



РЕКТИФИКАЦИОН КОЛОННАНИ НОҚАТ'ИЙ МАНТИҚ ВА PID ROSTLAGICH ASOSIDA INTELLEKTUAL BOSHQARISH

Charos Daniyarova [0009-0008-3777-0726]

Toshkent kimyo-texnologiya institute, Tayanch doktorant

E-mail: borkinovakamolaxon@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ishda rektifikatsion kolonnani boshqarishda PID rostlagich va noqat'iy mantiqni birgalikda qo'llash imkoniyati o'rganildi. Tadqiqotdan ko'zlangan maqsad xatolik hamda uning o'zgarishiga qarab boshqaruv signalini tuzatadigan noqat'iy modelni ishlab chiqish va uni oddiy PID rostlagich bilan taqqoslashdan iborat. Obyekt ikkinchi tartibli uzatish funksiyasi ko'rinishida olindi, modellashirish esa MATLAB/Simulink muhitida 300s davomida bajarildi. Tizimlar o'rnatilish vaqti, maksimal oshib ketish, statik xatolik va barqarorlashish vaqti bo'yicha baholandi. Hisoblash natijalarida noqat'iy-PID boshqaruv o'rnatilish vaqtini 45s dan 28s gacha, maksimal oshib ketishni 14 % dan 4 % gacha, statik xatolikni 1,8 % dan 0,3 % gacha va barqarorlashish vaqtini 52s dan 31s gacha kamaytirdi. Demak, tanlangan model sharoitida noqat'iy tuzatish PID rostlagichning o'tish jarayonini sezilarli yaxshilaydi.

Kalit so'zlar: rektifikatsion kolonna, murakkab dinamik obyekt, intellektual boshqarish, noqat'iy mantiq, PI rostlagich, MATLAB/Simulink, algoritmik sintez.

Abstract. In this work, the possibility of using a PID controller and fuzzy logic together in the control of a rectification column was studied. The purpose of the study is to develop a fuzzy model that corrects the control signal depending on the error and its change and compare it with a simple PID controller. The object was taken as a second-order transfer function, and the modeling was performed in the MATLAB/Simulink environment for 300 s. The systems were evaluated in terms of settling time, maximum overshoot, static error, and stabilization time. According to the calculation results, the fuzzy-PID controller reduced the settling time from 45 s to 28 s, the maximum overshoot from 14 % to 4 %, the static error from 1.8 % to 0.3 %, and the stabilization time from 52 s to 31 s. Thus, in the conditions of the selected model, fuzzy correction significantly improves the transition process of the PID controller.

Keywords: rectification column, complex dynamic object, intelligent control, fuzzy logic, PI controller, MATLAB/Simulink, algorithmic synthesis.

Аннотация. В данной работе исследована возможность совместного использования ПИД-регулятора и нечеткой логики в управлении ректификационной колонной. Цель исследования – разработка нечеткой модели, корректирующей управляющий сигнал в зависимости от ошибки и ее изменения, и сравнение ее с простым ПИД-регулятором. В качестве объекта была выбрана передаточная функция второго порядка, моделирование проводилось в среде MATLAB/Simulink в течение 300 с. Системы оценивались по времени установления, максимальному перерегулированию, статической ошибке и времени стабилизации. Согласно результатам расчетов, нечетко-ПИД-регулятор сократил время установления с 45 с до 28 с, максимальное перерегулирование с 14 % до 4 %, статическую ошибку с 1,8 % до 0,3 % и время стабилизации с 52 с до 31 с. Таким образом, в условиях выбранной модели нечеткая коррекция значительно улучшает переходный процесс ПИД-регулятора.

Ключевые слова: ректификационная колонна, сложный динамический объект, интеллектуальное управление, нечеткая логика, ПИ-регулятор, MATLAB/Simulink, алгоритмический синтез.

1. Kirish

Rektifikatsion kolonnani boshqarish oddiy masala emas. Kolonnaga kelayotgan xomashyoning tarkibi, sarfi, harorat va bosim bir maromda turmaydi; ulardan birining o'zgarishi qolgan parametrlar va yakuniy mahsulot sifatiga ham ta'sir qiladi. Shu bois



boshqaruv tizimi faqat berilgan qiymatni ushlab turishi emas, jarayondagi o'zgarishlarga o'z vaqtida javob berishi ham kerak.

Amaliyotda bunday vazifalar ko'pincha PID rostlagich yordamida hal qilinadi. U sodda, sozlash qulay va sanoatda yaxshi o'rganilgan [1, 2]. Biroq uning koeffitsiyentlari odatda ma'lum bir ish rejimi uchun tanlanadi. Kolonnaning yuklamasi yoki dinamik xususiyatlari o'zgarganda avvalgi sozlamalar kutilgan natijani bermasligi, chiqishda tebranish va ortiqcha oshib ketish paydo bo'lishi mumkin. Noqat'iy mantiqning afzalligi shundaki, u operator tajribasini qoidalar orqali ifodalaydi va model haqidagi ma'lumot to'liq bo'lmagan vaziyatda ham boshqaruv qarorini shakllantira oladi [3-5].

Noqat'iy, adaptiv va neyro-noqat'iy rostlashga bag'ishlangan ishlarda ushbu yondashuvlarning nochiqliq obyektlar uchun foydali ekani ko'rsatilgan [6-10]. Lekin natijani amalda takrorlash uchun boshqaruv tuzilmasi, kirish va chiqish o'zgaruvchilari, qoidalar bazasi hamda baholash mezonlari aniq berilishi zarur. Ushbu maqolada aynan shu masalaga e'tibor qaratildi: oddiy PID rostlagichga jarayon holatini hisobga oluvchi noqat'iy tuzatish qo'shildi va ikkala variant bir xil sharoitda solishtirildi.

Ishning maqsadi rektifikatsion kolonnaning soddalashtirilgan modeli uchun noqat'iy PID boshqaruv tizimini tuzish va uning o'tish jarayonini oddiy PID rostlagich natijalari bilan taqqoslashdir. Taklif etilgan yechimda noqat'iy model xatolik $e(t)$ va uning o'zgarishi $\Delta e(t)$ ni kuzatib, PID chiqishiga $\Delta u(t)$ tuzatish beradi. Tadqiqot davomida obyekt modeli tanlandi, PID koeffitsiyentlari sozlandi, noqat'iy qoidalar tuzildi va ikkala tizim Simulink muhitida bir xil mezonlar asosida sinovdan o'tkazildi.

2. Materiallar va usullar

2.1. Tadqiqot obyekti va matematik model

Tadqiqot obyekti sifatida rektifikatsion kolonnaning bitta boshqaruv kanalini ifodalovchi ikkinchi tartibli model olindi. Bu yerda $u(t)$ kolonnaga beriladigan boshqaruv ta'siri, $y(t)$ esa me'yorlashtirilgan texnologik chiqish parametridir. Mazkur model real kolonnadagi barcha fizik-kimyoviy jarayonlarni qamrab olmaydi. U boshqaruv algoritmlarini dastlabki bosqichda taqqoslash uchun ishlatilgan nominal model hisoblanadi.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{(s^2 + 10s + 20)} \quad (1)$$

Bu yerda s-Laplas operatori, $G(s)$ esa obyektning uzatish funksiyasidir. Model qutblari chap yarim tekislikda joylashgani uchun obyekt nominal holatda barqaror. Shunga qaramay, o'tish jarayonining tezligi va aniqligi rostlagich sozlamalariga bog'liq. Shu sababli quyida keltirilgan xulosalar aynan (1) model va qabul qilingan tajriba shartlari uchun o'rinli.

2.2. Bazaviy PID rostlagich

Dastlab obyekt yopiq konturda oddiy PID rostlagich bilan boshqarildi. Manba hujjatda differensial koeffitsiyent $K_d = 0$ deb olingan, ya'ni rostlagich amalda PID emas, PI rejimida ishlaydi. Rostlash xatoligi berilgan qiymat $r(t)$ bilan o'lgan chiqish $y(t)$ orasidagi farq orqali topildi:

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2)$$

$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3)$$

Hisoblashlarda $K_p = 5$ va $K_i = 0,1$ qabul qilindi. Koeffitsiyentlar nominal modelning pog'onali signalga javobini ketma-ket kuzatish orqali tanlandi. Avval K_p yordamida javob tezligi maqbul holatga keltirildi, keyin K_i statik xatolikni kamaytirish uchun sozlandi. Taqqoslashda boshlang'ich shartlar va obyekt parametrlari o'zgartirilmadi.



1-jadval.

Bazaviy rostlagich parametrlari

Parametr	Qiymat	Vazifasi
Kp	5	Javob tezligini oshirish
Ki	0,1	Statik xatolikni kamaytirish
Kd	0	Qo'llanilmagan; rostlagich PID turida

2.3. Noqatliy mantiq modelining tuzilishi

PID rostlagichni jarayon holatiga moslashtirish uchun Mamdani turidagi noqat'iy model qo'shildi. Modelning kirishlari — me'yorlashtirilgan xatolik $e(t)$ va uning o'zgarishi $\Delta e(t)$, chiqishi esa PID signaliga beriladigan $\Delta u(t)$ tuzatishdir. Barcha o'zgaruvchilar $[-1; 1]$ oralikka keltirildi. Ular beshta lingvistik qiymat bilan ifodalandi: NB — katta manfiy, NS — kichik manfiy, ZE — nol, PS — kichik musbat va PB — katta musbat. Oraliq termlar uchun uchburchaksimon, chekka termlar uchun trapetsiyasimon a'zolik funksiyalari tanlandi.

Har bir qoida «agar xatolik ... va xatolikning o'zgarishi ... bo'lsa, boshqaruv tuzatishi ... bo'ladi» mazmunida tuzildi. Shartlarni birlashtirishda minimum, qoidalar natijasini yig'ishda maksimum operatori ishlatildi; aniq chiqish qiymati og'irlik markazi usuli bilan topildi [3, 4]. Qoidalar bazasi shunday tanlandiki, katta xatolikda boshqaruv ta'siri kuchayadi, chiqish berilgan qiymatga yaqinlashganda esa tuzatish asta-sekin kamayadi.

2-jadval.

Noqatliy mantiq modelining qoidalar bazasi

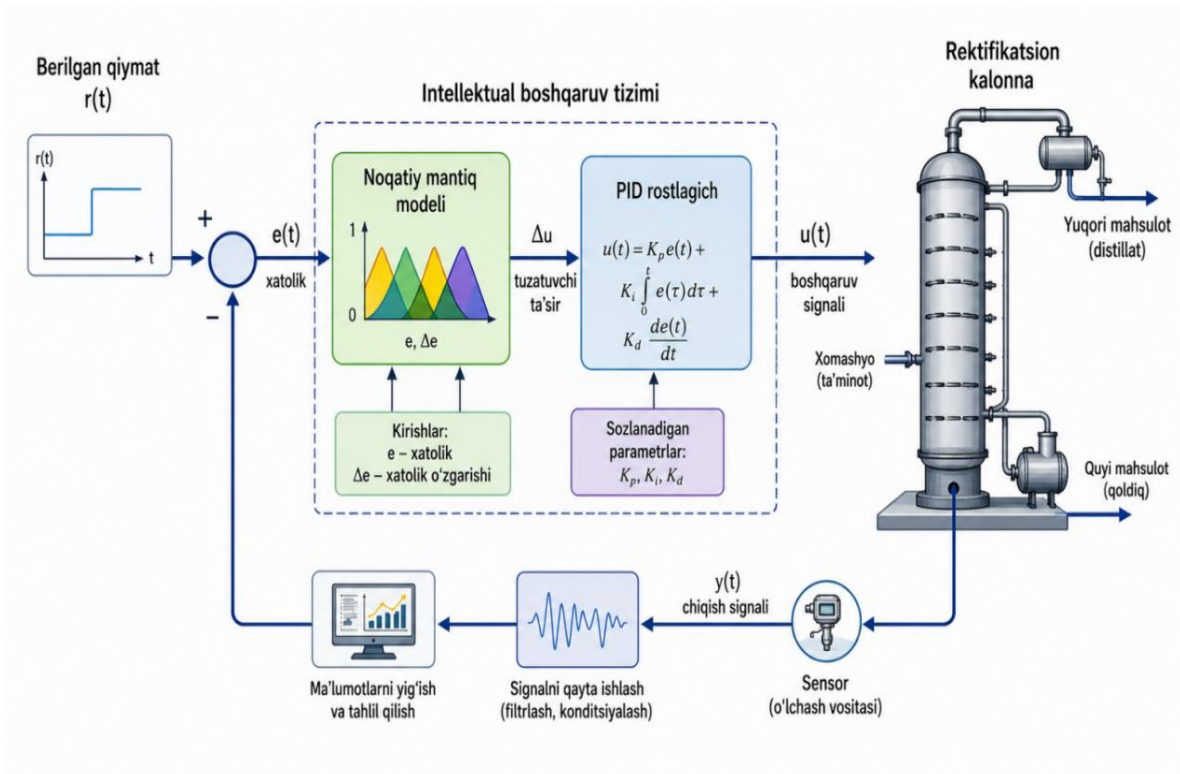
$e \setminus \Delta e$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NS	NS	ZE	PS
ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
PS	NS	ZE	PS	PS	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

$$u(t) = u_{PID}(t) + K_u \Delta u(t) \quad (4)$$

Bu yerda K_u chiqish masshtablash koeffitsiyentidir. Uning qiymati boshqaruv signalining amalda ruxsat etilgan oralig'iga qarab tanlanadi. Real tizimda signalni me'yorlashtirish, boshqaruv ta'sirini cheklash va integral qismning to'yinishiga qarshi himoya ham ko'zda tutilishi kerak.

2.4. Boshqaruv tizimining umumiy tuzilmasi

Tizim yopiq qayta aloqa asosida ishlaydi. Berilgan qiymat o'lchangan chiqish bilan solishtiriladi va hosil bo'lgan xatolik PID rostlagich hamda noqat'iy modelga uzatiladi. Noqat'iy blok jarayonning ayni holati uchun tuzatish hisoblaydi; PID signali bilan birlashtirilgan umumiy boshqaruv ta'siri obyektga beriladi. Sensor o'lchagan chiqish esa qayta aloqa orqali yana taqqoslash blokiga qaytadi.



1-rasm. Rektifikatsion kolonnani noqatli mantiq va PID rostlagich ($K_d = 0$ holatda PI rejimi) asosida intellektual boshqarish tizimining umumiy tuzilmasi

2.5. Modellash va tajriba rejasi

Simulink modeli Step, Sum, PID Controller, Fuzzy Logic Controller, Transfer Function va Scope bloklaridan tuzildi. Transfer Function blokida surat [1], maxraj esa [1 10 20] qilib berildi. Modellash vaqti 300s etib belgilandi. Ikkala boshqaruv usuli uchun ham obyekt, kirish signali, boshlang'ich holat va tajriba davomiyligi bir xil qoldirildi.

Birinci tajribada obyekt faqat PID rostlagich bilan boshqarildi. Ikkinchi tajribada shu konturga noqat'iy tuzatish bloki qo'shildi. Chiqish $y(t)$, xatolik $e(t)$ va boshqaruv signali $u(t)$ Scope yoki Simulation Data Inspector orqali kuzatildi. Ushbu maqolada manba modeldan olingan yig'ma o'tish jarayoni ko'rsatkichlari bir xil vaqt shkalasida taqqoslandi.

2.6. Baholash mezonlari

Ikki tizim to'rtta ko'rsatkich bo'yicha baholandi: t_r — chiqishning berilgan qiymatga dastlabki yetib borish vaqti; M_p — maksimal oshib ketish; e_{ss} — statik xatolik; t_s — chiqishning yakuniy qiymat atrofida $\pm 2\%$ yo'lakka kirib, keyin undan chiqmay qolish vaqti. Maksimal oshib ketish va statik xatolik quyidagi ifodalar bilan hisoblandi:

$$M_p = \frac{Y_{\max} - Y_{ss}}{Y_{ss}} * 100\% \quad (5)$$

$$e_{ss} = \frac{|r_{ss} - y_{ss}|}{|r_{ss}|} * 100\% \quad (6)$$

Bu yerda $y_{\max}$ - chiqishning eng katta qiymati, y_{ss} — turg'un holatdagi chiqish, r_{ss} esa turg'un berilgan qiymatdir. Har bir mezon bo'yicha nisbiy yaxshilanish

$$\frac{J_{PID} - J_{int}}{J_{PID}} * 100\%$$

ifoda orqali topildi. Bu hisobda ko'rsatkichning kichik bo'lishi boshqaruv sifati yaxshiroq ekanini anglatadi.



3. Natijalar

Tajriba natijalarida ikkala tizim ham berilgan qiymatni kuzatdi, ammo o'tish jarayonining sifati bir xil bo'lmadi. Oddiy PID rostlagichda maksimal oshib ketish 14 %, statik xatolik esa 1,8 % bo'ldi. Noqat'iy tuzatish qo'shilgach, bu qiymatlar mos ravishda 4 % va 0,3 % gacha kamaydi.

3-jadval.

Boshqaruv tizimlari ko'rsatkichlarining taqqoslanishi

Ko'rsatkich	Oddiy PID	Noqat'iy-PID	Nisbiy yaxshilanish
O'rnatilish vaqti, s	45	28	37,8 %
Maksimal oshib ketish, %	14	4	71,4 %
Statik xatolik, %	1,8	0,3	83,3 %
Barqarorlashish vaqti, s	52	31	40,4 %

Vaqt ko'rsatkichlarida ham farq yaqqol ko'rindi: noqat'iy PID tizimi berilgan qiymatga 17s oldin yetib bordi va 21 s oldin barqarorlashdi. Foiz hisobida statik xatolik 83,3 %, maksimal oshib ketish 71,4 %, barqarorlashish vaqti 40,4 % va o'rnatilish vaqti 37,8 % yaxshilandi. Bunga noqat'iy qoidalar katta xatolik paytida kuchliroq, berilgan qiymat yaqinida esa ehtiyotkorroq tuzatish berishi sabab bo'ladi.

Shu bilan birga, bu raqamlar faqat tanlangan nominal modelga tegishli. Tajribada energiya sarfi, mahsulot sifati yoki avariya xavfi alohida hisoblanmagan. Shuning uchun ushbu ko'rsatkichlar haqida bevosita miqdoriy xulosa chiqarish to'g'ri bo'lmaydi.

4. Muhokama

Natijalar shuni ko'rsatadiki, noqat'iy blok PID rostlagichning qat'iy sozlamalarini jarayon holatiga qarab to'ldiradi. Oddiy PID butun tajriba davomida bir xil koeffitsiyentlar bilan ishlaydi. Noqat'iy model esa $e(t)$ va $\Delta e(t)$ ni har bir vaqtda baholab, boshqaruv signalini mos ravishda tuzatadi. Natijada tizim boshlanishida tez javob beradi, berilgan qiymatga yaqinlashganda esa ortiqcha ta'sir kamayadi.

Bu kuzatuv fuzzy-PID va adaptiv boshqaruv bo'yicha avvalgi ishlarda keltirilgan xulosalarga mos keladi [4-9]. Zadeh [3] taklif qilgan noqat'iy to'plamlar nazariyasi lingvistik qoidalarni matematik qayta ishlashga asos bo'lgan. Ross [4], Passino va Yurkovich [5] esa ushbu usulning nochiziqli obyektlarni boshqarishdagi imkoniyatlarini batafsil yoritgan. Nochiziqli va ko'p o'lchovli obyektlarga doir mahalliy ishlarda ham noqat'iy-sinergetik va adaptiv boshqaruvning ijobiy tomonlari qayd etilgan [7-10].

Taklif etilgan yechimning qulay tomoni — mavjud PID konturiga alohida noqat'iy tuzatish blokini qo'shish mumkinligidir. Biroq bu blokni tayyor holda istalgan kolonnaga ko'chirib bo'lmaydi. A'zolik funksiyalari, qoidalar va masshtablash koeffitsiyentlari konkret obyektning ish diapazoniga qarab qayta sozlanishi kerak. Bundan tashqari, $\Delta e(t)$ shovqinga sezgir bo'lgani uchun amaliy qurilmada filtrlash va signal cheklagichlardan foydalanish zarur.

Mazkur tadqiqotning bir necha cheklovi bor. Birinchidan, kolonna soddalashtirilgan chiziqli model bilan ifodalandi. Ikkinchidan, xomashyo tarkibi, yuklama o'zgarishi va sensor shovqini alohida sinovdan o'tkazilmadi. Uchinchidan, natijalar real sanoat qurilmasida tekshirilmagan. Keyingi bosqichda modelni material va issiqlik balanslari bilan kengaytirish,



parametrlar tarqalishi va tashqi ta'sirlar ostida sinash, boshqaruv xatoligini baholash mezonlarini hisoblash va algoritmnini real vaqt rejimida tekshirish kerak.

5. Xulosa

Ish davomida rektifikatsion kolonnaning soddalashtirilgan modeli uchun PID rostlagich va noqat'iy mantiqni birlashtirgan boshqaruv tizimi tuzildi. Noqat'iy model xatolik va uning o'zgarishini kuzatib, PID chiqishiga tuzatish beradi. Maqolada tizimning tuzilishi, qoidalar bazasi, tajriba shartlari va baholash mezonlari ketma-ket bayon qilindi.

Modellashtirish natijasida noqat'iy PID rostlagich oddiy PID ga nisbatan tezroq va aniqroq ishladi: o'rnatilish vaqti 37,8%, maksimal oshib ketish 71,4%, statik xatolik 83,3% va barqarorlashish vaqti 40,4 % ga kamaydi. Bu natijalar tanlangan nominal model uchun noqat'iy tuzatish foydali ekanini ko'rsatadi. Yondashuvni real rektifikatsion kolonnada qo'llashdan oldin esa parametrlar noaniqligi, tashqi ta'sirlar, sensor shovqini va texnologik cheklovlar hisobga olingan qo'shimcha tajribalar o'tkazilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1] Åström K.J., Hägglund T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. 2nd ed. Research Triangle Park: ISA, 1995.
- [2] Åström K.J., Murray R.M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. Princeton: Princeton University Press, 2008.
- [3] Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control. 1965;8(3):338-353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [4] Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. 4th ed. Chichester: Wiley, 2016.
- [5] Passino K.M., Yurkovich S. Fuzzy Control. Menlo Park: Addison-Wesley, 1998.
- [6] Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1993;23(3):665-685. DOI: 10.1109/21.256541.
- [7] Sidikov I.H., Usmanov K.I., Yakubova N.S. Nochiziqli dinamik obyektlarni sinergetik boshqarish usulidan foydalanib sintezlash. Muhammad al-Xorazmiy avlodlari. 2020;(1):11.
- [8] Sidikov I.K., Usmanov K.I., Yakubova N.S., Kazakhbaev S.A. Fuzzy synergetic control of nonlinear systems. Journal of Advances in Engineering Technology. 2020;(2):16-19.
- [9] Usmanov K.I., Sarbolaev F.N., Islomova F.K., Yakubova N.S. Adaptiv-noqatiy sinergetik boshqarishning ko'p o'lchovli nochiziqli dinamik obyektlarda qo'llanilishi. Universum: texnik fanlar. 2020;(3-1(72)):24-28.
- [10] Usmanov R., Siddikov I., Yakubova N., Rahmanov A. Adaptive identification of the neural system of controlling nonlinear dynamic objects. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2018;5(2):5195-5199.
- [11] MathWorks. Fuzzy Logic Toolbox and Simulink Documentation. Available at: <https://www.mathworks.com/help/> (accessed 03 September 2026).