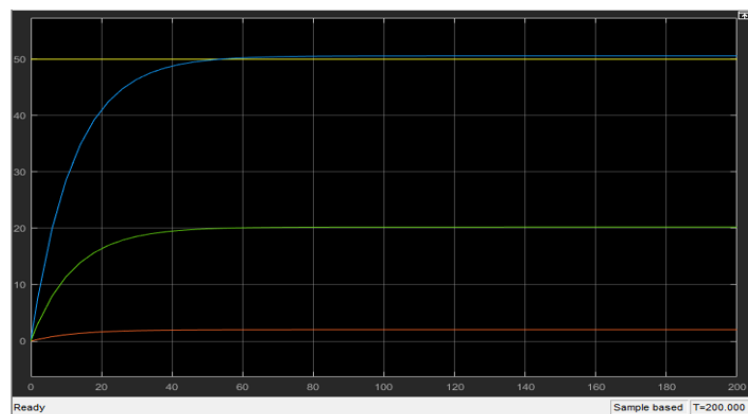


Figure 8. Results obtained at different values of the proportionality coefficient.

Rasm 8. Proporsionallik koeffitsientining turli qiymatlarida olingan natijalar.

Rasm.8. dagi yashil va ko'k chiziqlar mos holda koeffitsientning 20 va 27 qiymatlaridagi natijalar. Shu kabi tanlashlar orqali optimal koeffitsientni topdik: $K_p=24.705$ va kirish signali va chiqish signali moslashishi uchun 60 sekund zarur bo'ldi.

Munozara

Olingan ma'lumotlar boshqaruv tizimining barqarorligi va aniqligini ta'minlashda regulyator parametrlarini to'g'ri tanlash muhimligini ko'rsatadi. Simulink muhitidagi modellash tirish turli omillarning jarayon dinamikasiga ta'sirini o'rganish va tizimni haqiqiy ekspluatatsiya sharoitlariga moslashtirish imkonini beradi. Ishlab chiqilgan model esa kelgusida MWBridge muhitiga integratsiya qilish va uni real vaqt rejimida sinovdan o'tkazish uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Xulosa

Ish jarayonida VVER-1000 reaktorining birinchi kontur issiqlik tashuvchisiga ammiak dozalashni boshqarish tizimi modeli qurildi va o'rganildi. Matlab Simulink muhitida amalga oshirilgan modellash tirish uning samaradorligini tasdiqladi hamda regulyatorning optimal parametrlarini aniqlash imkonini berdi. Olingan natijalar suv-kimyoviy tartibning barqarorligini va atom reaktorlarining xavfsiz ishlashini ta'minlaydigan amaliy yechimlarni ishlab chiqish uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Mualliflarning hissalari

Konseptualizatsiya, X.X.; metodologiya, X.X.; dasturiy ta'minot, X.X.; tasdiqlash, X.X.; rasmiy tahlil, X.X.; tadqiqot, X.X.; resurslar, X.X.; ma'lumotlarni kuratorlik qilish, X.X.; original matnni yozish, X.X.; yozish va tahrirlash, X.X.; vizualizatsiya, X.X.; rahbarlik, X.X.; loyiha boshqaruvi, X.X. Barcha mualliflar nashr qilingan qo'lyozma versiyasi bilan tanish va u bilan rozi.

Authors' contribution

Conceptualization, X.X.; methodology, X.X.; software, X.X.; validation, X.X.; formal analysis, X.X.; investigation, X.X.; resources, X.X.; data curation, X.X.; writing—original draft preparation, X.X.; writing—review and editing, X.X.; visualization, X.X.; supervision, X.X.; project administration, X.X. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Moliyalashtirish

Ushbu tadqiqot uchun tashqi moliyalashtirish ajratilmagan.

Funding source

No external funding was received for this study.

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Ushbu tadqiqotda insonlar yoki hayvonlar ishtirok etmagan. Shu sababli etik ko'rib chiqish va tasdiqlash talab etilmadi.

Ethics approval

This study did not involve human participants or animals; therefore, ethical review and approval were not required.

Nashrga xabardor qilingan rozilik

Ushbu tadqiqotda inson ishtirokchilari ishtirok etmagan. Shu sababli nashrga xabardor qilingan rozilik talab etilmadi.

Consent for publication

This study did not involve human participants; therefore, informed consent for publication was not required.

Ma'lumotlar mavjudligi to'g'risidagi bayonot

Ushbu tadqiqot davomida yangi ma'lumotlar to'plami yaratilmagan. Tadqiqot natijalarini tasdiqlovchi ma'lumotlar muallifdan asoslangan so'rov asosida olinishi mumkin.

Data Availability Statement

No new datasets were generated during this study. The data supporting the findings of this research are available from the corresponding author upon reasonable request.

Rahmatnomalar

Muallif tadqiqot jarayonida maslahat va muhokamalar uchun Yadro fizikasi va astronomiya kafedrası (Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti) jamoasiga minnatdorlik bildiradi.

Acknowledgments

The author expresses gratitude to the staff of the Department of Nuclear Physics and Astronomy (Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan) for their advice and discussions during the course of the research.

Qisqartmalar

AES	Atom elektr stansiyasi
VVER-1000	Suv-suv tipidagi energetik reaktor
SKT	Suv-kimyo tartiboti
SVO-2	suvni maxsus tozalash

Adabiyot

- [1] B. M. Roshchektaev. Water-Chemical Regime of Nuclear Power Plants with VVER-1000 and RBMK-1000 Reactors. National Research Nuclear University "MEPhI", 2010, 132 p.

- [2] B. M. Larin, E. N. Bushuev. Fundamentals of Mathematical Modeling of Chemical–Technological Processes for Coolant Treatment at Thermal and Nuclear Power Plants. Moscow: MEI Publishing House, 2016, 310 p.
- [3] V. Zverkov. Automated Control System for Technological Processes at Nuclear Power Plants. Moscow: National Research Nuclear University “MEPhI”, 2013, 558 p.
- [4] V. P. Denisov, Yu. G. Dragunov. VVER Reactor Installations for Nuclear Power Plants. 2002, 480 p.
- [5] I. Ya. Emelyanov, V. I. Mikhan, V. I. Solonin. Design of Nuclear Reactors. 1982, 400 p.
- [6] V. Aksenov, S. Batrakov, V. Vasilenko. Automated Systems for Technological Process Control at Nuclear Power Plants. Moscow: Polytechnic University Publishing House, 2007, 309 p.
- [7] A. I. Gerasimov, V. V. Regeda, O. N. Regeda. Modeling in the MATLAB–Simulink Environment. Penza: PSU Publishing House, 2017, 106 p.

Nashriyot javobgar emas/ eslatmasi:

Barcha nashrlarda keltirilgan bayonotlar, fikrlar va ma'lumotlar faqat mualliflar va ishtirokchilarga tegishlidir, na Jurnal va na muharrirlar. Jurnal va muharrirlar, mazkur kontentda keltirilgan har qanday g'oyalar, usullar, ko'rsatmalar yoki mahsulotlar natijasida insonlar yoki mulkka yetkazilgan har qanday zarar uchun javobgar emas.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.