

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.T.03.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

SAMADOV ELYOR ERKINOVICH

**O'SIMLIK YOG'INI RAFINATSIYALASH JARAYONINI OPTIMAL
BOSHQARISH TIZIMINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.08 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni avtomatlashtirish va boshqarish

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of Doctor Philosophy (PhD)

Samadov Elyor Erkinovich O'simlik yog'ini rafinatsiyalash jarayonini optimal boshqarish tizimini ishlab chiqish.....	3
Самадов Эльёр Эркинович Разработка системы оптимального управления процессом рафинации растительных масел.....	21
Samadov Elyor Erkinovich Development of a system for optimal control of the refining process of vegetable oils.....	39
E'lon qilingan ishlar ro'yxati Список опубликованных работ List of published works	42

SAMADOV ELYOR ERKINOVICH

**O'SIMLIK YOG'INI RAFINATSIYALASH JARAYONINI OPTIMAL
BOSHQARISH TIZIMINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.08 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni avtomatlashtirish va boshqarish

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.2.PhD/T2845 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tdtu.uz) hamda "ZiyoNet" Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich
texnika fanlari doktori, professor,
O'zR FA akademigi

Rasmiy opponentlar: Ismailov Mirhalil Agzamovich
texnika fanlari doktori, professor
Kadirov Yorqin Bahodirovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Yetakchi tashkilot: Buxoro muhandislik – texnologiya instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.02 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil « 5 » 03 soat 10⁰⁰ da majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 246-46-00; faks: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (371 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil:-100095, Toshkent shahar, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 207-14-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil « 17 » 02 kuni tarqatildi.
(2024 yil « 5 » 01 da 2 raqamli bayonoma).



F.T.Adilov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash rais o'rinbosari,
t.f.d., professor

U.F.Mamirov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori (DSc), dotsent

X.Z.Igamberdiyev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi Ilmiy seminar raisi,
t.f.d., professor, O'zR FA akademigi

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda sanoatning yetakchi tarmoqlarini, shu jumladan yog'-moy sanoatini yanada rivojlantirish istiqbollari energiyaviy-texnologik jarayonlar ulushining oshishi, texnologik uskunalarining ishlashining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga imkon qadar erishishni ta'minlash zarur bo'lgan sharoitda ularning energiya sig'imining oshishi bilan uzviy bog'liq bo'lib, bu uning konstruktiv tavsiflarini takomillashtirish usullarini ishlab chiqishni hamda texnologik uskuna faoliyatining samaradorlikning qabul qilingan mezonlari bo'yicha optimal rejimlariga mos tashkillashtirish muhim ahamiyat kasb etadi. Bu borada texnologik jarayonlarni optimal boshqarish tizimlarini sintezlash muhim masalalardan biri hisoblanadi. Bu boshqarish tizimining sifatiga qo'yiladigan talablarni hisobga olgan holda optimal boshqarish algoritmlarni va modellarini ishlab chiqish bilan belgilanadi.

Jahonda o'simlik moylarini rafinatsiyalashning texnologik jarayonlarini boshqarish sifatini oshirishga qaratilgan ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu jihatdan, hozirgi vaqtda o'simlik moylarini yakuniy mahsulot sifatini hamda energiyatejamkorlikni ta'minlovchi optimal boshqarish tizimini yaratish, matematik modeli va algoritmlarini, rafinatsiyalash jarayonini boshqarishning optimal tizimlarini ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlarga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bu borada, o'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonini boshqarishning yangi tizimlarini ishlab chiqish va takomillashtirish muammolarini yechish dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Respublikamizda texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni avtomatlashtirish va boshqarish yo'nalishlariga katta ahamiyat berilib, jumladan o'simlik moyini rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini optimal boshqarish uchun energiya va resurs tejamkorlikni ta'minlovchi intellektual boshqarish usullari va tizimlarini yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot strategiyasida, jumladan, "Sanoat tarmoqlarida yo'qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish ..., zamonaviy energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish, ... energiya samaradorlikni oshirish bo'yicha loyihalarni moliyalashtirish"¹ kabi muhim vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, murakkab texnologik jarayonlarni boshqarishning yuqori samarali usullari va intellektual tizimlarini sintezlash hamda joriy etish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-son "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida" gi Farmoni, 2018-yil 25-oktyabrdagi PQ-3983-son "O'zbekiston Respublikasi kimyo sanoatini tezkor rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi, PQ-4118-son 2019-yil 16-yanvardagi "Yog'-moy tarmog'ini yanada rivojlantirish

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" gi Farmoni

bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar va sohani boshqarishda bozor mexanizmlarini joriy etish" va 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265-son "Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining III. "Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" hamda VI. "Kimyo texnologiyalari, neftkimyo va nanotexnologiyalar" ustuvor yo'nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Rivojlangan mamlakatlarning ilmiy va oliy ta'lim muassasalarida murakkab texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarishning yuqori samarali tizimlarini ishlab chiqish, optimal tizimlarni boshqarish texnologiyasini yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda, jumladan, "Honeywell", SIMSCI-Simulation va California universiteti, Massachusetts institute of technology (AQSH), Siemens va Universität in Münster (Olmoniya), Imperial College London (Buyuk Britaniya), University of Chemical Technology in Prague (Chexiya), "Ma WEA INDUSTRIES Enabling Digitalization" (Malayziya), "Simatek-Energo" (Belarus), N.E.Bauman nomidagi Moskva davlat texnika universitet (Rossiya) larida muhim natijalarga erishilgan.

Bashoratlovchi model va virtual analizatorlar yordamida texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni operativ va optimal boshqarish usullarining nazariy asoslarini yaratishning dolzarb masalalari bo'yicha qator xorijiy olimlar, jumladan E.F.Camacho², V.Dombrovskiy³, J.Grosso, L.R.Markin, A.Yu.Torgashev⁴, R.Vershe⁵, D.B.Rolings, D.A.Rossiter va boshqalar, shuningdek, mamlakatimiz olimlari A.A.Abdurahimov⁶, S.A.Abduraximov⁷, A.A.Artikov⁸, U.K.Axmedov⁹, A.L.Markman, K.X.Majidov¹⁰, A.I.Glushenkova¹¹, I.B.Isaboev¹²,

² Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control. – London: Springer-Verlag, 2004.

³ Dombrovskii V., Obedko T. Model predictive control for constrained systems with serially correlated stochastic parameters and portfolio optimization // Automatica. – 2015. – V. 54. – P. 325–331.

⁴ Torgashov A. Yu. Identifikatsiya zapazdyvaniya dinamicheskogo obyektu na osnove prognoziruyushy modeli // Sibirskiy jurnal industrialnoy matematiki. 2008. № 2. S. 112-123.

⁵ R.Vershe, T.Verleyen, V.Van Hoed, and W.De Greyt. "Influence of refining of vegetable oils on minor components," Journal of Oil Palm Research, vol. 4, pp. 168 – 179, 2006.

⁶ Y.Q. Qodirov, A.T. Ruziboyev, A.A. Abdurahimov YOG'LARNI RAFINATSIYALASH VA KATALITIK MODIFIKASIYALASH. DARSLIK. Toshkent-2020

⁷ С.А.Абдурахимов, А.А.Нормуминович. Совершенствование технологии щелочной рафинации прессового масла, получаемого из низкосортных семян хлопчатника // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 3(72).

⁸ Севинов У.Б. Артиков А.А. Нарзиев М.С. Хамроев Х.Х. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ МАСЛИЧНОЙ ФУЗЫ НА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. 4(97).

⁹ Axmedov U.K., Kurambaev Sh.P., Baxtiyarov S.B. Совершенствование технологии рафинации экстракционного хлопкового масла // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. 2(95). С. 58-61.

¹⁰ Saidvaliev S.S. and Majidov K.Kh. 2020. Graphic Models of Micelles of Solutions of Sodium Salts of Fatty Acids and Research of Changes occurring in them. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci. 9(7): 2923-2930.

M.A.Rahimjonov, S.M.Salimov, N.R.Yusupbekov¹³ va boshqalar soha rivojiga o'zlarining ulkan hissalarini qo'shishgan.

Mazkur olim va mutaxassislar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda, bashoratlovchi modelga ega va real vaqt rejimida virtual analizatorlar yordamida texnologik jarayonlarni boshqarishda optimallashtirish usullari va algoritmlari hamda ishlab chiqarishni optimal boshqarishni ishlab chiqish muammolari bo'yicha tadqiqotlarda yetarlicha ahamiyat berilmagan, shu sababli o'simlik moyini rafinatsiyalash jarayonini optimal boshqarish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini OT-F7-88 – "Toza mahsulotlar olishning energiya va resurstejamkor issiqlik-massa almashinish jarayonlarining istiqbolli murakkab kimyo-texnologik tizimlarining nazariy asoslarini takomillashtirish" (2017-2020) mavzudagi loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi real vaqt rejimida energiya va resurslarni tejashni ta'minlash bilan yakuniy mahsulot sifatini ishonchli baholash va bashorat qilish imkonini beruvchi o'simlik moylarini rafinatsiyalashning murakkab ko'p bosqichli texnologik jarayonlarini optimal boshqarish tizimini ishlab chiqish va joriy etishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

bashoratlovchi model va virtual analizatorlar yordamida texnologik jarayonlarni optimal boshqarish uchun mavjud algoritmlarning potensial imkoniyatlarini tahlil qilish va ularni rivojlantirish hamda takomillashtirish tendensiyalarini aniqlash;

rafinatsiyalangan o'simlik moylari tarkibidagi erkin yog' kislotalar miqdorini bilvosita pH-metrik o'lchash usulini asoslash;

o'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonining matematik modelini ishlab chiqish;

o'simlik moylari sifatini kislotalilik soni bo'yicha nazorat qilishni amalga oshiradigan dasturiy ilovani ishlab chiqish;

rafinatsiyalangan moylar sifatini aniqlovchi oqimli ekspress analizatorini ishlab chiqish;

o'simlik moylari sifatining virtual analizatorini qurish uchun o'lchash ma'lumotlarining boshlang'ich massivlaridan qo'shimcha axborotlarni ajratib olish;

¹¹ Глушенкова А.И. Влияние природы катализаторов и режимов гидрирования хлопкового масла на состав гидрогенизатов: Авторсф.дис... докт.техн.наук. – М., 1981. –47с.

¹² Исабаев И.Б. Повышение эффективности производства и пищевой ценности масложировой и хлебопекарной продукции.: Автореф. дис.... докт. техн.наук. – Ташкент. 2006. –51с.

¹³ N.R.Yusupbekov, H.Z.Igamberdiyev, U.F.Mamirov. Adaptive control system with a multilayer neural network under parametric uncertainty condition // CEUR Workshop Proceedings 2782, 2021. -P.228-234.

bashoratlovchi model va virtual analizatorlarga ega bo'lgan takomillashtirilgan boshqarish tizimlari sinfidagi rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini optimal boshqarish tizimini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti o'simlik moylarini rafinatsiyalashning murakkab ko'p bosqichli texnologik jarayonlari hisoblanadi.

Tadqiqotning predmeti o'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonlarining optimal boshqarish tizimlarini ishlab chiqish usul va algoritmlaridan iborat.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida tizimli tahlil, texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni modellashtirish va optimallashtirish usullari, texnologik o'lchash usullari, noaniq mantiq usullari, avtomatik boshqarishning zamonaviy usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

yakuniy mahsulot sifatini bashoratli aniqlash asosida o'simlik moylarini real vaqt rejimida rafinatsiyalashning ko'p bosqichli texnologik jarayonlarini optimal boshqarish vazifalarida oqim analizatorlaridan foydalanish zarurati asoslangan;

o'simlik moylarini rafinatsiyalashning texnologik jarayonining parametrik modeli asosida virtual analizatorni strukturalash usullari ishlab chiqilgan;

o'simlik moylarini ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga asoslangan o'zaro ta'sir qiluvchi fazalarning murakkab gidrodinamik sharoitiga ega issiqlik-massa almashinish jarayonini optimal boshqarish usuli ishlab chiqilgan;

sintezlanadigan tizimning funksional imkoniyatlarini kengaytirish asosida yuqori moslashuvchanlik xususiyatlariga ega, teskari aloqani shakllantirishning tayanch sxemasi nisbatan sodda bo'lgan o'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonini boshqarish tizimining bashoratlovchi modeli ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

o'simlik moylari kompozitsiyasida moyli kislota miqdorini aniqlash uchun pH ni o'lchashning bilvosita usulidan foydalanilishi mumkinligi ko'rsatilgan;

oqimli analizatorlarni o'tkazish qobiliyatini moy ekstraksiyasi ishlab chiqarishdagi yakuniy mahsulot namunalarining laboratoriyaviy tahlil vositalarining texnologiyaviyligi bilan talab etilgan mosligini ta'minlash yo'li orqali ularning qo'llash natijalari ishonchligini oshirish usuli taklif etilgan;

o'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonining takomillashtirilgan boshqarish tizimi tarkibiga virtual analizatorlarni kiritishga imkon beradigan parametrik modeli taklif etilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchligi. Tadqiqot natijalarining ishonchligi uslubiy asoslangan nazariy hisob-kitoblarni amalga oshirishga, o'simlik moylarini rafinatsiyalashning texnologik jarayonini aniqlash va boshqarish yondashuvi asosida yakuniy mahsulot sifat ko'rsatkichlarini bashorat qiluvchi virtual analizatorlarni qurishda ilmiy tushunchalardan foydalanishga asoslangan, murakkab texnologik jarayonlarni optimal boshqarish tizimini ishlab chiqish, shuningdek, zamonaviy usullar va vositalardan foydalanib, o'tkazilgan nazariy va tajribaviy tadqiqotlar natijalarining o'zaro muvofiqligi, sanoat-sinov tajribalari natijalarining ijobiyligi bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati umumiy qabul qilingan samaradorlik mezonlariga muvofiq yakuniy mahsulot sifatini bashoratlash va boshqarishga ega real vaqt masshtabida dinamik obyektlarning takomillashtirilgan boshqarish tizimlari sinfidagi o'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonini optimal boshqarish tizimini qurishning konstruktiv usuli bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati real vaqt rejimida moylarni rafinatsiyalashda bashoratlovchi modelga ega hamda boshqarish tizimi tarkibida mahsulot sifatining virtual analizatorini keng qo'llash bilan istiqbolli boshqarish tizimlarini ishlab chiqish uslubiyatini dasturiy amalga oshirilishi, buning natijasida olinadigan baholarning ishonchligi va tezkorligi oshishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarini joriy qilinishi. O'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini optimal boshqarish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

real vaqt rejimida ishlash qobiliyatiga ega online oqimli ekspress-analizatorlardan foydalanib, ishlab chiqilgan o'simlik moylarini rafinatsiyalashning ko'p bosqichli texnologik jarayonini optimal boshqarish tizimi "Yangiyo'l yog'-moy" AJ da joriy qilingan ("O'ZYOG'MOYSANOAT" Korxonalari Uyushmasining 2023-yil 24-noyabrda HM/3-513-sonli ma'lumotnomasi). Natijada rafinatsiyalash jarayonini boshqarish tizimining sifatini oshirishga erishilgan;

ekspress-analizator modeliga kiritilgan algoritmlar asosidagi dasturiy ta'minot "Yangiyo'l yog'-moy" AJ da joriy qilingan ("O'ZYOG'MOYSANOAT" Korxonalari Uyushmasining 2023-yil 24-noyabrda NM/3-513-sonli ma'lumotnomasi). Natijada o'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini boshqarish samaradorligini oshirish va energiya sarfini 3% ga kamaytirish imkonini bergan;

tarkibiga virtual analizator kiritishni strukturalashga imkon beradigan o'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonining parametrik modeli "Yangiyo'l yog'-moy" AJ da joriy qilingan ("O'ZYOG'MOYSANOAT" Korxonalari Uyushmasining 2023-yil 24-noyabrda NM/3-513-sonli ma'lumotnomasi), Natijada obyekt parametrlarini aniqlashning aniqligini oshirishga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Bajarilgan tadqiqot natijalari bo'yicha 13 ta ilmiy ish, jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi e'tirof etgan ilmiy jurnallarda 4 ta maqola, ulardan 1 tasi xorijda chop etilgan. EHM uchun dasturiy vositalarni qayd etilganligi to'g'risida 2 ta guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 107 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida ilmiy-texnik muammoning dolzarbligi aniqlangan, tadqiqotning asosiy vazifalari, predmeti va maqsadi ko'rsatilgan, tadqiqot mavzusining O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqlik darajasi aniqlangan, mavzuning ishlanganlik darajasi aks ettirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiliklari keltirilgan, tadqiqotning amaliy yo'nalishi bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchligi va asoslanganligi ko'rsatilgan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati izohlangan, tadqiqotning aprobatsiyasi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "Bashoratlash modeli asosida texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni optimal boshqarish usullari va muammolarini tahlil qilish" deb nomlangan birinchi bobida adabiyot manbalari, shu jumladan, ixtirolar uchun patentlar va mualliflik guvohnomalari sharhi keltirilgan. Bunda texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni boshqarishning optimal boshqarish tizimlari nazariyasi va amaliyotining hozirgi zamonaviy holati tasvirlangan. Mazkur ishda ko'rib chiqilgan optimal boshqarish tizimlari sinfi murakkab texnologik obyektning ishlashini barqarorlashdan boshlab uning statik va dinamik optimallashtirish va samaradorlik mezonlari bo'yicha tezkor-bashoratli optimal boshqarishgacha bo'lgan vazifalarga yechim hosil qilib, texnologik qurilmaning maksimal unumdorligi va ishlab chiqarilayotgan mahsulotning tannarxi minimal bo'lishi, energiya sarfi ko'rsatkichini minimallashtirish va yakuniy mahsulot sifatini talab etilgan darajada bo'lishini ta'minlaydi.

Dissertatsiya tadqiqotining maqsadlaridan biri minimal energiya va resurs sarfi bilan yuqori sifatli o'simlik moylarini ishlab chiqarishdan iborat bo'ladi.

Agar ishlab chiqarish korxonalarini tanlangan tijorat mahsulotlari sifatini boshqarish tizimidan sifatini samarali boshqarish tizimiga o'tmasa, yuqori sifatli rafinatsiyalangan o'simlik moylarini ishlab chiqarish imkonsiz hisoblanadi. Bunday yondashuv nafaqat yuqori sifatli mahsulotlar ishlab chiqarishni, balki yaroqsiz mahsulotlar chiqish oldi olinishini ham ta'minlaydi.

Adabiyotlar sharhi o'simlik moylarini rafinatsiyalash qurilmalarini optimal boshqarishning talab etilgan konturlarini yaratish nuqtai-nazaridan birlamchi o'lchash axborotining zaruriy to'liqligi, tezkorligi va yaxlitligini ta'minlaydigan rafinatsiyalangan o'simlik moylari sifatining oqimli analizatorlari mavjud emasligini ko'rsatadi. Shu sababdan vaqtning real masshtablarida rafinatsiyalangan o'simlik moylarini sanoatlashgan ishlab chiqarishning texnologik jarayonlarini virtual monitoring qilish tizimini yaratish, amalga oshirish va funksional imkoniyatlarini kengaytirish hamda dinamik obyektlarni taqsimlangan monitoring qilish, operativ nazorat qilish va optimal rostdashni texnik bazasini kengaytirishning dolzarb vazifasi yuzaga keladi.

Dissertatsiya ishining ikkinchi bobi "O'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonini monitoringi va boshqarish obyekti sifatida tadqiq qilish" deb nomlangan. Ushbu bobda real vaqt rejimida berilgan samaradorlik mezonini bo'yicha ko'p o'lchamli texnologik obyektlarni optimal boshqarish tizimlarini

qurish masalasi tahlil qilingan. Bashoratlovchi modelga ega takomillashtirilgan (ilg'or) boshqarish tizimlari sinfida o'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini optimal boshqarish tizimlarini qurish muammolari ko'rib chiqilgan.

Suyuqliklarni neytrallashtirish jarayonida kimyoviy reaksiya bilan massa almashinish jarayonini modellashtirishga qaratamiz. O'rganilayotgan jarayon quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

o'simlik moylari tarkibidan erkin yog' kislotalarni ajratib olish;

fazalar ajratilishi yuzasidan erkin yog' kislotalarni diffuziya yordamida ajratib olish;

o'simlik moyining suv muhitidagi diffuziyasi.

O'zaro ta'sir qilayotgan massalarning moddiy balansidan kelib chiqib, fazalar chegarasining ko'chishini quyidagi differensial tenglama orqali ifodalash mumkin:

$$\frac{d}{d\tau} \lambda(\tau) = \left[\frac{\partial}{\partial \tau} C(\xi, \tau) \right]_{\xi=\lambda} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} C(\xi, \tau)$$

Kimyoviy o'zgarishlarda massa almashinish masalalarini yechish uchun quyidagi diffuziya tenglamasidan foydalanish mumkin:

$$V'_\xi(\xi_k) \cdot \frac{\partial}{\partial \tau} [C_K(\xi_k, \tau)] = \frac{D_{vK}}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left\{ S(\xi_k) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_k} [C_K(\xi_k, \tau)] \right\};$$

$$V'_\xi(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \tau} [C_{yog}(\xi_c, \tau)] = \frac{D_{oyog}}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} \left\{ S(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} [C_{yog}(\xi_c, \tau)] \right\};$$

$$V'_\xi(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \tau} [C_{NaOH}(\xi_c, \tau)] = \frac{D_{oNaOH}}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} \left\{ S(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} [C_{NaOH}(\xi_c, \tau)] \right\}.$$

Uchta differensial tenglamadan iborat sistemani yechishda quyidagi namuna funksiyalarning polinomiali kelib chiqadi:

$$C_K(\xi_k, \tau) = \sum_{i=1}^n a_i(\tau) \cdot \left[1 - \left(\frac{\xi_k}{2} \right)^{(2i-2)} \right];$$

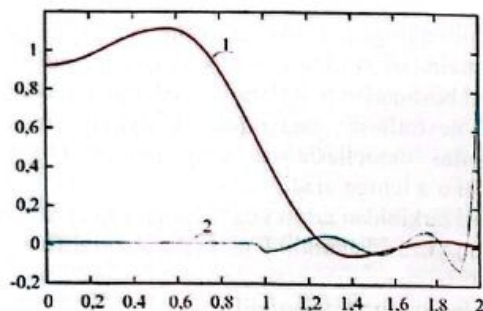
$$C_{yog}(\xi_c, \tau) = \sum_{i=1}^n b_i(\tau) \cdot \left[\left(\frac{\xi_c}{2} - 1 \right)^{(2i-3)} + \left(\frac{\xi_c}{2} - 1 \right) \right];$$

$$C_{NaOH}(\xi_c, \tau) = \sum_{i=1}^n d_i(\tau) \cdot \left[\left(\frac{\xi_c}{2} \right)^{(2i-1)} - 1 \right].$$

O'simlik moyida yog' kislotalarining konsentratsiyasi taqsimlanish funksiyasining oxirgi tenglamasi quyidagicha:

$$C(x, t) = \frac{\left[\cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot x\right) + 1 \right]}{2} \cdot C_K(x, |A(\tau)|) + \frac{\left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot x\right) \right]}{2} \cdot C_{yog}(x, |B(\tau)|)$$

Ishqor konsentratsiyasining boshlang'ich taqsimlanishi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. Chegara qatlamida erkin yog' kislotalari $C(\xi,0)$ va ishqor $C_{NaOH}(\xi,0)$ ning umumlashtirilgan taqsimlanish funksiyasi: 1 – erkin yog' kislotalar; 2 – ishqor.

Texnologik obyektning o'rganish jarayonida o'simlik moylaridagi erkin yog' kislotalarining konsentratsiyasini aniqlash usulini asoslash imkonini beradi. Real vaqt rejimida yog' kislotalarini neytrallashtirish texnologik jarayoni o'rganildi (1-jadvalda keltirilgan).

1-jadval.

O'simlik moyidagi yog' kislotalarini o'rganish

Ish vaqti	Yog'ning kislotaliligi, mg KOH		Neytrallashtirish darajasi	Neytrallashtirish agentining miqdori, %	
	Gidrotatsiyalash	Neytrallashtirish, yuvish va quritish		Haqiqiy	Hisoblangan
I	2,71	0,13	1,50	1,76	1,78
II					
2	2,24	0,17	2,22	1,75	1,48
4	2,55	0,19	1,47	1,43	1,65
8	2,70	0,15	1,52	1,63	1,76
10	2,57	0,12	2,10	1,81	1,68
14	2,82	0,24	1,47	1,63	1,84
16	2,90	0,14	1,54	1,82	1,88

Taqdim etilgan ma'lumotlar rafinatsiyalangan o'simlik moylari tarkibidagi yog' kislotalari tarkibini operativ nazorat qilish usulini amalga oshirishning maqsadga muvofiqligi to'g'risida xulosa chiqarishga imkon beradi.

Neytrallashtirilgan o'simlik moylarida yog' kislotalarini zararsizlantirish jarayonining samaradorligini o'rganish va baholash neytrallashtiruvchi moddaning tarkib ko'rsatkichi bilan birlashtirilganda, uni operativ aniqlashning samaradorligi mezonini bo'lib xizmat qiladi.

Dissertatsiyada ishqoriy muhitda erkin yog' kislotalarini neytrallashtirish jarayonida massa almashinish jarayoni modellashtirilgan.

Dissertatsiya ishining "O'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonini optimal boshqarish tizimlari uchun oqimda uzluksiz o'lchovchi ekspress-analizatorini ishlab chiqish" deb nomlangan uchinchi bobi ekspress-oqimli analizator qurishning ilmiy-uslubiy asoslariga bag'ishlangan. Analizator va ulardan yog' ekstraksiya ishlab chiqarish, rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini optimal boshqarish tizimlarida foydalanish hisoblanadi.

Dinamik obyektlarni optimal boshqarish tizimlarida CV - boshqariladigan parametrlarning ko'p hollarda o'rni yakuniy mahsulot sifat ko'rsatkichlarini o'lchash va aniqlash hisoblanadi. Nazorat qilish va boshqarish obyektini optimallashtirishning eng muhim parametri hisoblanadi. Savdo mahsulot sifat ko'rsatkichlarining muhimligiga qaramay, aksariyat hollarda (rafinatsiyalangan o'simlik moylarining sifatini o'lchash muammolarini o'z ichiga oladi) moylarni maxsus analitik o'lchash uskunalar yordamida real vaqt rejimida bevosita o'lchash imkonini beradi. Bunday sharoitda yog'-moy sanoatining yarim mahsulotlari va tijorat mahsulotlari sifati uchun oqimli ekspress-analizatorlarni yaratish va ulardan foydalanishga bo'lgan talab ortib bormoqda. Bu esa optimallashtirish tizimlarida aylanayotgan o'lchov ma'lumotlarining o'z vaqtida, aniqligi va ishonchligini sezilarli darajada oshirmoqda.

Ish jarayonini boshqarish tizimlarida onlayn virtual analizatorlarning roli va o'rni ko'rsatadi, virtual monitoring tizimining asosiy funksional imkoniyatlarini ochib beradi, sanoatni qayta ishlash mahsulotlarining sifatini baholash uchun virtual analizatorlarni qurish masalalari bo'yicha tadqiqotlar holatini tahlil qiladi. Bu tizimlar real vaqtda bashoratlovchi modellar asosida real vaqt rejimida optimal va takomillashtirilgan boshqarish tizimlari tarkibiga kiritilgan.

Virtual analizatorlar (VA) dasturiy-algoritmik komplekslardir. Texnologik obyektning o'lchanadigan o'zgaruvchilari asosida ular dinamik o'rganilayotgan obyektning texnologik o'lchovlari ma'lumotlari asosida sifat ko'rsatkichlarini bashorat qilish uchun matematik modellarni shakllantirib, chiqish o'zgaruvchilarini baholaydilar.

O'zgaruvchan matematik taxminlar algoritmi (ACE) usuli orqali optimal o'zgarishlar asosida olingan virtual analizatorning chiqish o'zgaruvchisi \bar{y} ni baholash uchun regressiya modeli quyidagi ko'rinishga ega:

$$\bar{y} = \theta^{-1} (b_0 * \sum_{i=1}^m \hat{\phi}_i(u)), i = 1, \dots, m.$$

bu yerda: θ^{-1} – chiqish o'zgaruvchilarining optimal o'zgarish yig'indisining Y – teskari funksiyasi; b_0 – erkin had; $\hat{\phi}_i(u)$ – o'zgarish funksiyasi; $i = 1, \dots, m$.

Funksiya $\hat{\phi}_i(u)$ ni aniqlashda optimal ko'phadli o'zgarishlarning silliqilanishidan foydalaniladi:

$$\hat{\phi}_i(u) \approx \sum_{q=0}^p b_{(i-q)} U_i^q, q = 0, \dots, p.$$

U_i – texnologik obyektning $q = 0, \dots, p$. darajasidagi kirish o'zgaruvchilarining qiymatlari.

Texnologik jarayon va ishlab chiqarishlarni optimal boshqarish masalasini yechishda laboratoriya tahlili ma'lumotlariga ko'ra erkin had b_0 ni quyidagicha avtomatik korreksiyalashga ega chiziqli regressiya tenglamalari asosida virtual analizator o'zining samaradorligini isbotlagan:

$$b_{0_{new}} = b_0 + k(Y_{lab} - Y_{model}).$$

Yakuniy mahsulotning laboratoriya sharoitida aniqlangan sifat ko'rsatkichi Y_{lab} laboratoriya tahlili ma'lumotlariga ko'ra tegishli vazn koeffitsiyentini hisobga olgan holda regressiya model yordamida aniqlangan tovar mahsulotning sifat ko'rsatkichi bilan taqqoslanadi.

Virtual analizatorni ishlab chiqishning har bir bosqichida quyidagi harakatlar amalga oshiriladi:

o'rganilayotgan texnologik jarayonni ma'lum matematik apparat yordamida shakllantirish;

o'rganilayotgan obyektga axborot oqimlarining sxemasini aniqlash;

o'rganilayotgan obyekt to'g'risidagi tegishli ma'lumotlar bazasiga ega bo'lgan texnologik jarayon haqidagi induktiv bilimlar bazasi, texnologik uskunalar, o'rganilayotgan jarayonlar va hodisalarning mahalliy nuqta modellarining ma'lumotlar bazalari;

manfiy teskari aloqa zanjirining bir qismi sifatida identifikator bilan texnologik jarayonni boshqarish bo'yicha tavsiyalarni baholash.

Ishda induktiv bilimlardan foydalangan holda identifikatsiyalash modelini shakllantirish asosida virtual analizatorni ishlab chiqish metodologiyasi ko'rsatilgan. Bu empirik ma'lumotlardan statistik jihatdan aniqlangan bog'liqliklarni tiklash orqali aniqlangan qonun o'lchovlari sifatida tushuniladi.

Texnologik obyektning ixtiyoriy vaqtda boshqarish uchun quyidagi model quriladi:

$$y(n+1) = \sum_{i=1}^N a_i y(n+1-i) + \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^M b_{ij} x_j(n+1-i) + \sum_{k=1}^K c_k u(n+1-i).$$

Virtual analizatorning matematik modelining monandligini aniqlash bosqichlarida quyidagi mezonlardan foydalanilgan:

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2 / M \right)^{1/2};$$

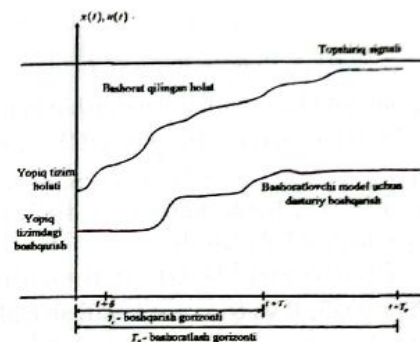
$$BSC = M \ln \left(\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2 \right) + p \ln(M) - M \ln(M);$$

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y})^2.$$

Chiqish o'zgaruvchisining y_i qiymati mavjud cheklavlarni inobatga olgan holda virtual analizatorida regression modelning chiqish o'zgaruvchilari sifatida aniqlangan qiymat \hat{y}_i bilan taqqoslanadi.

Bu holatda $RMSE$ mezon - o'rtacha kvadratik xatolikdan ildiz osti qiymati, BSC mezon qiymatlari qanchalar kichik bo'lib, determinatsiya koeffitsiyenti R^2 qanchalik birga yaqin bo'lsa, tadqiq qilinayotgan model o'rganilayotgan obyektga shunchalik mos keladi.

Bashoratli modelga ega optimal boshqarish masalasining yechilishi 2-rasmda ifodalangan.



2-rasm. Chiziqli-kvadratik dasturlash masalasining yechimi.

Bashoratlovchi modelga ega optimal boshqarish algoritmi quyidagilarni o'z ichiga oladi:

1. Obyektning holat vektorini baholash.
2. Optimallashtirish masalasining yechilishi.
3. Chiziqli-kvadratik dasturlash masalasining yechimi sifatida olingan optimal boshqarishni amalga oshirish.
4. Vaqt t ni vaqt $(t + \delta)$ ga almashtirish va 1÷3 qadamlarni takrorlash.

Dissertatsiyaning "O'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonini optimal boshqarish tizimini ishlab chiqish" deb nomlangan to'rtinchi bob sanoatning yakuniy mahsulotlari sifati virtual analizatorlarini qo'llagan holda bashoratlovchi modellarga asoslangan texnologik jarayonlar hamda ishlab chiqarish vaqtning real mashtablarida takomillashtirilgan boshqarish algoritmini amalga oshirishning izchil uslubiyatini aks ettiradi.

So'nggi vaqtlarda bashoratlovchi boshqarish sanoat ilovalarida texnologik jarayonlarni optimal boshqarishning eng keng qo'llanilayotgan texnologiyasi hisoblanmoqda. Bashoratlovchi boshqarish algoritmlari obyektning kelgusidagi xatti-harakatlarini bashorat qilish uchun jarayonning aniq modelidan foydalanadi. Texnologik jarayonlar odatda murakkab nochiziqliklarni o'z ichiga olgan bo'lsa-da, bashoratlovchi modelga ega bo'lgan boshqarish strategiyalarining aksariyati jarayonning chiziqli modeliga asoslangan. Bu holda, bashoratlovchi modellar yordamida boshqarish algoritmini samarali amalga oshirishga imkon beradigan modelni soddalashtirish yondashuvi qo'llaniladi.

Bashoratlovchi modellashtirishga ega optimal boshqarish vazifasi boshqarish tizimi obyekt holatlarini n o'lchamli vektor kirishli $x(t)$ hamda m o'lchamli vektorli boshqaruvchi $u(t)$ yordamida shakllantiriladi:

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t), u(t)), \quad x(0) = x_0.$$

Tengsizliklar ko'rinishidagi cheklavlarni kirish $x(t)$ va boshqaruvchi $u(t)$ holat vektorlari komponentlariga qo'yilishi mumkin:

$$x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$u_{j \min} \leq u_j \leq u_{j \max}, \quad j = 1, \dots, m.$$

Boshqarish maqsadi quyidagi shartlar bajarilishidan iborat:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|x(t) - r_x(t)\| = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \|u(t) - r_u(t)\| = 0.$$

bu yerda: berilgan $r_x(t)$ va $r_u(t)$ ifodalar obyektning zaruriy dinamikasini aks ettiradi. Boshqarish sifati kvadratik funksional sinfida berilgan samaradorlik mezoni $J(x(t), u(t))$ yordamida baholanadi

$$J = \int_0^{\infty} [(x(t) - r(t))^T R(x(t) - r(t)) + \lambda^2 u^T(t) Q u(t)] dt.$$

bu yerda: $r(t)$ – vazifa signali; R va Q – vazn koeffitsiyentlar matritsalarini.

Yuqoridagi birinchi qo‘shiluvchi uning berilgan signaldan og‘ishida samaradorlik mezonining qiymatini ko‘rsatadi, ikkinchisi esa (MV) – boshqariluvchi qiymatni ko‘rsatadi.

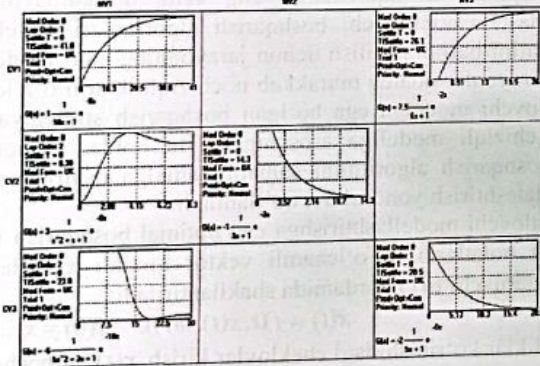
Optimal boshqarish masalasi quyidagicha: texnologik jarayonning bashoratlovchi modeli yordamida ko‘rib chiqilayotgan masalani chiziqli-kvadratik dasturlash masalalarini sinfiga aylantiradigan barcha cheklavlarga rioya qilgan holda, maqsad funksiya J funksionalini minimumga yetkazish:

$$\bar{x}(t) = f(\tau, \bar{x}(\tau), \bar{u}(\tau)), \quad \bar{x}(\tau)|_{\tau=t} = x(t).$$

Oxirgi elementlarni boshqaradigan (CV) va boshqariladigan (MV) o‘zgaruvchanlar o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalaydigan uzatish funksiyalari yoki chekli impulslarning funksiyalari bo‘lib “model matritsalarini” ni ifodalaydi.

Virtual analizatorlar tarkibiga matematik modellar mavjud, ular asosida yarim tayoyr yoki tayyor mahsulotning sifat ko‘rsatkichlarining baholari yoki sifat ko‘rsatkichining bashoratlari texnik o‘lchov vositalari orqali olingan ma‘lumotlar asosida hisoblanadi, bu esa o‘z navbatida texnologik jarayonlarni real vaqt rejimida nazorat qilish va boshqarish imkonini beradi.

O‘rganilayotgan jarayonning modeli matritsasi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. O‘simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonining “modelli matritsasi”: CV – boshqariladigan o‘zgaruvchilar, MV – boshqarish o‘zgaruvchilar.

Tadqiqot obyekti modeli “MATLAB” dasturiy paketida aniq cheklavlarga ega noaniq (yumshoq) boshlang‘ich va chegaraviy shartlar bo‘yicha boshqarish modeli yordamida verifikatsiyalangan.

Sozlanishi mumkin bo‘lgan parametrlar kerakli mos yozuvlar traektoriyasi o‘rtasidagi tafovutni minimallashtirish orqali optimallashtirish muammosini hal qilish natijasini ifodalaydi va tegishli boshqarish ta‘sirini bashorat qilishning har bir gorizontida jarayon tomonidan bashorat qilinadi.

Bashoratli chiqish signali

$$y_p(K+1) = [y_p(K+1), \dots, y_p(K+P)]^T$$

o‘zida aks ettiradi

$$y_p(K+1) = y_m(K+1) + G_0 E(k),$$

Bu yerda boshqariladigan bashorat gorizonti bilan quyidagi tenglamalar keltirilgan:

$$E(k) = Y(k) - y_m(k),$$

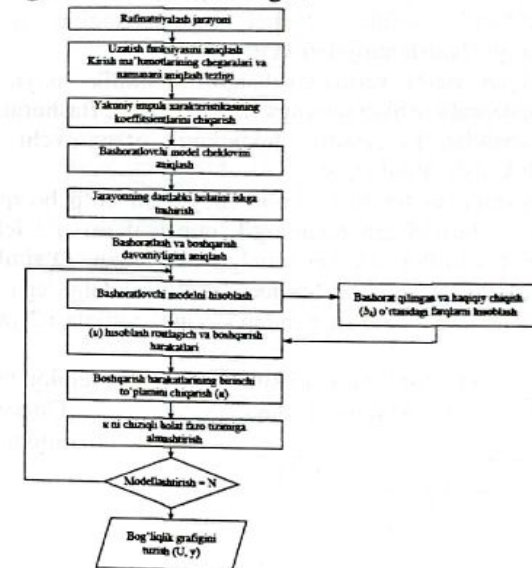
$$y_m(K+1) = [y_m(K+1), \dots, y_m(K+P)]^T,$$

$$\Delta U(k) = [\Delta u(k), \dots, \Delta u(k+M-1)]^T.$$

Boshqariladigan bashorat gorizonti $\Delta(k)$ maqsad funksiyasini minimallashtirish orqali hisoblanadi.

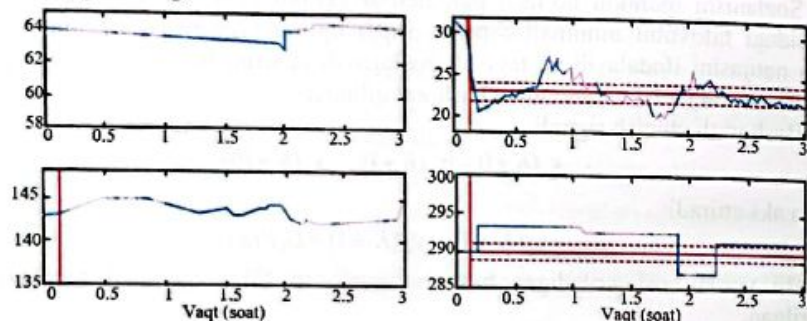
$$J(k) = [Y_r(k+1) - Y_p(k+1)]^T Q [Y_r(k+1) - Y_p(k+1)] + U(k)^T R U(k).$$

4-rasmda o‘rganilayotgan jarayonni optimal boshqarish uchun boshqarish harakatlarini hisoblash algoritmini amalga oshiradigan dasturlanadigan mantiqiy kontroller ishlashining blok sxemasi keltirilgan.



4-rasm. DMK blok-sxemasi.

5-rasmda modellashtirish natijalari keltirilgan. Grafiklaridan ko'rinib turibdiki yumshoq cheklavlarga ega MPC-tizimining ishlashi belgilangan boshqariladigan o'zgaruvchilarni boshqarish uchun yuqori qobilyatga ega dasturlanadigan mantiqiy kontroller qo'llanilgan.



5-rasm. Modellashtirish natijalari.

Yumshoq tengsizliklarga ega bo'lgan boshqarish DMK yumshoq chekloddan tashqari kuchli ta'sirlarni amalga oshiradi, buning natijasida o'rganilayotgan obyektning barqarorligi oshadi va o'simlik moylarini rafinatsiyalashning texnologik jarayonini optimallashtirishga erishiladi.

Shunday qilib, yumshoq cheklavlarga ega bo'lgan MPC-tizimining ishlashi boshqarish ta'sirining davomiyligi pasayishi tufayli sezilarli darajada oshadi.

Ishda tajriba ishlanmalarining tajriba-ishlab chiqarish sinovlari va o'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonini real vaqt rejimida takomillashtirilgan (ilg'or) boshqarish tizimlari sinfida optimal boshqarishning usullari, model va algoritmlarining qo'llanish natijalari keltirilgan.

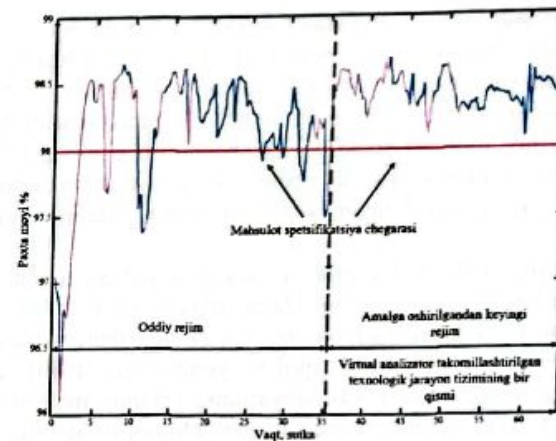
Taklif etilgan tizim rafinatsiyalangan o'simlik moyining sifatini qat'iy belgilangan diapazonda ushlab turishga imkon beradi. Bashoratlovchi modelga ega optimal boshqarishdan foydalanish texnologik o'zgaruvchi RMSE mezonining pasayishiga olib kelishi aniqlangan.

Optimal boshqarish tizimi o'simlik moylarini ko'p bosqichli rafinatsiyalash jarayoni amalga oshiriladigan texnologik qurilmalarni o'z ichiga qamrab olgan ko'p parametrlil kontroller sifatida amalga oshirilgan. O'simlik moylari sifatini barqarorligini tahlil qilish uchun bashoratlovchi modelga ega optimal boshqarish tizimini o'rnatishga qadar va o'rnatishdan keyingi natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

O'simlik moylari sifatini barqarorligining tahlili

Me'zon	Mavjud boshqarish, %	Optimal boshqarish tizimidan keyingi holat, %
RMSE	0,710	0,380



6-rasm. Virtual analizatorli optimal boshqarish tizimini joriy qilgandan oldingi va keyingi o'simlik moyi sifatining barqarorlanishini qiyosiy tahlili.

Virtual analizator tarkibida mavjud bo'lgan optimal boshqarish tizimini joriy qilgandan so'ng optimal boshqarishda o'simlik moyi sifatining barqarorlanishi sifatiroq kechishi (98,7 % tashkil qilgan) aniqlangan (6-rasm).

XULOSA

Dissertatsiya zamonaviy avtomatik boshqarish nazariyasini tizimli tahlil qilish konsepsiyalari asosida o'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonini optimal boshqarish tizimlarini qurish uchun konstruktiv metodologiyasi ishlab chiqilgan.

1. Tizim tahlili o'tkazilgan va texnologik jarayonlarni optimal boshqarish bo'yicha mavjud algoritmlar o'rganilgan. O'simlik moylarini rafinatsiyalashni takomillashtirish va rivojlantirishning ustuvor hamda istiqbolli yo'nalishlari belgilab olingan. Natijada, o'lchov ma'lumotlarining tashqi va ichki noaniqliklari sharoitida murakkab tizimlarni boshqarishning bashoratli imkoniyatlari oshgan.

2. Yog' kislotalarini neytrallashtirish jarayonida kimyoviy reaksiyaning massa almashinuvini matematik modellashtirish o'simlik moylarini rafinatsiyalash uchun amalga oshirilgan. Natijada, kimyoviy transformatsiyalar bilan murakkablashgan issiqlik va massa almashinuv jarayonlarini modellashtirish va optimallashtirishga taklif qilingan yondashuvni qo'llash imkoniyati oshgan.

3. Tajribaviy usullar bilan modeli tizimlardan e.y.k.ni murakkab ajratib maxsus reagentlarning ratsional olish aniqlangan. Natijada, o'simlik moylari tarkibidagi erkin yog' kislotalarining tarkibini bilvosita pH-metrik usuli bilan aniqlanishi asoslangan.

4. Yog' kislotalarini tarkibini pH bo'yicha aniqlashning bilvosita usulini apparat va texnik jihatdan amalga oshirish uchun dastlabki ma'lumotlar yaratilgan va oqim ekspress-analizatorning prototipi ko'rinishida texnik shart tayyorlangan; o'simlik moylarini rafinatsiyalashning optimal parametrlari eksperimental tarzda

aniqlangan. Natijada, virtual analizator modeliga kiritilgan teskari aloqa konturini imkoniyati oshadi, bu esa yakuniy mahsulot sifatini oshirishga imkon bergan.

5. Rafinatsiyalangan o'simlik moylari sifatining virtual analizatorini o'simlik moylarini rafinatsiyalashning texnologik jarayonlarini optimal boshqarish tizimining tarkibiy bloklari shaklida ishlab chiqish usuli taklif etilgan. Natijada o'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini optimal boshqarishni tizimlashtirish, rafinatsiyalangan yog'ning zarur sifatini ta'minlash mumkin bo'lgan.

6. Eksperimental ma'lumotlar va o'rganilayotgan texnik jarayon haqidagi induktiv bilimlar asosida bog'liqliklarni tiklash yo'li bilan olingan tajribalar o'rganilayotgan texnologik jarayonning o'ziga xos; matematik modelini qurishga asoslangan virtual analizatorni qurish yondashuvi taklif etilgan. Natijada, boshqarish tizimining o'tkazish qobiliyatining yakuniy mahsulot sifatini o'lchash uchun laboratoriya vositalarining ishlab chiqarish qobiliyatiga muvofiqligi ta'minlangan.

7. Bilimlar bazasini yaratish, o'qitish va tadqiqot obyektni parametrik identifikatsiyalash asosida optimal boshqarish tizimi uchun dasturiy ta'minot ishlab chiqilgan. Natijada, texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni boshqarish uchun sintezlagan tizimlarning hisoblash imkoniyatlarini intellektualashtirish darajasi oshgan.

8. Yog' ekstraksiyasining yakuniy mahsuloti sifatini sintezlash tizimiga virtual analizatorni kiritish, rafinatsiyalangan yog'ning zarur sifatini ta'minlash va moylarni rafinatsiyalashni bashoratlash modellari asosida o'simlik moylarini rafinatsiyalash texnologik jarayonlarini optimal boshqarish tizimi ishlab chiqilgan. Natijada, rafinatsiyalangan yog'ning talab qilinadigan sifati va energiya sarfini kamaytirish ta'minlangan.

9. Normal va yumshoq chegaralanishlarga ega bo'lgan texnologik jarayonlarni boshqarishning MPC-tizimi qiyosiy tahlil qilish yo'li bilan yumshoq chegaralanishlar orqali boshqarish boshqaruvchi ta'sirlarning davomiyligi aniqlandi. Natijada, boshqarish obyekti faoliyati barqarorligi oshishi hamda yakuniy mahsulot sifat ko'rsatkichlari bo'yicha o'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonini optimallashtirishni ta'minlaydigan kuchliroq boshqaruvchi ta'sirlarni amalga oshirishi aniqlangan.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

САМАДОВ ЭЛЬЁР ЭРКИНОВИЧ

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ РАФИНАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

05.01.08 - Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Ташкент – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2022.2.PhD:Т2845.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович,
доктор технических наук, профессор,
академик АН РУз

Официальные оппоненты: Исмаилов Мирхалил Агзамович
доктор технических наук, профессор
Кадиров Ёркин Баходирович
доктор философии (PhD) по техническим наукам,
доцент

Ведущая организация: Бузарский инженерно – технологический институт

Защита диссертации состоится « 2 » 03 2024 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc 03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано № 321). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.)

Автореферат диссертации разослан « 17 » 02 2024 года.
(реестр протокола рассылки № 2 от « 5 » 01 2024 года)




Ф.Т.Адилов
Заместитель председателя Научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор


У.Ф.Мамиров
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук (DSc), доцент


Х.З.Игамбардиев
Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор, академик АН РУз

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во всем мире перспективы дальнейшего развития ведущих отраслей промышленности, в том числе и масло-жировой отрасли неразрывно связаны с повышением удельного веса энерготехнологических процессов, возрастанием их энергоемкости в условиях, когда необходимо обеспечить достижение предельно возможных технико-экономических показателей работы технологического оборудования. Важное значение при этом имеет разработка методов усовершенствования его конструктивных характеристик и соответствующей организации режимов функционирования технологического оборудования, оптимальных по принятым критериям эффективности. В связи с этим одним из главных вопросов в этом направлении считается синтез систем оптимального управления технологическими процессами. Это определяется разработкой оптимальных алгоритмов и моделей управления с учетом требований к качеству системы управления.

В мире ведутся научные исследования, направленные на повышение качества управления технологическими процессами рафинации растительных масел. В связи с этим актуальным является решение проблем разработки и совершенствования системы оптимального управления процессом рафинации растительного масла. В настоящее время также особое внимание уделяется созданию оптимальной системы управления, разработке математических моделей и алгоритмов, разработке оптимальных систем управления процессом рафинации, обеспечивающих качество конечного продукта растительных масел и энергоэффективность.

В республике большое внимание уделяется автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами, в том числе созданию интеллектуальных методов и систем управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение, оптимальное управление технологическими процессами рафинации растительных масел. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определены задачи, в том числе «... снижения потерь в отраслях промышленности и повышения эффективности использования ресурсов, внедрения современных энергосберегающих технологий, ... финансирования проектов по повышению энергоэффективности».¹ Для выполнения этих задач важным является синтез и внедрение высокоэффективных методов и интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами и производствами.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, предусмотренных Постановлениями Президента Республики №УП4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №ПП-3983 от 25 октября 2018 года «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности Республики Узбекистан», №ПП-4118 от 16 января 2019 года «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию масложировой отрасли и внедрению рыночных механизмов управления отраслью» и №ПП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022г. №УП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

реформированию повышения инвестиционной привлекательности химической промышленности», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики III. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий» и VI. «Химические технологии, нефтехимия и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. В ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира проводятся научные исследования, направленные на разработку высокопроизводительных систем автоматизации и оптимального управления технологическими процессами, в том числе, в «Honeywell», «SIMSCI-Simulation», University of California, Massachusetts institute of technology (США), «Siemens» и Universität in Münster (Германия), Imperial college London (Великобритания), University of Chemical Technology in Prague (Чехия), «Ma WEA INDUSTRIES Enabling Digitalization» (Малайзия), «Simatek-Energy» (Беларусь), МГТУ имени Н. Э. Баумана (Россия).

В развитие вопросов создания теоретических основ методов оперативного контроля и оптимального управления технологическими процессами и производствами с использованием прогнозных моделей и виртуальных анализаторов внесли свой весомый вклад зарубежные Е.Ф.Камачо², В.Домбровский³, Ж.Гроссо, Л.Р.Маркин, А.Ю.Торгашев⁴, Р.Верше⁵, Д.Б.Роллингс, Д.А.Росситер и др., а также отечественные учёные А.А.Абдурахимов⁶, С.А.Абдурахимов⁷, А.А.Артиков⁸, У.К.Ахмедов⁹, А.Л.Марьяман, К.Х.Маджидов¹⁰, А.И.Глуценкова¹¹, И.Б.Исабаев¹², М.А.Рахимжанов, З.С.Салимов, Н.Р.Юсупбеков¹³ и др.

² Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control. – London: Springer-Verlag, 2004.

³ Dombrovskiy V., Obedko T. Model predictive control for constrained systems with serially correlated stochastic parameters and portfolio optimization // Automatica. – 2015. – V. 54. – P. 325–331.

⁴ Torgashov A. Yu. Identifikatsiya zapazdyvaniya dinamicheskogo obyektа na osnove prognoziruyushy modeli // Sibirskiy jurnal industrialnoy matematiki. 2008. № 2. S. 112-123.

⁵ R. Vershe, T. Verleyen, V. Van Hoed, and W. De Greyt. "Influence of refining of vegetable oils on minor components," Journal of Oil Palm Research, vol. 4, pp. 168 – 179, 2006.

⁶ Y.Q. Qodirov, A.T. Ruziboyev, A.A. Abdurahimov YOG'LARNI RAFINATSIYALASH VA KATALITIK MODIFIKASIYALASH. DARSLIK. Toshkent-2020.

⁷ С.А.Абдурахимов, А.А.Нормуминович. Совершенствование технологии щелочной рафинации прессового масла, получаемого из низкосортных семян хлопчатника // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 3(72).

⁸ Севинов У.Б. Артиков А.А. Нарзиев М.С. Хамроев Х.Х. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ МАСЛИЧНОЙ ФУЗЫ НА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. 4(97).

⁹ Ахмедов У.К., Курамбаев Ш.Р., Бахтияров С.Б. Совершенствование технологии рафинации экстракционного хлопкового масла // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. 2(95). С. 58-61.

¹⁰ Saidvaliev S.S. and Majidov K.Kh. 2020. Graphic Models of Micelles of Solutions of Sodium Salts of Fatty Acids and Research of Changes occurring in them. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci. 9(7): 2923-2930.

¹¹ Глуценкова А.И. Влияние природы катализаторов и режимов гидрирования хлопкового масла на состав гидрогенизаторов: Автореф. дис... докт. техн. наук. – М., 1981. – 47с.

¹² Исабаев И.Б. Повышение эффективности производства и пищевой ценности масложировой и хлебопекарной продукции.: Автореф. дис... докт. техн. наук. – Ташкент. 2006. – 51с.

¹³ N.R.Yusupbekov, H.Z.Igamberdiev, U.F.Mamirov. Adaptive control system with a multilayer neural network under parametric uncertainty condition // CEUR Workshop Proceedings 2782, 2021. -P.228-234.

Исследования, выполненные указанными учеными и специалистами, имеющие прогностическую модель, по в режиме реального времени с использованием виртуальных анализаторов недостаточно уделено внимания методам и алгоритмам оптимизации управления технологическими процессами и проблемам разработки оптимального управления производством, поэтому управление процессом рафинирования растительного масла является одной из актуальных задач.

Связь диссертационного исследования с научными планами высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках исследовательского проекта Ташкентского государственного технического университета: OT-F7-88 – «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсосберегающих теплообменных процессов сложных химико-технологических систем получения чистых продуктов» (2017-2020).

Цель исследования заключается в разработке и реализации системы оптимального управления сложными многостадийными технологическими процессами рафинации растительных масел, позволяющей в масштабе реального времени осуществлять достоверную оценку и прогноз качества конечной продукции с обеспечением энерго- и ресурсосбережения.

Задачи исследования:

анализ потенциальных возможностей существующих алгоритмов оптимального управления технологическими процессами с прогнозирующей моделью и виртуальными анализаторами и выявление тенденций их развития и совершенствования;

обоснование способа косвенного рН-метрического измерения содержания свободных жирных кислот в составе рафинированных растительных масел;

разработка математической модели процесса рафинации растительных масел; разработка программного приложения, реализующего контроль качества по кислотному числу растительных масел;

разработка поточного экспресс-анализатора качества рафинированного масла; извлечение дополнительной информации из исходных массивов данных измерений для построения виртуального анализатора качества растительных масел;

разработка системы оптимального управления технологическими процессами рафинации в классе систем усовершенствованного управления с прогнозирующими моделями и виртуальными анализаторами качества конечной продукции.

Объектом исследования являются сложные многостадийные технологические процессы рафинации растительных масел.

Предмет исследования составляют методы и алгоритмы разработки систем оптимального управления процессами рафинации растительных масел.

Методы исследования. В процессе исследования использовались: системный анализ, математическое моделирование и оптимизация технологических процессов и производств, методы технологических измерений, методы нечеткой логики, современные методы автоматического управления.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

обоснована необходимость применения поточных анализаторов в задачах оптимального управления многостадийными технологическими процессами рафинации растительных масел в реальном масштабе времени на основе прогнозирующего определения качества конечного продукта;

разработаны методы структурирования виртуальных анализаторов на основе параметрической модели технологического процесса рафинации растительных масел;

разработан способ оптимального управления тепло- массообменными процессами со сложной гидродинамической обстановкой взаимодействующих фаз на основе повышения эффективности функционирования производства растительных масел;

разработана прогнозирующая модель системы управления процессом рафинации растительных масел, имеющая относительную простоту базовой схемы формирования обратной связи, обладающая высокими адаптивными свойствами, на основе расширения функциональных возможностей синтезируемых систем.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

показано, что косвенные методы измерения pH могут быть использованы для определения содержания жирных кислот в композиции растительного масла;

предложен способ повышения достоверности результатов применения поточных анализаторов путем обеспечения требуемого соответствия их пропускной способности с технологичностью лабораторных средств анализа проб конечной продукции маслоэкстракционного производства;

предложена параметрическая модель технологического процесса рафинации растительных масел, позволяющая включать в состав усовершенствованных систем управления виртуальные анализаторы.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований основана на выполнении методически обоснованных теоретических расчетов, использовании научных концепций при построении виртуальных анализаторов, прогнозирующих показатели качества конечного продукта, на основе подхода определения и управления технологическим процессом рафинации растительных масел; разработка оптимальной системы управления сложными технологическими процессами, а также обеспечена совместимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, проводимых с использованием современных методов, а также положительными результатами промышленных экспериментов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования состоит в разработке конструктивного метода построения оптимальной системы управления технологическим процессом рафинации растительных масел в классе систем усовершенствованного управления динамическими объектами в реальном масштабе времени с прогнозированием качества конечной продукции и управлением по общепринятым критериям эффективности

Практическая значимость результатов исследований объясняется программной реализацией методики разработки перспективных систем управления с прогностической моделью и широким применением в составе системы управления

виртуального анализатора качества продукции при рафинировании масел в режиме реального времени, что позволит повысить достоверность и оперативность получаемых оценок.

Внедрение результатов исследования. Полученные научные результаты по оптимальному управлению технологическими процессами рафинации растительных масел внедрены в следующем:

оптимальная система управления многостадийным технологическим процессом рафинации растительного масла, разработанная с использованием оперативных экспресс-анализаторов расхода с возможностью работы в режиме реального времени внедрена на АО «Янгийул ёғ-мой» (Справка Ассоциация предприятий «Ўзёғмойсаноати» №НМ/3-513 от 24 ноября 2023 года). В результате достигнуто повышение качества системы управления процессом рафинации;

программное обеспечение на основе алгоритма, включенного в модель экспресс-анализатора, внедренное на АО «Янгийул ёғ-мой» (Справка Ассоциация предприятий «Ўзёғмойсаноати» №НМ/3-513 от 24 ноября 2023 года). В результате повышена эффективность управления технологических процессов рафинации растительных масел и снижены энергозатраты на 3 %;

предложена параметрическая модель технологического процесса рафинации растительных масел, позволяющая включать в состав усовершенствованной системы управления виртуальный анализатор, внедренный на АО «Янгийул ёғ-мой» (Справка Ассоциация предприятий «Ўзёғмойсаноати» №НМ/3-513 от 24 ноября 2023 года). В результате достигнуто повышение точности определения параметров объекта.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования апробированы на 2 международных и 5 республиканских научно-технических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной комиссией Республики Узбекистан, (одна из них – в иностранном журнале), 2 свидетельства о регистрации программного продукта для ЭВМ, выданных Агентством интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 107 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении определяется актуальность научно-технической проблемы, решаемой в диссертации, указываются основные задачи исследования, отмечены предмет и цели исследования, определяется степень соответствия темы исследования приоритетным направлениям научно-технического развития Республики Узбекистан, отражается степень разработанности темы, указывается научная новизна, описывается практическая направленность диссертационного исследования, показывается достоверность и обоснованность полученных результатов, объясняется научная и практическая значимость полученных результатов, приводятся данные об апробации диссертационного исследования.

В первой главе диссертации, озаглавленной «Анализ проблем и методов оптимального управления технологическими процессами и производствами на основе прогнозирующей модели», приводится обзор литературных источников, включая патенты и авторские свидетельства на изобретения. В ней воссоздана картина современного состояния теории и практики систем оптимального управления технологическими процессами и производствами. Рассматриваемый в данной работе класс систем оптимального управления решает задачи, начиная от стабилизации функционирования сложного технологического объекта и кончая его статической и динамической оптимизацией и оперативно-прогноznым оптимальным управлением по критериям эффективности обеспечения максимальной производительности технологического оборудования, минимальной себестоимости выпускаемой продукции, минимизации показателя удельного энергопотребления при обеспечении требуемого качества конечной промышленной продукции.

Одна из задач диссертационного исследования сводится к промышленному производству растительных масел высокого качества при минимальном потреблении энергии и ресурсов.

Производство высококачественных рафинированных растительных масел невозможно, если не обеспечен переход от выборочной системы управления качеством товарной продукции к эффективной системе управления качеством. Такой подход обеспечивает не только выпуск качественной продукции, но и предотвращение брака.

Литературный обзор свидетельствует об отсутствии поточных анализаторов качества рафинированных растительных масел, обеспечивающих требуемую полноту, оперативность, точность и целостность первичной измерительной информации с точки зрения создания контуров оптимального управления установками рафинации растительных масел. Отсюда возникает востребованная задача создания и реализации системы виртуального мониторинга технологических процессов промышленного производства рафинированных растительных масел в реальном масштабе времени и расширения функциональных возможностей и технической базы распределенного мониторинга, оперативного контроля и оптимального регулирования динамических объектов.

Вторая глава диссертации озаглавлена «Исследование процесса рафинации растительных масел как объектов мониторинга и управления». В ней анализируется проблема построения систем оптимального управления многомерными технологическими объектами по заданному критерию эффективности в режиме реального времени. Рассматриваются задачи построения систем оптимального управления технологическими процессами промышленной рафинации растительных масел в классе систем усовершенствованного (продвинутого) управления с прогнозирующей моделью. Целевая ориентация проектируемой системы управления состоит в оценке показателей качества конечной продукции – рафинированных растительных масел.

Изучение и оценка эффективности процесса нейтрализации жирных кислот в растительных маслах, которые подвергаются нейтрализации, вкупе с показателем содержания нейтрализующего агента, могут служить критерием эффективности

оперативного определения содержания свободных жирных кислот (с.ж.к.) в исследуемых растительных маслах.

В диссертационной работе выполнено моделирование массопереноса при нейтрализации свободных жирных кислот в щелочной среде.

Обратимся к моделированию массопереноса с химической реакцией при нейтрализации с.ж.к. щелочью. Исследуемая массопередача включает стадии:

- извлечения с.ж.к. из состава растительных масел;
- диффузионного извлечения с.ж.к. с поверхности раздела фаз;
- диффузии растительного масла в водную среду.

Исходя из материального баланса взаимодействующих масс, перемещение границы фаз можно описать дифференциальным уравнением:

$$\frac{d}{d\tau} \lambda(\tau) = \left[\frac{\frac{\partial}{\partial \tau} C(\xi, \tau)}{\frac{\partial}{\partial \xi} C(\xi, \tau)} \right]_{\xi=\lambda}$$

Для решения задач массопередачи при химических превращениях используются следующие уравнения диффузии:

$$V_{\xi}'(\xi_k) \cdot \frac{\partial}{\partial \tau} [C_K(\xi_k, \tau)] = \frac{D_{oK}}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_k} \left\{ S(\xi_k) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_k} [C_K(\xi_k, \tau)] \right\};$$

$$V_{\xi}'(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \tau} [C_M(\xi_c, \tau)] = \frac{D_{oM}}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} \left\{ S(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} [C_M(\xi_c, \tau)] \right\};$$

$$V_{\xi}'(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \tau} [C_{NaOH}(\xi_c, \tau)] = \frac{D_{oM}}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} \left\{ S(\xi_c) \cdot \frac{\partial}{\partial \xi_c} [C_{NaOH}(\xi_c, \tau)] \right\}.$$

При совместном решении системы из трех дифференциальных уравнений имеют место следующие полиномы пробных функций:

$$C_K(\xi_k, \tau) = \sum_{i=1}^n a_i(\tau) \cdot \left[1 - \left(\frac{\xi_k}{2} \right)^{(2i+1)} \right];$$

$$C_M(\xi_c, \tau) = \sum_{i=1}^n b_i(\tau) \cdot \left[\left(\frac{\xi_c}{2} - 1 \right)^{(2i+1)} + \left(\frac{\xi_c}{2} - 1 \right) \right];$$

$$C_{NaOH}(\xi_c, \tau) = \sum_{i=1}^n d_i(\tau) \cdot \left[\left(\xi_c \right)^{(2i+1)} - 1 \right].$$

Окончательная форма функции распределения концентрации жирных кислот в растительном масле выглядит следующим образом:

$$C(x, t) = \frac{\left[\cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot x\right) + 1 \right]}{2} \cdot C_k(x, |A(\tau)|) + \frac{\left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot x\right) \right]}{2} \cdot C_w(x, |B(\tau)|).$$

Начальное распределение концентрации щелочи показано на рис. 1.

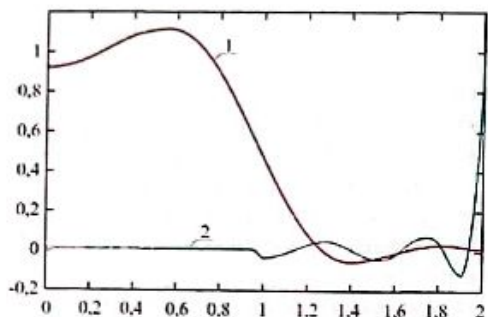


Рис. 1. Обобщенная функция распределения в пограничном слое с.ж.к. $C(\xi, 0)$ и щелочи $C_{NaOH}(\xi, 0)$; 1 – с.ж.к.; 2 – щелочь.

Исследование технологического объекта позволило обосновать способ определения концентраций свободных жирных кислот в растительных маслах. Исследования технического процесса нейтрализации жирных кислот в реальном времени (табл. 1) показали, что критерием эффективности исследуемого технологического процесса является содержание жирных кислот в растительном масле.

Таблица 1

Исследование жирных кислот в растительном масле

Время работы	Кислотность масла, мг КОН		Степень нейтрализации	Содержание агента нейтрализации, %	
	Гидратация	Нейтрализация, промывка и сушка		Фактическое	Расчетное
I	2,71	0,13	1,50	1,76	1,78
II					
2	2,24	0,17	2,22	1,75	1,48
4	2,55	0,19	1,47	1,43	1,65
8	2,70	0,15	1,52	1,63	1,76
10	2,57	0,12	2,10	1,81	1,68
14	2,82	0,24	1,47	1,63	1,84
16	2,90	0,14	1,54	1,82	1,88

Приведенные данные позволяют сделать заключение о целесообразности реализации способа оперативного контроля содержания жирных кислот в составе рафинированных растительных масел.

Изучение и оценка эффективности процесса нейтрализации жирных кислот в растительных маслах, которая подвергается нейтрализации, вкупе с показателем содержания нейтрализующего агента, могут служить критерием эффективности оперативного определения содержания с.ж.к. в исследуемых растительных маслах.

Третья глава диссертации, озаглавленная «Разработка поточных экспресс-анализаторов качества промышленной продукции для систем оптимального управления процессом рафинации растительных масел», посвящена научно-методологическим основам построения экспресс-поточных анализаторов и их использованию в системах оптимального управления технологическими процессами рафинации в маслоэкстракционном производстве.

В системах оптимального управления динамическими объектами в роли СВ – управляемых параметров во многих случаях выступают показатели качества полупродуктов и конечной товарной продукции при измерении и определении качества конечной продукции как важнейшего параметра оптимизации объекта контроля и управления. Несмотря на исключительную важность показателей качества товарной продукции, в подавляющем большинстве случаев (к которым относятся и проблемы измерения качества рафинированных растительных масел), не представляется возможным напрямую измерять в режиме реального времени с помощью специального аналитического измерительного оборудования для масло-жировой промышленности, качество производимой продукции в виде рафинированных растительных масел, для которой характерно отсутствие аналитических измерительных систем.

В работе показано, что проблемы обеспечения требуемой оперативности, целостности и достоверности первичной измерительной информации обеспечиваются мониторингом исследуемого объекта, сводящимся к добыче новых знаний о состоянии исследуемого объекта, его статике и динамике, формирующихся из ретроспективной и оперативной информации, получаемой средствами измерения.

Виртуальные анализаторы (ВА) представляют собой программно-алгоритмические комплексы. На базе измеряемых переменных технологического объекта они оценивают выходные переменные, формируя математические модели прогнозирования показателей качества по данным технологических измерений исследуемого динамического объекта.

Регрессионная модель виртуального анализатора на основе оптимальных преобразований, реализуемых методом чередующихся математических ожиданий (АСЕ) для оценки выходной переменной ВА, имеет вид:

$$\bar{y} = \theta^{-1} (b_0 + \sum_{i=1}^m \hat{\varphi}_i(u)), i = 1, \dots, m.$$

где θ^{-1} – обратная функция суммы оптимальных преобразований выходной переменной Y ; b_0 – свободный член, $\hat{\varphi}_i$ – функция преобразований переменной $U_i, i = 1, \dots, m$.

При вычислении функций $\hat{\varphi}_i(u_i)$ используется аппроксимация оптимальных полиномиальных преобразований:

$$\hat{\varphi}_i(u_i) \approx \sum b_{(i-q)} U_i^q, q = 0, \dots, p.$$

Здесь U_i – значения входных переменных технологического объекта в степени $q = 0, \dots, p$.

При решении задач оптимального управления технологическими процессами и производствами хорошо зарекомендовали себя виртуальные анализаторы на базе линейных регрессионных уравнений с автоматической корректировкой свободного члена b_0 по данным лабораторного контроля:

$$b_{0_{new}} = b_0 + k(Y_{lab} - Y_{model}).$$

Лабораторный показатель качества конечной продукции Y_{lab} сравнивается с показателем качества товарного продукта, определенного по регрессионной модели с учетом соответствующего весового коэффициента данных лабораторного анализа.

На каждом этапе разработки виртуального анализатора реализуются следующие действия:

формализация исследуемого технологического процесса с помощью определенного математического аппарата;

определение схемы информационных потоков в исследуемом объекте;

база индуктивных знаний о технологическом процессе с соответствующими базами данных об объекте исследования, технологическом оборудовании, базы локальных точечных моделей исследуемых процессов и явлений;

оценка рекомендацией для управления технологическим процессом с идентификатором в составе цепи отрицательной обратной связи.

В работе излагается методика разработки виртуального анализатора на основе формирования идентификационной модели с использованием индуктивных знаний, под которыми понимаются закономерности, выявляемые путем восстановления зависимостей, статистически определяемых по эмпирическим данным.

При управлении технологическим объектом в любой момент времени создается модель вида:

$$y(n+1) = \sum_{i=1}^N a_i y(n+1-i) + \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^M b_{ij} x_j(n+1-i) + \sum_{i=1}^K c_i u(n+1-i).$$

На стадиях установления адекватности модели виртуального анализатора использовались следующие критерии:

$$RMSE = (\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2 / M)^{1/2};$$

$$BSC = M \ln(\sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2) + p \ln(M) - M \ln(M);$$

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^M (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y}_i)^2.$$

Величина выходной переменной y_i сопоставляется со значением \hat{y}_i , получаемым виртуальным анализатором с учетом имеющихся ограничений, которые вычисляются в виде выходных переменных регрессионной модели анализатора.

При этом, чем меньше величина критерия $RMSE$ – квадратного корня из среднеквадратичной ошибки; а также чем меньше значение критерия BSC и чем ближе к единице коэффициент детерминации R^2 , тем больше анализируемая модель соответствует исследуемому объекту.

Решение задачи оптимального управления с прогнозирующей моделью иллюстрирует рис. 2.

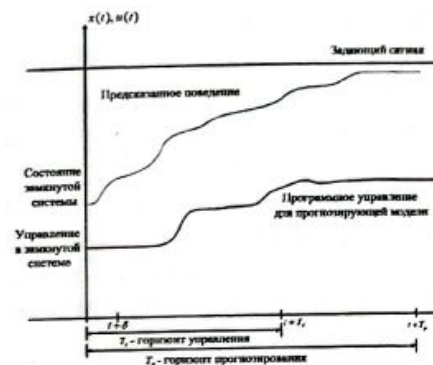


Рис. 2. Решение задачи линейно-квадратичного программирования.

Алгоритм оптимального управления с прогнозирующей моделью включает в себя следующие шаги:

1. Оценка вектора состояния объекта.
2. Решение оптимизационной задачи.
3. Реализация оптимального управления, найденного как решение задачи линейно-квадратичного программирования.
4. Замена времени t на время $(t + \delta)$ и повторение шагов 1 ÷ 3.

Четвертая глава, озаглавленная «Построение системы оптимального управления процессом рафинации растительных масел», отражает последовательную методику реализации алгоритма усовершенствованного управления технологическими процессами и производствами в реальном масштабе времени на основе прогнозирующих моделей с применением виртуальных анализаторов качества конечной промышленной продукции.

В последнее время прогнозирующее управление является наиболее широко применяемой технологией оптимального управления технологическими процессами в промышленных приложениях. Алгоритмы прогнозирующего управления используют явную модель технологического процесса для прогнозирования будущего поведения объекта. Хотя технологические процессы обычно содержат сложные нелинейности, большинство стратегий управления с прогнозирующей моделью основаны на линейной модели технологического процесса. В этом случае используется подход редукции модели, который позволяет эффективно реализовать алгоритм управления с помощью прогнозирующих моделей.

Задача оптимального управления с прогнозирующим моделированием означает, что система управления формализуется с помощью n -мерных векторных входных $x(t)$ и m -мерных векторных управляющих $u(t)$ состояний объекта:

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t), u(t)), \quad x(0) = x_0.$$

Ограничения в виде неравенств могут быть наложены на эти компоненты векторов состояния входного $x(t)$ и управляющего $u(t)$ воздействий:

$$x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max}, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$u_{j \min} \leq u_j \leq u_{j \max}, \quad j = 1, \dots, m.$$

Цель управления состоит в выполнении условий:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|x(t) - r_x(t)\| = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \|u(t) - r_u(t)\| = 0.$$

Здесь заданные зависимости $r_x(t)$ и $r_u(t)$ выражают требуемую динамику объекта. Качество управления оценивается с помощью критериев эффективности $J(x(t), u(t))$, которые заданы в классе квадратичного функционала:

$$J = \int_0^{\infty} [(x(t) - r(t))^T R(x(t) - r(t)) + \lambda^2 u^T(t) Q u(t)] dt.$$

где $r(t)$ – сигнал задания; R и Q – матрицы весовых коэффициентов.

Первое слагаемое выше показывает значение критерия эффективности при его отклонении от заданного сигнала, а второе указывает на величину MV – управляющего параметра.

Рассматриваемая задача оптимального управления формулируется следующим образом: необходимо доставить минимум функционалу целевой функции J при соблюдении всех ограничений, которые обращают нашу задачу в класс задач линейно-квадратичного программирования с использованием прогнозирующей модели технологического процесса:

$$\bar{x}(t) = f(\tau, \bar{x}(\tau), \bar{u}(\tau)), \quad \bar{x}(\tau)|_{\tau=0} = x(t).$$

Последняя представляется в виде "матрицы модели", элементами которой являются передаточные функции или функции конечных импульсов или передаточные функции, описывающие зависимости между управляющими переменными (CV) и управляемыми переменными (MV).

В состав виртуальных анализаторов входят математические модели, на базе которых рассчитываются оценки либо собственно прогноз показателя качества полупродукта или товарной продукции на основании данных, полученных средствами измерительной техники, что позволяет осуществлять контроль и управление технологическим процессом в реальном масштабе времени.

Модельная матрица исследуемого процесса представлена на рис. 3.

Модель объекта исследования верифицируется с помощью модели управления с четкими ограничениями мягкими нечеткими начальными и граничными условиями в программном пакете «MATLAB».

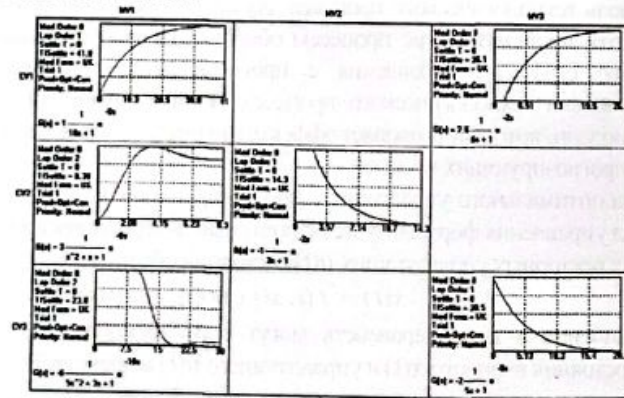


Рис. 3. «Модельная матрица» технологического процесса рафинации растительных масел. CV – управляемые переменные, MV – управляющие переменные.

Регулируемые параметры представляют результат решения задачи оптимизации посредством минимизации расхождения между желаемой опорной траекторией и прогнозируемым процессом на каждом горизонте прогнозирования соответствующих управляющих воздействий.

Прогнозируемый выходной сигнал

$$y_p(K+1) = [y_p(K+1), \dots, y_p(K+P)]^T$$

представляет собой

$$y_p(K+1) = y_m(K+1) + G_0 E(k),$$

где при управляемом горизонте прогнозирования имеют место следующие выражения

$$E(k) = Y(k) - y_m(k),$$

$$y_m(K+1) = [y_m(K+1), \dots, y_m(K+P)]^T,$$

$$\Delta U(k) = [\Delta u(k), \dots, \Delta u(k+M-1)]^T.$$

Управляемый горизонт прогнозирования $\Delta U(k)$ вычисляется минимизацией целевой функции.

$$J(k) = [Y_r(k+1) - Y_p(k+1)]^T Q [Y_r(k+1) - Y_p(k+1)] + U(k)^T R U(k).$$

На рис. 4. Приведена блок-схема функционирования программируемого логического контроллера, реализующего алгоритм расчета управляющих воздействий по оптимальному управлению исследуемым процессом.

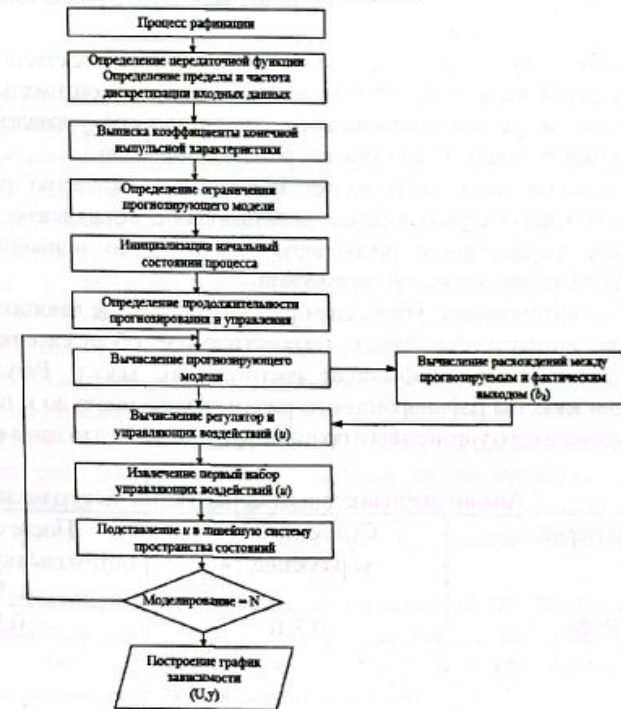


Рис. 4. Блок-схема ПЛК.

На рис. 5, показаны результаты моделирования. Как видно из графиков, работа MPC-системы с мягкими ограничениями реализована с помощью высокопроизводительного программируемого логического контроллера для управления управляемыми переменными.

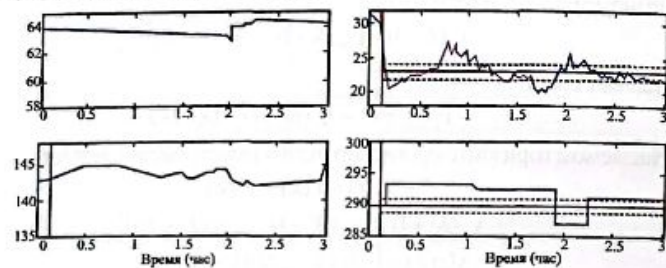


Рис. 5. Результаты моделирования.

Управление ПЛК с мягкими неравенствами помимо мягкого предела оказывает сильные эффекты, в результате чего повышается устойчивость исследуемого объекта и достигается оптимизация технологического процесса рафинации растительного масла.

Таким образом, производительность MPC-системы управления с мягкими ограничениями становится значительно выше вследствие уменьшения длительности управляющего воздействия.

В работе приведены результаты опытно-производственных испытаний разработок и примененных методов, моделей и алгоритмов оптимального управления в классе систем усовершенствованного (продвинутого) управления процессами рафинации растительных масел в режиме реального времени.

Предложенная система позволяет поддерживать качество рафинированного растительного масла в строго определенном диапазоне. Установлено, что применение оптимального управления с прогнозирующей моделью приводит к снижению критерия *RMSE* технологической переменной.

Система оптимального управления реализована в виде многопараметрического контроллера, который охватывает технологическое оборудование, реализующее установку многоступенчатой рафинации растительных масел. Результаты анализа стабилизации качества рафинированного растительного масла до и после испытаний системы оптимального управления с прогнозирующей моделью даны в табл. 2.

Таблица 2

Анализ стабилизации качества растительного масла

Критерий	Существующее управление, %	После системы оптимального управления, %
<i>RMSE</i>	0,710	0,380

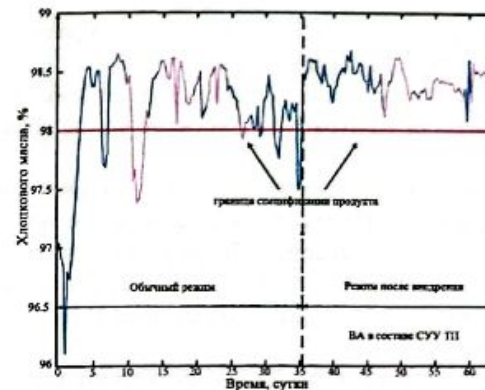


Рис. 6. Сравнительный анализ стабилизации качества растительного масла до и после внедрения системы оптимального управления с виртуальным анализатором.

Установлено, что достигается более качественная стабилизация качества рафинированного растительного масла при оптимальном управлении (составила 98,7 %) после внедрения системы оптимального управления с виртуальным анализатором в своем составе (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе концепций системного анализа, современной теории автоматического управления разработана конструктивная методика построения систем оптимального управления процессом рафинации растительных масел.

В итоге получены следующие научные результаты:

1. Выполнен системный анализ и критически изучены существующие алгоритмы оптимального управления сложными технологическими процессами и производствами и выявлены приоритетные и перспективные направления совершенствования и развития систем управления рафинацией растительных масел. В результате повышаются прогностические возможности управления сложными системами в условиях неопределенности внешней и внутренней неопределенности измерительной информации.

2. Выполнено математическое моделирование процесса массопереноса с химической реакцией при нейтрализации жирных кислот щелочью. В результате повышается возможность применения предложенного подхода к моделированию и оптимизации тепло-массообменных процессов, осложненных химическими превращениями.

3. Экспериментальными методами установлено сложное извлечение с.ж.к. из модельных систем и выявлен рациональный состав специальных реагентов. В результате обоснован косвенный метод рН-метрического определения содержания свободных жирных кислот в составе растительных масел.

4. Сформированы исходные данные для аппаратно-технической реализации косвенного метода определения содержания жирных кислот по рН и подготовлено

техническое задание на изготовление опытного образца поточного экспресс-анализатора; экспериментально определены оптимальные параметры рафинации растительных масел. В результате повышается возможность включения в модель виртуального анализатора контура обратной связи, что позволяет повысить качество конечной продукции.

5. Предложен способ разработки виртуального анализатора качества рафинированных растительных масел как в автономном исполнении, так и в виде составного блока или узла системы. В результате позволяет реализовать и систематизировать оптимальное управление технологическими процессами рафинации растительных масел, обеспечивающих требуемое качество рафинированного масла

6. Предложен подход к построению виртуального анализатора, основанный на построении математической модели исследуемого технического процесса в виде закономерностей, полученных путем восстановления зависимостей на основе экспериментальных данных и индуктивных знаний об исследуемом объекте. В результате обеспечивается требуемое соответствие пропускной способности системы управления с технологичностью лабораторных средств измерения качества конечной продукции.

7. Разработано программное обеспечение системы оптимального управления, основанное на построении базы знаний, машинном обучении и параметрической идентификации объекта исследования. В результате повышается степень интеллектуализации вычислительных возможностей синтезируемых систем управления технологическими процессами и производствами.

8. Разработана система оптимального управления технологическими процессами рафинации растительных масел на основе прогнозных моделей с включением в синтезируемую систему виртуального анализатора качества конечной продукции маслоэкстракционного производства. В результате обеспечивается требуемое качество рафинированного масла и снижение энергопотребления.

9. Путем сопоставительного анализа MPC-систем управления технологическими процессами с нормальными и мягкими ограничениями установлено, что управление с мягкими ограничениями осуществляет более сильные управляющие воздействия. В результате достигается уменьшение длительности управляющих воздействий, повышение стабильности функционирования объекта управления и оптимизация процесса рафинации растительных масел по показателям качества конечной продукции.

SAMADOV ELYOR ERKINOVICH

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR OPTIMAL CONTROL OF THE
REFINING PROCESS OF VEGETABLE OILS

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES

Tashkent - 2024

The theme of doctor of philosophy (PhD) dissertation was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministry of the Republic of Uzbekistan under number B2022.2.PhD/T2845.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English resume) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Scientific consultant: Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich
Doctor of Technical Scientific,
Professor, Academician

Official opponents: Ismailov Mirkhalil Agzamovich
Doctor of Technical Scientific, Professor

Kadirov Yorqin Bakhodirovich
PhD in technical sciences, assistant professor

Leading organization: Bukhara engineering – technological institute

Defense of dissertation will take place in « 2 » 03 2024 at 10⁰⁰ o'clock at meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: 99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 371). (Address 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 207-14-70)

Abstract of dissertation sent out on « 17 » 02 2024 year.
(mailing report № 2 on « 5 » 01 2024 year).



F.T.Adilov
Chairman of the scientific council,
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Scientific, Professor

U.F.Mamirov
Scientific secretary of the scientific council,
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Scientific, associate professor

X.Z.Igamberdiyev
Chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Scientific, Professor, Academician

INTRODUCTION (abstract of PHD thesis)

The aim of the research work is to develop and implement a system for optimal control of complex multi-stage technological processes for refining vegetable oils, allowing for a reliable assessment and forecast of the quality of the final product in real time, ensuring energy and resource saving.

The object of the research work is complex multi-stage technological processes for refining vegetable oils.

Scientific novelty of the research work is as follows:

the necessity of using in-line analyzers in problems of optimal control of multi-stage technological processes for refining vegetable oils in real time based on predictive determination of the quality of the final product is substantiated;

methods have been developed for structuring virtual analyzers based on a parametric model of the technological process of refining vegetable oils;

a method has been developed for optimal control of heat and mass transfer processes with a complex hydrodynamic situation of interacting phases based on increasing the efficiency of the production of vegetable oils;

a predictive model of a control system for the process of refining vegetable oils has been developed, which has a relative simplicity of the basic feedback generation scheme and has high adaptive properties, based on expanding the functionality of the synthesized systems.

Implementation of the research results. Based on the obtained scientific results on the distributed monitoring, control and management of technological processes for refining vegetable oils are implemented in the following forms:

in the tasks of optimal control of multi-stage technological processes for refining vegetable oils using on-line in-line express analyzers capable of functioning in real mode, implemented at JSC “Yangiyo‘l yog‘-moy” (Reference Association of Enterprises “O‘ZYOG‘MOYSANOAT” No. NM/3-513 dated 24 November 2023). As a result, the quality of the refining process control system has been improved;

it was proposed to include a feedback loop implemented at JSC “Yangiyo‘l yog‘-moy” into the circuit of the express analyzer of the quality of the final product (Reference from the Association of Enterprises “O‘ZYOG‘MOYSANOAT” No. NM/3-513 dated November 24, 2023). As a result, the management efficiency of technological processes for refining vegetable oils has been increased and energy costs have been reduced by 3%;

a parametric model of the technological process of refining vegetable oils has been proposed, which makes it possible to include virtual analyzers in the advanced control systems implemented at JSC “Yangiyo‘l yog‘-moy” (Reference from the Association of Enterprises “O‘ZYOG‘MOYSANOAT” No. NM/3-513 dated November 24, 2023). As a result, an increase in the accuracy of determining object parameters has been achieved.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation includes an introduction, four chapters, a conclusion, references, and appendices. The volume of the dissertation is 107 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS**

I бўлим (Част I; Part I)

1. Samadov E.E. Developing advanced process control system for manufacturing processes using virtual analyzer // Journal Chemical Technology, Control and Management: -№4. -2021: DOI: <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.6-77-0053>

2. Samadov E.E. Instrumental and analytical implementation of a virtual analysis of the output product quality - refined vegetable oil // Special issue of the International scientific and technical "Chemical Technology, Control and Management". -№4-5(106-107). -2022. -PP.183-187. (05.00.00, №12, Scopus, Решение ВАК №471 от 30.09.2022).

3. Samadov E.E. Analysis of vegetable oil refining technology // Chemical Technology, Control and Management: №1, -2023: PP.18-26. DOI: <https://doi.org/10.59048/2181-1105.1443>.

4. Samadov E.E. Study of technological multi-stage modes of refining vegetable oils // Chemical Technology, Control and Management: №5, -2023. -PP.17-21.

II bo'lim (Част II; Part II)

1. Юсупбеков Н.Р., Самадов Э.Э. Создание АРС-усовершенствованной системы управления с использованием виртуального анализатора // «Проблемы государственной системы технического регулирования национальной инфраструктуры качества в преодолении технических барьеров в международной торговле и ее актуальные научные и практические вопросы» Октябрь 14, 2021 г. - Ташкент, 2021. -С. 11-17.

2. Юсупбеков Н.Р., Авазов Ю.Ш., Самадов Э.Э., Ахмаджонов Н. Оперативный контроль качества рафинированного растительного масла // Сборник научных статей международной научно-практической конференции по теме «Применение современных информационно-коммуникационных технологий в проведении реформ в новом Узбекистане» 27-29 октябрь, 2021 г. - Андижан, 2021. - С.468-470.

3. Yusupbekov N.R., Samadov E.E. Study of water technological parameters influence on the efficiency of vegetable oil refining // МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Состояние и тенденции развития стандартизации и технического регулирования в мире» Октябрь 13-14, - Ташкент, 2022. -С. 305- 311.

4. Samadov E.E., Rajabov A.T. Method for determining the content of free fatty acids in the composition of vegetable oils // Ilmiy-amaliy konferensiya "NEFT VA GAZ SOHASIDA KADRLAR TAYYORLASH SIFATINI OSHIRISHDA TA'LIM VA ISHLAB CHIQRISH KLASTERINING

АНАМИЯТИ" - Ташкент, 2023. -С. 145-147.

5. Yusupbekov N.R., Samadov E.E. The in-line analyzer of free fatty acids in vegetable oils // II МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Перспективы инновационного метрологического обеспечения промышленности и его актуальные научно - практические проблемы» Май 23-24, - Ташкент, 2023. - С. 257-259.

6. Yusupbekov N.R., Samadov E.E. Improving the technology of neutralization of free fatty acids in the production of vegetable oils // VII international scientific conference. "Development of science in the XXI century". Dortmund, Germany. 03-04.08.2023. 66 p.

7. Yusupbekov N.R., Samadov E.E. Improvement of vegetable oil refining processes // VII international scientific conference. "Development of science in the XXI century". Dortmund, Germany. 03-04.08.2023. 70 p.

8. Yusupbekov N.R., Avazov Yu.Sh., Samadov E.E. O'simlik moylarini rafinatsiyalash jarayonida o'simlik moyi mahsulot sifatining kislotali sonini nazorat qilish uchun dasturiy ta'minot // EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. DGU 28030, 13.10.2023 y.

9. Yusupbekov N.R., Avazov Yu.Sh., Samadov E.E. Программное обеспечение для контроля качества продуктов в процессе рафинации растительных масел // EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. DGU 24492, 01.05.2023 y.

Avtoreferat "Technical science and innovation" ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazildi hamda o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturasida.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 2,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 8/24.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko'chasi, 83-uy.