KASR TARTIBLI NORAVSHAN INTELLEKTUAL ROSTLAGICHNI DIAGNOSTIK KO‘RSATGICHLARI.

Sodiqov Baxtiyor Qahhor o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti
E-mail: sodbaxtiyor@yandex.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada kasr tartibli noravshan PID rostlagichlarning diagnostik ko‘rsatkichlari tahlil qilingan. Tadqiqotning asosiy maqsadi – turli integral mezonlar yordamida (ITAE, IAE, ISTE, ITSE) intellektual rostlagichlarning ishlash sifatini aniqlash va ularni klassik PID hamda oddiy kasr tartibli PID rostlagich bilan taqqoslashdir. Model MATLAB/Simulink muhitida qurilib, tizimning vaqt bo‘yicha javoblari, o‘tkinchi jarayonlar va barqarorlashish holatlari baholandi. ITAE (Mutloq xatolikning vaqtga bog‘liq integrali) tizimning o‘tkinchi xatolarini vaqt og‘irlikli baholaydi, IAE (mutloq xatolikning integrali) umumiy xatolik darajasini ko‘rsatadi, ISTE (Mutloq xatolikning kvadrati integrali) vaqtga sezuvchan barqarorlikni aniqlaydi, ITSE (xatolikning kvadratini vaqtga bog‘liq integrali esa o‘tkinchi jarayon yaxshilanishini ifodalaydi. Natijalar kasr tartibli noravshan PID rostlagichning aniqligi, barqarorligi va adaptiv javob tezligining yuqoriligi bilan ajralib turishini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Rostlagich, kasr tartibli amallar, diagnostic ko‘rsatgichlar, mutloq xatolik, integral ko‘rsatgichlar.

Аннотация. В данной статье проведён анализ диагностических показателей дробного нечеткого ПИД-регулятора. Основная цель исследования заключается в определении качества работы интеллектуальных регуляторов с использованием различных интегральных критериев (ITAE, IAE, ISTE, ITSE) и сравнении их с классическим ПИД-регулятором и обычным дробным ПИД-регулятором. Модель была разработана в среде MATLAB/Simulink, где оценивались временные характеристики системы, переходные процессы и состояния устойчивости. ITAE (интеграл абсолютной ошибки, взвешенной по времени) оценивает переходные ошибки с учетом влияния времени; IAE (интеграл абсолютной ошибки) показывает общий уровень ошибки; ISTE (интеграл квадрата ошибки во времени) определяет чувствительность системы к устойчивости; ITSE (интеграл квадрата ошибки, взвешенной по времени) характеризует улучшение переходного процесса. Результаты показали, что дробный нечеткий ПИД-регулятор отличается более высокой точностью, устойчивостью и скоростью адаптивного отклика.

Ключевые слова: Регулятор, дробные операции, диагностические показатели, абсолютная ошибка, интегральные критерии.

Abstract. This article analyzes the diagnostic indicators of fractional-order fuzzy PID controllers. The main objective of the study is to evaluate the performance

ISSN 3030-3907

quality of intelligent controllers using various integral criteria (ITAE, IAE, ISTE, ITSE) and to compare them with the classical PID and the conventional fractional-order PID controllers. The model was developed in the MATLAB/Simulink environment, where the system's time responses, transient processes, and steady-state behaviors were evaluated. ITAE (Integral of Time-weighted Absolute Error) assesses transient errors with respect to time, IAE (Integral of Absolute Error) shows the overall error magnitude, ISTE (Integral of Squared Time Error) determines the time-sensitive stability of the system, while ITSE (Integral of Time-weighted Squared Error) reflects the improvement of the transient process. The results demonstrated that the fractional-order fuzzy PID controller is distinguished by its higher accuracy, stability, and adaptive response speed.

Keywords: Controller, fractional operations, diagnostic indicators, absolute error, integral criteria.

Kirish

So‘nggi yillarda boshqaruv tizimlari nazariyasida kasr tartibli va noravshan mantiq asosidagi intellektual rostlagichlarni qo‘llashga bo‘lgan qiziqish ortib bormoqda. An’anaviy PID rostlagichlar ko‘plab sanoat jarayonlarida samarali ishlatilayotgan bo‘lsa-da, ularning noaniqliklar, nochiziqlilik va tashqi buzilishlarga nisbatan moslashuvchanligi cheklangan. Shu sababli, kasr tartibli hisoblash va noravshan mantiq tamoyillarini birlashtirgan kasr tartibli noravshan PID rostlagichlar nazariyasi shakllanmoqda. Ushbu yondashuv tizim dinamikasini yanada aniqroq modellashtirish, moslashuvchanlikni oshirish hamda optimal boshqaruv sifatini ta’minlash imkonini beradi. Mazkur tadqiqotda kasr tartibli noravshan PID rostlagichlarning diagnostik ko‘rsatkichlari ITAE, IAE, ISTE va ITSE integral mezonlari yordamida tahlil qilinadi. Bu mezonlar tizimning o‘tkinchi jarayonlari, rostlash vaqti hamda umumiy aniqlik darajasini baholashga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari intellektual rostlagichlarning aniqlik, barqarorlik va adaptiv javob tezligi bo‘yicha ustunligini asoslab beradi hamda ularni real sanoat boshqaruv tizimlariga tatbiq etish istiqbolini ochib beradi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Kasr tartibli rostlagichlarga doir zamonaviy adabiyotlarni tahlil qilib, A. Maurya, M.Bongulvar va hammualliflari tomonidan yozilgan “Tuning of fractional order PID controller for higher order process based on ITAE minimization” nomli maqolada yuqori tartibli jarayonlar uchun kasr tartibli PID rostlagichning optimal sozlanishi ITAE mezoniga asoslanib tahlil qilingan. Mualliflar genetik algoritm yordamida kasr tartibli PID parametrlarini optimallashtirib, tizimning o‘tkinchi jarayon va barqarorlashish xatoliklarini kamaytirish orqali boshqaruv sifatini sezilarli yaxshilashga erishgan. [1]

ISSN 3030-3907

Yana bir diqqatga sazovor tadqiqot I. Batiha va hamkorlari tomonidan yozilgan “Design Fractional-order PID Controllers for Single-Joint Robot Arm Model” nomli maqolada taqdim etilgan bo‘lib maqolada yuqori tartibli tizimlar uchun kasr tartibli PID rostlagichni optimallashtirish usuli taklif etilgan. Mualliflar ITAE mezonini tanlab, boshqaruv sifatini baholashda asosiy ko‘rsatkich sifatida qo‘llashgan. Intellektual rostlagichning parametrlarini tanlash va xatolikni minimallashtirish uchun genetik algoritm (GA) ishlatilgan. GA yordamida ITAE qiymati kamaytirilgan va optimal rostlagich parametrlariga erishilgan. Simulyatsiya natijalari taklif etilgan usulning samaradorligini, ya’ni tizimning o‘tkinchi jarayonini silliqlashtirish, xatolikni kamaytirish va barqarorlikni oshirish imkonini berganini ko‘rsatadi. Bu yondashuv kasr tartibli boshqaruv tizimlarida an’anaviy PID dan ustun natijalarni beradi. [2]

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ushbu maqolada ushbu ilmiy natijalari amaliy sharoitda qo‘llashga moslashtirilgan metodologiya taklif qilinadi. Maqolada differensial tenglamalar yordamida matematik model tuzish, ma’lumotlarni qayta ishlash, imitatsion modellashtirish va zamonaviy avtomatik boshqarish nazariyasining sinovdan o‘tgan usullari kabi tadqiqot metodlaridan foydalaniladi. Matematik modellash jarayonining natijalarini Matlab dasturiy muhitida simulyatsiya qilib tekshiriladi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Hozirgi zamon avtomatik boshqaruv tizimlarida, xususan intellektual kasr tartibli rostlagichlar yaratilish jarayonida, ularning samaradorligini baholash va amaliy obyektlarga mosligini aniqlash muhim ahamiyatga ega. Buning uchun turli ishlash sifat ko‘rsatkichlaridan foydalanish talab etiladi. Ayniqsa, vaqtga bog‘liq mutloq xatolik integrali (ITAE), vaqt bilan og‘irliklangan kvadratik xatolik integrali (ITSE - Integral of Time-weighted Squared Error), mutloq xatolik integrali (IAE - Integral of Absolute Error) hamda kvadratik xatolik integrali (ISE - Integral Squared Error) kabi mezonlar eng ishonchli va samarali statistik baholash ko‘rsatkichlari sifatida keng qo‘llaniladi. Ushbu mezonlar tizimning aniqligi, barqarorligi va o‘tkinchi jarayon sifatini kompleks baholash imkonini beradi. [3-5].

Kasr tartibli noravshan PID rostlagich uchun birinchi muhim ko‘rsatkich bu - mutloq xatolikning integrali (IAE) xatolik signalining butun vaqt oralig‘ida mutlaq qiymatlarini integrallash orqali hisoblanadi. Uning formulasi esa quyidagicha:

$$IAE = \int_0^\infty |e(t)|dt \qquad (1)$$

Ikkinchi muhim ko‘rsatgich bu - vaqtga bog‘liq mutloq xatolikning integrali (ITAE), vaqt bo‘yicha mutlaq xatolik ko‘rsatkichi bo‘lib, vaqt o‘tgan sayin

ISSN 3030-3907

xatolikning ahamiyati ortishini hisobga oladi. Bunda vaqt bilan ko‘paytirilgan mutlaq xatolik integrallanadi Ushbu ko‘rsatgich formulasi esa quyidagicha:

$$ITAE = \int_0^\infty t \cdot |e(t)| dt \quad (2)$$

Uchinchi muhim ko‘rsatgich bu - vaqtga bog‘liq bo‘lgan kvadratik xatolik integrali (ITSE) esa vaqt bilan bog‘liq xatolik kvadrati integrali bo‘lib, ayniqsa katta xatoliklar uchun sezgirlikni oshiradi.[6-7] U xatolik qiymatini kvadrat shaklida baholagani uchun, rostlagichning katta xatoliklar paytida qanday javob berishini aniqlashda muhim vositadir..

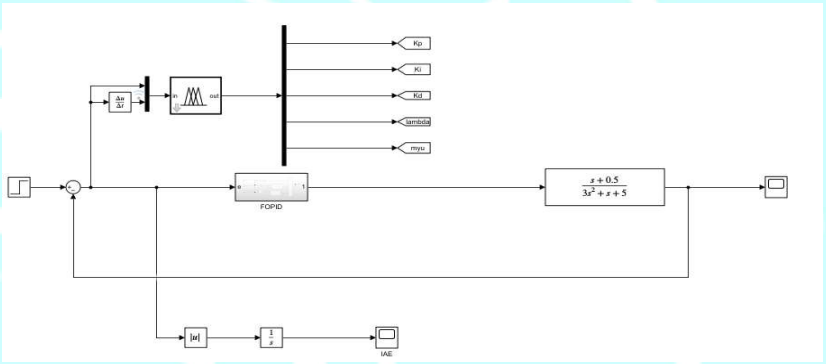
$$ITSE = \int_0^\infty t \cdot e^2(t) dt \quad (3)$$

Avtomatik boshqaruv tizimlarining ishlash sifatini aniqlashda muhim mezonlardan biri — kvadratik xatolik integrali (ISE) hisoblanadi. Ushbu ko‘rsatkich tizimning umumiy samaradorligini baholashda keng qo‘llaniladi va u xatolik signalining kvadrat qiymatini vaqt o‘qida integrallash natijasida aniqlanadi. Shu tariqa, ISE mezoni tizimning aniqlik darajasi va barqarorlik xususiyatlarini matematik jihatdan ifodalash imkonini beradi. Uning formulasi:

$$ISE = \int_0^\infty e^2(t) dt \quad (4)$$

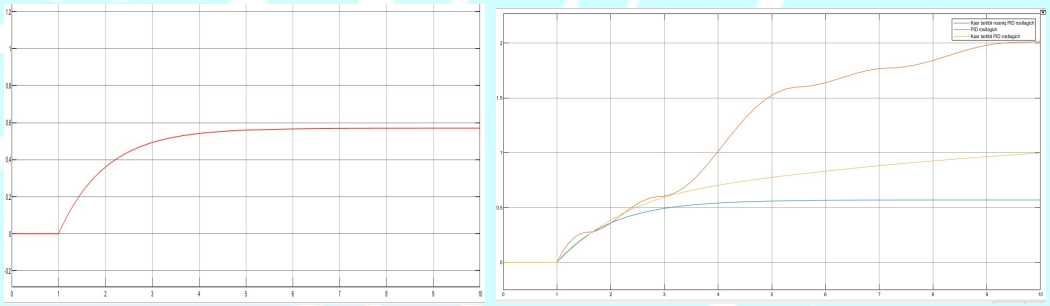
Bu yerda e(t) – tizimning xatoligi. Ushbu ko‘rsatkichlar, ayniqsa ilmiy tadqiqotlarda, intellektual rostlagichlarning samaradorligini boshqa turdagi boshqaruv algoritmlari bilan nazariy va eksperimental jihatdan solishtirish imkonini beradi. Statistik mezonlarga asoslangan baholash natijalari yuqori darajada ishonchli, takrorlanuvchan hamda matematik asosga ega bo‘ladi. Bu esa olib borilgan tadqiqotlarning ilmiy ahamiyatini oshiradi va ularni amaliy boshqaruv tizimlariga joriy etish imkoniyatlarini kengaytiradi. Keyingi bosqichda ishlab chiqilgan rostlagichning yuqorida bayon etilgan diagnostik ko‘rsatkichlari aniqlanadi va ularning samaradorligi baholanadi. To‘rtta asosiy sifat mezoni MATLAB dasturining Simulink muhitida aniqlanadi. Dastlab, mutloq xatolikning integrali (IAE — Integral of Absolute Error) ko‘rsatkichini hisoblash amalga oshiriladi. Buning uchun Simulink paketida modul funksiyasini bajaruvchi ABS bloki va vaqt bo‘yicha integrallovchi Integrator bloklaridan foydalaniladi. Shu asosda tizimning umumiy xatolik darajasi matematik tarzda baholanadi.

ISSN 3030-3907



1 – rasm. Taklif etilgan intellektual rostlagichning IAE ko‘rsatgichini aniqlash sxemasi.

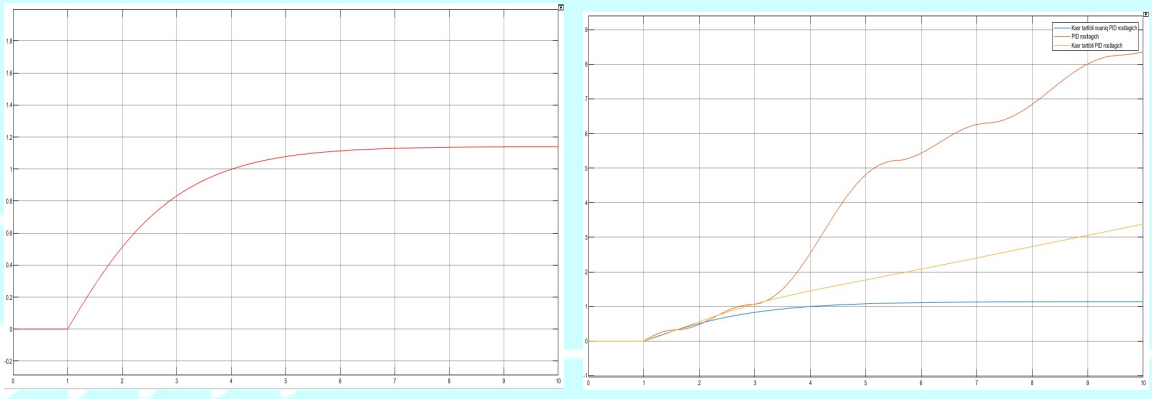
Mutloq xatolikning integrali deb nomlangan ko‘rsatgich quyidagicha natijani ko‘rsatdi.



a) **b)**

2. – rasm. Taklif etilgan intellektual rostlagichning mutloq xatolik integrali ko‘rsatgichining grafigi (a) va uning boshqa rostlagichlarning ushbu indikatori bilan solishtirilgani (b)

Ikkinchi bosqichda tizimning vaqtga bog‘liq mutloq xatolik integrali (ITAE — Integral of Time-weighted Absolute Error) ko‘rsatkichi MATLAB/Simulink muhitida aniqlanadi. Ushbu indikatorni hisoblash jarayonida ABS, Product, Clock va Integrator funksional bloklaridan foydalaniladi. Xatolik signali tarmog‘i Clock blokidan olinayotgan vaqt signali bilan Product bloki orqali ko‘paytiriladi. So‘ngra hosil bo‘lgan signal Integrator bloki yordamida integrallab chiqiladi. Shu tarzda tizimning vaqt bo‘yicha og‘irliklangan xatolik qiymati aniqlanadi. Olingan natijalar 3-rasmda grafik ko‘rinishda keltirilgan bo‘lib, ular tizimning o‘tkinchi jarayonidagi xatoliklarning vaqtga bog‘liqligini tahlil qilish imkonini beradi.

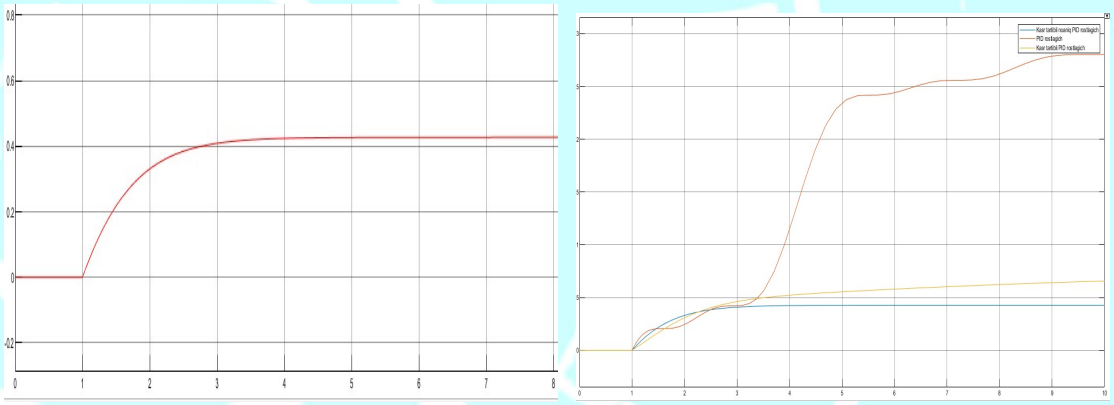


a) **b)**

ISSN 3030-3907

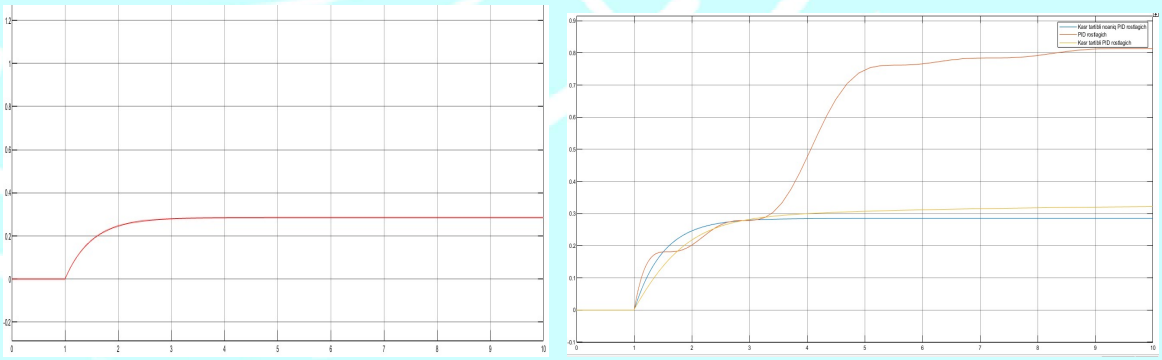
3 – rasm. Taklif etilgan intellektual rostlagichning vaqt bo‘yicha mutloq xatolik integrali ko‘rsatgichining grafigi (a) va uning boshqa rostlagichlarning ushbu indikatori bilan solishtirilgani (b)

Endi uchinchi va to’rtinchi ishlash ko‘rsatgichlarini ya’ni vaqt bo‘yicha kvardatik xatolik integrali va kvadratik xatolik integrali ko‘rsatgichlarini ham MATLAB dasturida aniqlaymiz.



a) **b)**

4 – rasm. Taklif etilgan intellektual rostlagichning vaqt bo‘yicha kvadratik xatolik integrali ko‘rsatgichining grafigi (a) va uning boshqa rostlagichlarning ushbu indikatori bilan solishtirilgani (b)



a) **b)**

5 – rasm. Taklif etilgan intellektual rostlagichning kvadratik xatolik integrali ko‘rsatgichining grafigi (a) va uning boshqa rostlagichlarning ushbu indikatori bilan solishtirilgani (b)

Intellektual rostlagich ishlash ko‘rsatgichlarining taqqoslanish natijalari pastdagi jadvalda keltirilgan.

2.1 – jadval.

Rostlagich turi	*IAE*	*ISE*	*ITAE*	*ITSE*
Oddiy PID rostlagich	15.3	8.7	25.6	12.1
Kasr tartibli PID rostlagich	10.2	5.5	17.8	8.4
Kasr tartibli noravshan PID rostlagich	5.3	3.9	9.2	4.7

Yuqoridagi jadval tahlili shuni ko‘rsatadiki, IAE, ISE, ITAE va ITSE ko‘rsatkichlari simulyatsiya boshlangan ondan to yakuniy vaqtgacha bo‘lgan davr oralig‘ida xatoliklarning integral yig‘indisini ifodalaydi. Natijalardan ko‘rinib

ISSN 3030-3907

turibdiki, kasr tartibli noravshan PID rostlagich boshqa turlarga nisbatan eng kichik xatolik qiymatlariga ega. Bu holat rostlagichning tizimdagi og‘ishlarni tezda aniqlab, optimal boshqaruv ta’sirini shakllantirish qobiliyatini namoyon etadi. Ayniqsa, ITAE va ITSE qiymatlarining pastligi tizimning o‘tkinchi jarayonni kam energiya sarfi bilan barqaror holatga olib kelishini anglatadi. Noravshan mantiqqa asoslangan ushbu rostlagich an’anaviy qat’iy koeffitsiyentlardan farqli ravishda, jarayon holatiga mos ravishda o‘z parametrlarini moslashtiradi. Bu esa murakkab, kechikmali yoki gibrid dinamikaga ega tizimlarni samarali boshqarish imkonini beradi. Shuningdek, kasr tartibli integrator va differensiatorlarning qo‘llanilishi tizim modelining aniqligini oshiradi hamda tebranishlarga nisbatan barqarorligini kuchaytiradi.

XULOSA

Tadqiqot natijalari kasr tartibli noravshan PID rostlagichlarning samaradorligini an’anaviy boshqaruv usullari bilan solishtirganda yuqori ekanligini ko‘rsatdi. IAE, ISE, ITAE va ITSE integral ko‘rsatkichlari bo‘yicha olingan natijalar kasr tartibli noravshan PID rostlagich tizim xatoliklarini tezroq kamaytirishini va barqaror holatga qisqa vaqt ichida yetishini isbotladi. Noravshan mantiq asosidagi adaptiv tuzilma tizimning o‘zgaruvchan parametrlariga moslashadi, kasr tartibli integrator va differensiatorlar esa modelning aniqligi hamda tebranishlarga nisbatan barqarorlikni ta’minlaydi. Shu sababli, kasr tartibli noravshan PID rostlagich rostlagich murakkab dinamik tizimlar uchun istiqbolli boshqaruv yechimidir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO’YXATI

1. Maurya, A. K., Bongulwar, M. R., & Patre, B. M. (2015, December). Tuning of fractional order PID controller for higher order process based on ITAE minimization. In 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON) (pp. 1-5). IEEE.
2. Batiha, I. M., Njadat, S. A., Batyha, R. M., Zraiqat, A., Dababneh, A., & Momani, S. (2022). Design fractional-order PID controllers for single-joint robot arm model. Int. J. Adv. Soft Comput. Appl, 14(2), 96-114.
3. Huang, R., Zavala, V. M., & Biegler, L. T. (2009). Advanced step nonlinear model predictive control for air separation units. Journal of Process Control, 19(4), 678-685.
4. Dias, L. S., Pattison, R. C., Tsay, C., Baldea, M., & Ierapetritou, M. G. (2018). A simulation-based optimization framework for integrating scheduling and model predictive control, and its application to air separation units. Computers & Chemical Engineering, 113, 139-151.
5. Cao, Y., Swartz, C. L., & Baldea, M. (2011, June). Design for dynamic performance: Application to an air separation unit. In Proceedings of the 2011

ISSN 3030-3907

American Control Conference (pp. 2683-2688). IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document /5990942

6. Botirov, T. V., & Sodiqov, B. Q. (2023). Use of intellectual regulators in the production of polyvinyl chloride. Journal of Advances in Engineering Technology, (4), 31-35.

7. Vassilyev, S. N., Kudinov, Y. I., Pashchenko, F. F., Durgaryan, I. S., Kelina, A. Y., Kudinov, I. Y., & Pashchenko, A. F. (2020). Intelligent control systems and fuzzy controllers. II. trained fuzzy controllers, fuzzy PID controllers. Automation and remote control, 81(5), 922-934.

ISSN 3030-3907