

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

XODJIYEV SHUXRAT MAXMUDOVICH

**O‘SIMLIK MOYLARI YOG‘ KISLOTALARINI NIKEL-MIS ASOSLI
QO‘SHIMCHALI KATALIZATORLARDA GIDROGENLASH JARAYONINI
TAKOMILLASHTIRISH**

**02.00.17- Qishloq xo‘jalik va oziq-ovqat mahsulotlariga ishlov berish, saqlash
hamda qayta ishlash texnologiyalari va biotexnologiyalari**

**Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro - 2025

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора технических наук (DSc)

Contents of dissertation abstract of Doctor of Technical Sciences (DSc)

Xodjiyev Shuxrat Maxmudovich

О‘simlik moylari yog‘ kislotalarini nikel-mis asosli qo‘shimchali katalizatorlarda gidrogenlash jarayonini takomillashtirish..... 3

Ходжиев Шухрат Махмудович

Совершенствование процесса гидрогенизации жирных кислот растительных масел на катализаторах с добавками на никель-медной основе..... 25

Khodjiev Shukhrat Makhmudovich

Improvement of the process of hydrogenation of fatty acids of vegetable oils on catalysts with nickel-copper-based additives..... 49

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 53

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

XODJIYEV SHUXRAT MAXMUDOVICH

**O‘SIMLIK MOYLARI YOG‘ KISLOTALARINI NIKEL-MIS ASOSLI
QO‘SHIMCHALI KATALIZATORLARDA GIDROGENLASH JARAYONINI
TAKOMILLASHTIRISH**

**02.00.17- Qishloq xo‘jalik va oziq-ovqat mahsulotlariga ishlov berish, saqlash
hamda qayta ishlash texnologiyalari va biotexnologiyalari**

**Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro - 2025

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.1.DSc/T276 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Buxoro muhandislik-texnologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz) (rezyume) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.bmti.uz) hamda “Ziyonet” Axborot-ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchi:

Majidov Qahramon Halimovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Axmedov Azimjon Normo‘minovich
texnika fanlari doktori, professor

Mamatxanov Ahmadxon Umarxonovich
texnika fanlari doktori, professor

Yo‘lchiyev Asilbek Baxtiyorovich
texnika fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Guliston davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Buxoro muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi DSc.03/28.02.2022.T.101.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil ____ soat ____ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 200117, Buxoro shahar, Q.Murtazoyev ko‘chasi, 15-uy. Tel.: (+99865) 223-78-84, Faks: (+99865)223-78-84, E-mail: bmti_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Buxoro muhandislik-texnologiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (____ raqami bilan ro‘yhatga olingan). (Manzil: 200117, Buxoro shahar, Q.Murtazoyev ko‘chasi, 15-uy. Tel.: (+99865) 223-78-84).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil ____ - ____ kuni tarqatildi.

(2025-yil ____ - ____ dagi № ____ raqamli reestr bayonnomasi).

F.S. Fozilov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

A.T. Oltiyev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
kotibi, texnika fanlari doktori, dotsent

I.I. Isabayev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
qoshidagi Ilmiy seminar raisi, texnika fanlari
doktori, professor

KIRISH (texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda so‘nggi yillarda o‘simlik moylari va undan tayyorlangan mahsulotlarga, xususan, gidrogenizatsiyalangan yog‘larga bo‘lgan talab ortib bormoqda. 2023 yilda o‘simlik moylari ishlab chiqarish AQSh da 79,8 mln.t, Rossiyada 10,0 mln.t, Xitoyda 36,0 mln.t, Markaziy Osiyoda - 70,0 mln.t, jumladan, O‘zbekistonda 0.25 mln.t, Yevropada 26,0 mln.t¹ ni tashkil qilgan. Indoneziya va Malayziya asosan margarin mahsulotlari va qandolat yog‘larini ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan qattiq o‘simlik moyining (palma va palma yadro) asosiy eksportchilari bo‘lib hisoblanadi. Shu bilan birga yuqori sifatli gidrogenizatsiyalangan yog‘larni ishlab chiqish, yog‘-moy sanoatining asosiy tarmoqlaridan hisoblanadi. Yog‘larni gidrogenizatsiyalash jaryonida energiya sarfi yuqori bo‘lgan texnologiyalardan foydalanib kelinmoqda. Shunga ko‘ra paxta moyining yog‘ kislotalarini gidrogenizatsiyalash texnologiyasiga oid ilmiy-tadqiqot ishlarini bajarishda nikel-mis asosida tayyorlangan katalizatorlarni qo‘llash orqali samarali texnologiyalarni yaratish muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda o‘simlik moylari va yog‘larni katalitik modifikatsiyalash, yangi turdagi katalitik tizimlardan foydalangan holda ishlab chiqarish texnologiyalarini modernizatsiyalash hamda texnologik jarayonlarni matematik modellashtirish usullari asosidagi ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada trans-izomerlangan yog‘ kislotalarining eng kam miqdorini saqlash, imkoniyatini beruvchi, yangi avlod katalizatorlarini qo‘llash orqali yuqori sifatli gidrogenlangan yog‘larni ishlab chiqish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda yog‘-moy sanoati amaliyotida o‘simlik moylari va yog‘larni katalitik modifikatsiyalashning eng keng tarqalgan usuli bu har xil turdagi katalizatorlardan foydalangan holda gidrogenlash texnologiyasiga oid izlanishlar olib borilmoqda. Bu tadqiqotlar, asosan, o‘simlik moyining asosiy turi bo‘lgan paxta moyini katalitik modifikatsiyalash ilmiy tadqiqotlarida va amaliyotida nikel va mis asosidagi katalizatorlar tavsiya etilib, bunda dastlabki katalizatorlarning gidrogenlash xossalari o‘zgartiruvchi omillar sifatida turli promotorlarni qo‘llash jarayonlariga qaratilgan. Yangi O‘zbekistonni yanada rivojlantirish bo‘yicha harakatlar strategiyasida (2017-2030 yy.) “...tarmoqlarni rivojlantirish, sanoatni modernizatsiyalash va diversifikatsiya qilish, energiya va resurs tejovchi texnologiyalardan foydalanish, oziq-ovqat xavfsizligini ta‘minlash import o‘rnini bosuvchi raqobatbardosh va eksportbop mahsulotlarni ishlab chiqarish...”² kabi muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirish uchun yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan katalizatorlardan foydalangan holda gidrogenlangan yog‘larni ishlab chiqarishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026-yillarda mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi, 2019-yil 29-oktabrdagi PF-6097-sonli “Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi, 2019-yil 24-oktabrdagi PF-5853-sonli “O‘zbekiston Respublikasi qishloq xo‘jaligini rivojlantirishning 2020-2030-yillarga mo‘ljallangan strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi farmon va qarorlarida hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda

¹ <http://www.USDA.com>

² http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3107036

belgilangan vazifalarini amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarni innovatsion rivojlantirish agentligining VII. “Kimyoviy texnologiya va nanotexnologiya” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi³. Katalitik tizimlardan turli katalizatorlarni qo‘llab maqsadli yog‘- moy mahsulotlarini olish texnologiyasiga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar xorijiy va respublikaning yetakchi ilmiy tadqiqot muassasalarida, jumladan, Australian Institute of Petroleum (Avstraliya), Delft University of Technology (Niderlandiya), French Petroleum Institute (Fransiya), West Virginia University (AQSh), The University of Tokyo (Yaponiya), Exxon BASF (Germaniya), Ozarbayjon neft-gaz ilmiy-tadqiqot instituti (Ozarbayjon), Butunrossiya Yog‘lar ilmiy-tadqiqot instituti, Ufa davlat universiteti, Rossiya Fanlar akademiyasi A.V.Topchiev nomidagi neft-kimyo sintezi instituti (Rossiya), O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va anorganik kimyo ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti va boshqa ilmiy muassasalarda olib borilmoqda.

Jahonda yog‘- moylarni gidrogenizatsiyalash texnologiyasini takomillashtirish va bu maqsad uchun unumli katalizatorlardan foydalanib, oziq-ovqat sanoatida qo‘llaniladigan iste‘mol yog‘larini olish yo‘nalishida olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi natijalarga erishilgan: qayta tiklanadigan yog‘ va moylarni tanlab qisman gidrogenlash uchun katalitik jarayonlar ko‘rib chiqish va kimyoviy oraliq mahsulotlarni sintez qilish uchun standartlashtirilgan substratlarni ishlab chiqarish uchun qo‘llanilish texnologiyasi *такoмиллаштирилган* (TU Dortmund universiteti, Dortmund, Germaniya); barqaror vodorod manbalari sifatida metanol va etanoldan foydalangan holda a,b-to‘yinmagan ketonlarni to‘yingan ketonlarga va alkenlarni alkanlarga tanlab kamaytirishga qaratilgan katalitik uzatish gidrogenlash texnologiyasi ishlab chiqilgan (CSIR-Markaziy tuz va dengiz kimyoviy moddalari tadqiqot instituti, Gujarat, Hindiston), tabiatga mos va katalizatorsiz mikroto‘lqinli plazma texnologiyasidan foydalangan holda palma yog‘ini qisman gidrogenlash orqali kam trans izomerlangan margarin mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasi yaratilgan (Chulalongkorn universiteti, Bangkok, Tailand).

Dunyoda turli xil o‘simlik moylari va yog‘larni gidrogenlash texnologiyasida samarali katalizatorlardan foydalanib ishlab chiqarishga oid izlanishlar bo‘yicha qator ilmiy ishlar, jumladan, quyidagi ustuvor yo‘nalishlarda tadqiqotlar olib borilmoqda: jumladan, yog‘ va moylarni gidrogenlash jarayonida katalizatorlarning faolligi, gidrogenlash qobiliyati yuqoriligi, gidrogenlash katalizatorlarni mahalliyashtirib turli maqsadlar uchun iste‘molbop qattiq yog‘lar olish, tarkibida trans izomerlangan yog‘ kisoltalari miqdorini kamaytirib oziqaviy xavfsiz maqsadli qandolat yog‘larini ishlab chiqarish.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Mazkur mavzu bo‘yicha M. Hasman, J.J Cray, M.F. Kozempel, S.Adhikari, R. Larsson, Ye. Szukalska, Ten Brink, A.A. Abduraximov, S.A. Abduraximov, K.A. Jubanov, N.S. Arutyunyan, F.B.

³ Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi: http://www.newchemistry.ru /printletter.phptn_id=4920, <http://www.neftelib.ru/neft-slovar-list/r/656/index.shtml>, webmaster: webmaster@ogbus.ru, <http://www.topreg.ru/ article/5/> va boshqa manbaalar.

Bijanov, I.I. Ioffe, M.A. Ginzburg, A.I. Glushenkova, A.B.Fasman, Yu.K. Qodirov, N.L. Melamud, A.G. Sergeev, D.V. Sokolskiy, I.M. Tovbin, B.N. Tyutyunnikov, A.A. Shmidt, Q.X. Majidov, N.Q. Majidova, K.K. Sattorov, I.B. Isabaev va boshqa olimlarning o‘simlik moylari va yog‘lar, xususan, paxta, kungaboqar, soya va boshqa moylar uchun gidrogenlash katalizatorlarini yaratishga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlari ma’lum.

Ushbu soha olimlari va yetakchi mutaxassislari tomonidan o‘simlik moylari va yog‘larni kukunsimon va turg‘un katalizatorlar yordamida katalitik gidrogenlash texnologiyasi takomillashtirildi; oziq-ovqat moylarini ishlab chiqarishning texnologik sharoitlari optimallashtirildi; gidrogenlangan oziq-ovqat yog‘larni ishlab chiqarishda katalizatorlardan foydalanish bo‘yicha tavsiyalar berildi. Shu bilan birga, yog‘ va moylarni gidrogenlash texnologiyasini rivojlantirishga yetarli e‘tibor berilmagan, masalan: nikel-mis katalizatorlarida paxta moyini gidrogenlashning ilmiy asoslangan texnologiyasi ishlab chiqilmagan; yuqori qattqlikdagi ozuqaviy yog‘larning sifat va fizik-kimyoviy xossalarni shakllantirishda texnologik sharoitlar va katalizatorlar tabiatining ta’siri o‘rganilmagan; olingan mahsulotlarning ozuqaviy qiymati va xavfsizligini shakllantirishda foydalaniladigan katalizatorlarning tabiati va tashkiliy tarkibining o‘rni aniqlanmagan hamda asoslanmagan; paxta yog‘ini gidrogenlash jarayonlarini modellashtirish masalalari o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Buxoro muhandislik-texnologiya institutining ilmiy-tadqiqot rejasiga muvofiq YoA9-5 “Yuqori sifat va oziq-ovqat xavfsizligi ko‘rsatkichlariga ega gidrogenlangan yog‘larni ishlab chiqarish yo‘nalishlarini rivojlantirish” (2020-2025 yy.), A-9-8 “Yuqori sifat va oziq-ovqat xavfsizligi ko‘rsatkichlariga ega yog‘larni ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish bo‘yicha yangi ishlanmalar” (2022-2024 yy.), PPI-9 “2020-2025-yillarda oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlovchi yuqori samaradorlikka ega texnologiyalar asosida mahalliy noan’anaviy xom ashyo asosida yog‘-moy mahsulotlari sifatini oshirish va assortimentini kengaytirish” loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi o‘simlik moylari yog‘ kislotalarini nikel-mis asosli qo‘shimchali katalizatorlarda gidrogenlash jarayonini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

moylar va yog‘ kislotalarini gidrogenlash uchun yangi katalizatorlarni yaratish;
moylar va yog‘ kislotalarini gidrogenlash jarayonlari va katalizatorlarini modellashtirish;

yangi avlod katalizatorlarida yog‘ kislotalarini gidrogenlashning asosiy ilmiy va amaliy o‘zgarishlarni o‘rganish;

o‘simlik moylarini gidrogenlashda katalitik metallarning o‘rni va ahamiyatini aniqlash;

o‘simlik moylarining yog‘ kislotalarini nikel-mis asosli qo‘shimchali katalizatorlarda gidrogenlashning texnologik sharoitlarini ishlab chiqish va optimallashtirish;

ozuqaviy yog‘larni ishlab chiqarishda yog‘ kislotalarining katalitik gidrogenlangan mahsulotlarini qo‘llash, tayyor mahsulotlarning yuqori sifati va ozuqaviy xavfsizligini ta’minlash;

yangi qo‘shimchalar va promotorlar asosida katalitik tizimlarni kengaytirish;

ishlab chiqarish sinovlari va ilmiy-texnikaviy ishlanmalar natijalarini ishlab chiqarish sharoitiga joriy etish.

Tadqiqotning ob'ekti bo'lib nikel, mis va turli promotorli qo'shimchalarga asoslangan yog' kislotalarini gidrogenlash uchun kukunsimon va turg'un katalitik tizimlar, texnologik jarayonlarni va gidrogenlash katalizatorlarini matematik modellashtirish usullari hisoblanadi.

Tadqiqotning predmetini yog' va moylardagi yog' kislotalarini gidrogenlashning innovatsion katalizatorlarini ishlab chiqish va modellashtirish, yangi avlod katalizatorlarida o'simlik moylarini katalitik gidrogenlash texnologiyasini o'rganish tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqotlarda zamonaviy fizik, kimyoviy va fizik-kimyoviy tahlil usullaridan (IQ, GCX, YQX va boshqalar) hamda olingan tajriba ma'lumotlarini matematik qayta ishlash usullari qo'llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

katalizatorlarning gidrogenlash xususiyatlarini shakllantirishda eng maqbul va samarali promotorlar hamda qo'shimchalar sifatida palladiy, rodiy, ruteniy, reniy, germaniy, qalay va vanadiylarni qotishma massasining 0,05-2,50% dan ko'p bo'lmagan miqdorda ekanligi ilmiy asoslangan va eksperimental jihatdan isbotlangan;

nazariy va amaliy tadqiqotlar asosida paxta moyining yog' kislotalarini gidrogenlash uchun katalizatorni tanlash va samaradorligini baholash tizimi ishlab chiqilgan, paxta moyidagi uchglitseridlarning to'yinmagan yog' kislotalarini to'yintirish kinetik o'zgarishlari tenglamalari asos qilib olingan, natijada maqsadli gidrogenlangan yog'larni ishlab chiqarishning texnologik optimal parametrlari ilmiy asoslangan;

yuqori sifatli katalitik gidrogenlangan yog'larni ishlab chiqarish uchun eng maqbul texnologik sharoitlar: harorat 180 °C, bosim 100 kPa va xomashyoning hajmiy tezligi 1,2-1,5 soat⁻¹ ekanligi isbotlangan;

trans-izomerlangan yog' kislotalarining minimal miqdori (5,0-7,0 %) va dito'yinmagan kislotalarining miqdoriy tarkibi 25,0-27,0 % bo'lgan oziq-ovqat yog'laridan foydalanishda mahsulotlarning yuqori sifat va ozuqaviy qiymatini ta'minlashi ilmiy asoslangan;

nikel-mis asosidagi qo'shimchali katalizatorlarda o'simlik moylari yog' kislotalarini gidrogenlashning texnologik sharoitlarini optimallashtirish jarayonlari asoslangan, natijada yog' va moylarning yog' kislotalarini gidrogenlash texnologiyasining jarayonlari va katalizatorlari modeli asoslangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

maqsadli ozuqaviy salomas olishni ta'minlovchi, yuqori gidrogenlash xususiyatiga ega paxta moyi yog' kislotalarini gidrogenlashning optimal nikel-mis katalizatorlari nisbati va miqdorlari aniqlangan;

paxta moyining yog' kislotalarini gidrogenlashning texnologik jarayonlari va katalitik tizimlarini matematik modellashtirish tenglamalari aniqlangan;

optimallashtirish va matematik modellashtirish orqali paxta moyining yog' kislotalarini nikel-mis asosidagi qo'shimchali katalizatorlarda gidrogenlashning optimal texnologik sharoitlari aniqlangan;

yog' va moylarni samarali katalizatorlarda gidrogenlash texnologiyasini takomillashtirishga tegishli me'yoriy texnologik hujjatlar shakllantirilgan va

tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tadqiqotlarda va tajribalarda olingan ma'lumotlar natijalarini baholash zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullarini qo'llash, matematik ishlov berish usullaridan foydalanish, ishlab chiqarish miqyosida tajriba va sinovlarni o'tkazish hamda ularni amaliyotga joriy etish bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati qo'shimchalar saqlagan nikel-mis katalizatorlarida moylarni gidrogenlashning nazariy tushunchalarini kengaytirish, katalitik tizimlarning gidrogenlash xususiyatlarini shakllantirishda qo'shimchalarning o'rni va ahamiyatini aniqlash, gidrogenlash jarayonlarini modellashtirish uchun tenglamalarni ishlab chiqish va ilmiy asoslanishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati nikel-mis katalizatorlari tarkibidagi promotorlovchi metallarning optimal miqdorini aniqlash, yangi katalitik tizimlarda paxta moyini gidrogenlashning optimal texnologik usullari uchun matematik modellashtirish tenglamalarini yaratilishiga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. O'simlik moylari yog' kislotalarini nikel-mis asosli qo'shimchali katalizatorlarda gidrogenlash jarayonini takomillashtirilgan texnologiyalarini ishlab chiqarishga joriy etishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar asosida:

paxta moyini kukunsimon katalizatorida gidrogenlash texnologiyasi "Sardoba oil group" MChJ ishlab chiqarish korxonasi joriy qilingan (Texnologik ko'rsatmalar 10.01.2024 y). Natijada, yangi texnologik ishlanmalar asosida gidrogenlangan paxta moyining sifati va ozuqaviy xavfsizligini ta'minlanish imkonini bergan;

paxta moyini gidrogenlash uchun qo'shimchalar sifatida rodiy, vanadiy, ruteniy, palladiy, reniy, germaniy va qalay qo'shilgan turg'un nikel-mis-alyuminiy qotishmali katalizatorlar "Xonrod invest" MChJ ishlab chiqarish korxonasi joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Yog'-moy sanoati korxonalar uyushmasining 06.06.2024-yildagi KC/3-1184-son ma'lumotnomasi). Natijada, paxta moyini gidrogenlash texnologiyasida dastlabki katalizatorlarning faolligi va gidrogenlash xususiyatlarini 75-85% ga oshirish imkonini bergan;

ishlab chiqarish sharoitida turg'un kukunsimon katalizatori ishtirokida, tarkibida 5,0-7,0% trans-izomerlangan yog' kislotalarini saqlagan oziq-ovqat va yuqori qattqlikda gidrogenlangan yog'larni ishlab chiqarish texnologiyasi "Sardoba oil group" MChJ ishlab chiqarish korxonasi joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Yog'-moy sanoati korxonalar uyushmasining 06.06.2024-yildagi KC/3-1184-son ma'lumotnomasi). Natijada, yuqori sifatli katalitik gidrogenlangan yog'larni ishlab chiqarish uchun eng maqbul texnologik sharoitlari (harorat 180 °C, bosim 100 kPa va xomashyoning hajmiy tezligi 1,2-1,5 soat⁻¹) ga erishish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobasiyasi. Tadqiqot natijalari 6 ta xalqaro va 10 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza shaklida taqdim etilgan va aprobasiyadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining chop etilishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 23 ta ilmiy ishlar chop etilgan, shu jumladan 1 ta monografiya, ilmiy nashrlarda 11 ta maqola. Ulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyalarining ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan 8 ta respublika va 3 ta xorijiy jurnallarda chop etilgan. Xalqaro va respublika ilmiy-

amaliy anjumanlarida 11 ta tezislarni chop etilgan.

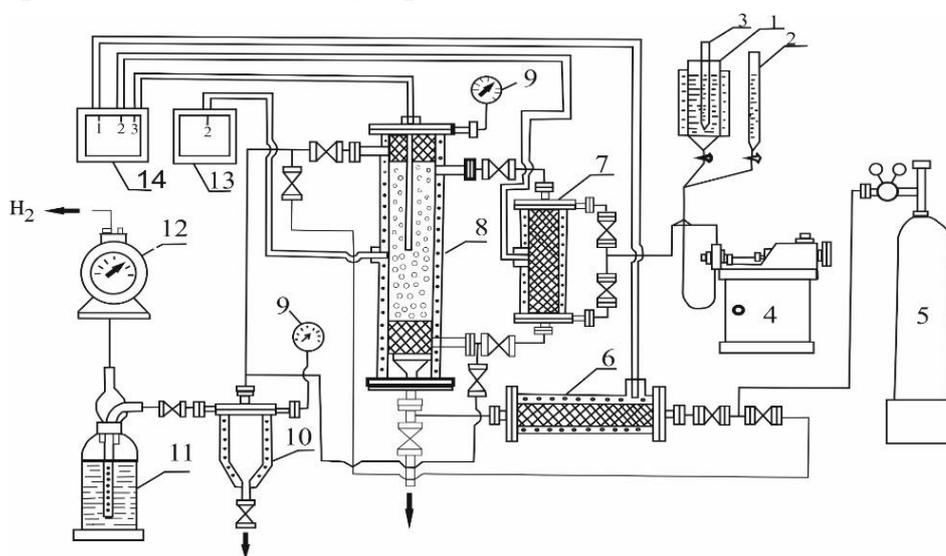
Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi kirish, beshta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning asosiy hajmi 176 betni tashkil qilgan.

DISSERTASIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi, tadqiqotning maqsad va vazifalari, ob'ekti va predmeti asoslangan, O'zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, ilmiy yangiligiva amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, natijalarni amaliyotga joriy etish, nashr qilingan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Gidrogenlash jarayonlari, nazariy masalalari, katalizatorlar, qo'shimchalar va promotorlar, modellashtirish usullari”** nomli birinchi bobida moylar va yog'larni katalitik gidrogenlash nazariyasi masalalari, moylar va yog'larni gidrogenlash katalizatorlari, dispers va kukunsimon katalizatorlar, turg'un katalizatorlarning qo'llanilishi, katalitik tizimlarning aktivatorlari va promotorlarini baholash, texnologik jarayonlarni modellashtirish, matematik modellarni qurish usullari, an'anaviy modellarning xususiyatlarini baholash to'g'risida ma'lumotlar bayon qilingan. Axborot manbalarini tahlil qilish va baholash asosida ushbu dissertatsiya ishining maqsadi va vazifalari shakllantirildi.

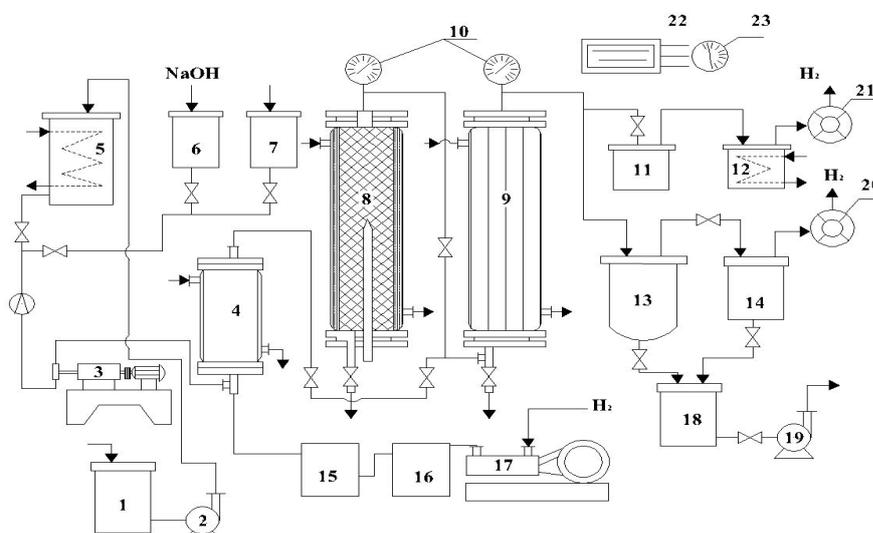
Dissertatsiyaning **“Katalizatorlarni tadqiq qilish uchun qurilmalar, qo'llaniladigan ob'ektlar tavsifi, fizik-kimyoviy tadqiqot usullari”** deb nomlangan ikkinchi bobida Ilmiy va eksperimental tadqiqotlar olib borish usullari batafsil yoritilgan. Turg'un qotishmali katalizatorlar ishtirokida oqim sharoitida paxta yog'ini gidrogenatsiyalanishini o'rganish sxemasi 1-rasmda ko'rsatilgan kolonkali reaktorli yuqori bosimli laboratoriya qurilmasida o'tkazildi.



1-rasm. O'simlik moylarini gidrogenlash uchun laboratoriya qurilmasining prinsipial texnologik sxemasi:

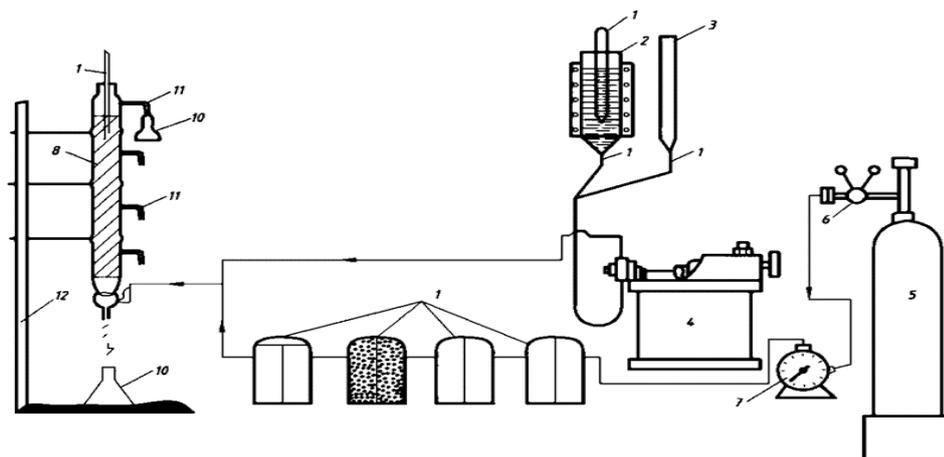
1- moy uchun sig'im; 2- moy o'lchagich; 3- termometr; 4- nasos-dozator;
5- H₂ baloni; 6- vodorod isitgich; 7- moy isitgich; 8- quvurli reaktor; 9- manometrlar; 10- separator-yig'gich; 11- tomchi ajratgich; 12- vodorod hisoblagichi; 13- PSR-108 potensiometri; 14- PSI-09 potensiometri

Optimal tarkibda promotorlar bilan promotorlangan turg'un nikel-mis-alyuminiy katalizatorlarni sinovlarini kattalashtirilgan gidrogenlash qurilmasida olib bordik (2-rasm). Paxta yog'ini turg'un nikel-mis asosli qo'shimchali katalizatorlarda gidrogenlash jarayonlarini to'g'ridan to'g'ri oqim usulida bosimsiz shisha reaktorli qurilmada tajribalar o'tkazildi (3 rasm).



2-rasm. Yuqori vodorod bosimi ostida o'simlik moylarini gidrogenlash uchun kattalashtirilgan qurilmaning prinsipial texnologik sxemasi

1- moy uchun o'lchagich; 2- nasos; 3- nasos-dozator; 4- isituvchi aralastirgich; 5- moy isitgich; 6- ishqor eritmasi uchun sig'im; 7- natriy tripolifosfat eritmasi uchun sig'im; 8- reaktor; 9- reaktor; 10- manometrlar; 11- yog' qopqoni; 12- vodorod tozalagich; 13- yuqori bosimli separator; 14- kengaytirgich; 15- resiver; 16- sovutgich; 17- kompressor; 18- gidrogenlash uchun yig'gich; 19- gidrogenizat uchun nasos; 20, 21- sarf o'lchagichlar; 23- o'zgartirgich



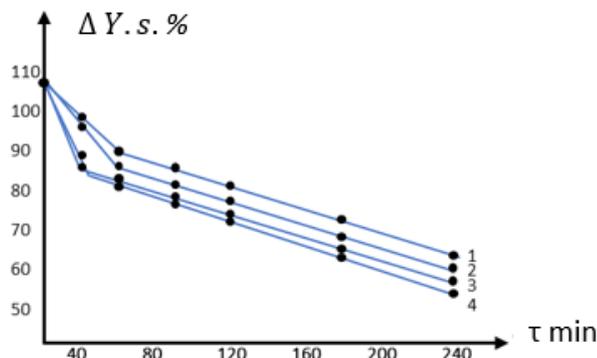
3-rasm. Bosimsiz reaktorli gidrogenlash qurilmasining texnologik sxemasi

1-termometr; 2- xom ashyo uchun sig'im; 3- o'lchov byuretkasi; 4- nasos-dozator; 5- vodorod balloni; 6- reduktor; 7- gaz hisoblagich; 8- N₂ uchun tozalash qurilmasi; 9- shisha reaktor; 10- gidrogenizat uchun sig'imlar; 11- patruboklar; 12- shtativ.

Dissertasiyaning uchinchi bobi "Yog'larning gidrogenlashda innovasion katalizatorlarni tadqiq qilish (o'rganish, aniqlash) va baholash hamda ushbu yo'nalishda nazariy g'oyalarni kengaytirish" da paxta moyini innovasion katalizatorlarda gidrogenlash texnologiyasini tadqiq qilish natijalari taqdim etilgan.

Gidrogenlash jarayoni kinetikasining eng muhim masalalaridan biri bu reaksiya tartibini aniqlash hisoblanadi. Shu maqsadda stasionar qotishma katalizatorlarda 200 °C haroratda, vodorod bosimi 300 kPa, vodorod sarfi 60 soat⁻¹ va paxta moyining har xil hajmiy tezligida bir qator gidrogenlash tajribalari o‘tkazildi.

№3, №6, №8 va №10 katalizatorlari ishtirokida olingan natijalar 4-rasmda “gidrogenizatning yod soni – kontakt vaqti” koordinatalarida keltirilgan.



4-rasm. Paxta moyini chuqur gidrogenlashda № 3(1), №6(2), №8(3) va №10(4) katalizatorlar bilan kontakt vaqtiga bog‘liqligi

4-rasmdan ko‘rinib turibdiki, moyning to‘yinmaganlik darajasining kontakt vaqtiga bog‘liqligi ikkita chiziqli uchastkada ifodalangan bo‘lib, bu paxta moyining o‘rganilayotgan katalizatorlarda to‘yinish jarayoni linol va olein radikallari uchun nol tartibli kinetik tenglamalar bilan tavsiflanishidan darak beradi, grafikdagi siniqning mavjudligi esa jarayonning boshida linol kislota radikallarining ustuvor to‘yinishini ko‘rsatadi.

Rodiyning nikel-mis-alyuminiy katalizatorining faolligiga ta‘sirini o‘rganish uchun boshlang‘ich sifatida nikel: mis nisbati = 3:1 bo‘lgan nikel-mis-alyuminiy qotishmasi olingan.

Tajribalar 200 °C haroratda, vodorod bosimi 700 kPa, vodorod uzatish hajmiy tezligi 60 soat⁻¹, moyni uzatish hajmiy tezligi 1,10 soat⁻¹ da olib borildi. Yod soni 109,1 bo‘lgan rafinasiyalangan paxta moyi gidrogenlandi. Olingan ma‘lumotlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Nikel-mis-alyuminiy katalizator faolligiga rodiiy ta‘siri

Qotishmadagi rodiiy miqdori, %	Gidrogenizatning o‘rtacha yod soni, % J ₂	Faollik, (ΔY.s.)
0,00	67	0,42
0,15	64	0,45
0,35	60	0,43
0,50	57	0,52
0,75	54	0,55
1,00	53	0,56

Qotishmaga rodiiy kiritilishi katalizatorning faolligini oshiradi. Faollikning sezilarli o‘sishi rodiiy miqdori 0,50% gacha kuzatiladi. Qotishmadagi rodiiy miqdorining yanada ortishida katalizatorning faolligi sezilarsiz ortadi. Shunday qilib, o‘rganilganlar orasida eng faol katalizator bo‘lib 0,50% rodiiy qo‘shimchali №8 katalizator hisoblanadi.

Turg'un katalizatorlariga germaniy qo'shilishining rolini o'rganish katta qiziqish uyg'otdi.

Ilmiy ishda nikel: mis nisbati 3:1 bo'lgan nikel-mis-alyuminiy qotishmasiga 0,1-2,0% miqdorida germaniy qo'shimcha sifatida qo'shilgan. Ushbu katalizatorlarda yod soni 107,1 bo'lgan paxta moyini gidrogenlash 200°C haroratda, 300 kPa vodorod bosimida va 1,0 soat⁻¹ hajmiy tezlikda bir necha tajribalar bajarildi. Olingan ma'lumotlar 2-jadvalda keltirilgan bo'lib, ulardan ko'rinib turibdiki, germaniy qo'shimchasi, katalizator faolligini oshirishga olib keladi va qotishma tarkibidagi promotorning 0,50 % miqdorigacha faollikning jadal o'sishi kuzatiladi.

2-jadval

Germaniyaning nikel-mis-alyuminiy katalizatorining faolligiga ta'siri

Qotishmadagi germaniy miqdori, %	Gidrogenizatning o'rtacha yod soni, % J ₂	Faollik (ΔY.ch.)
0,0	70	0,37
0,1	65	0,42
0,3	61	0,46
0,5	57	0,50
1,0	54	0,53
1,5	53	0,54
2,0	50	0,57

Rodiy bilan promotorlangan katalizatorlarda gidrogenlash jarayonining selektivligi vodorod bosimi 500 kPa, moyini uzatish hajmiy tezligi 1,50 soat⁻¹ va vodorodni uzatish hajmiy tezligi 60 soat⁻¹ da o'rganildi. №3 va №8 katalizatorlarda o'tkazilgan solishtirma tajribalar natijalari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

№3 (promotorlanmagan) va №8 (rodiy bilan promotorlangan) katalizatorlarda paxta moyini gidrogenlash jarayonining selektivligi.

Harorat, °C	Gidrogenizat yod soni, % J ₂	Yog' kislova tarkibi, %			Selektivlik koeffitsieti, %
№3 katalizator					
140	70,9	32,6	29,6	37,8	63,6
160	71,3	31,8	28,5	39,7	64,2
180	68,4	30,9	27,1	42,0	65,0
200	65,2	31,4	28,4	40,2	65,9
220	61,6	30,7	27,4	41,9	66,8
№8 katalizator					
140	72,4	36,0	31,5	32,5	52,4
160	63,3	34,3	33,8	31,9	60,7
180	64,9	32,5	34,6	32,9	67,7
200	60,8	31,7	36,3	32,0	72,8
220	56,4	31,5	38,1	30,4	75,6

Jadvaldagi raqamlardan ko'rinib turibdiki, haroratning jarayon selektivligiga ta'siri turli katalizatorlar uchun turlicha bo'ladi. №3 promotorlanmagan katalizator ishtirokida selektivlik kam o'sadi, 0,5 % rodiy bilan promotorlangan katalizator esa selektivlik oshadi, jumladan eng jadal o'sish 180-200 °C da kuzatiladi.

Bitta metall bilan promotorlangan nikel-mis-alyuminiy qotishma katalizatorlarini o'rganish bo'yicha olingan ma'lumotlarning umumiyliги o'rganilayotgan promotorlarni promotorlangan katalizatorida gidrogenlanishning selektivligi pasaygan holda quyidagi qatorlarga joylashtirish imkonini beradi:

rodiy > palladiy > promotorsiz > germaniy

Promotorlangan katalizatorlarning izomerlanish qobiliyatini o'rganish ma'lumotlari asosida o'xshash qatorlar ham tuzildi:

rodiy > palladiy > promotorsiz > germaniy

Nikel-mis-alyuminiy katalizatorining faolligini oshirish va davomiy barqarorligini ta'minlash maqsadida ushbu qotishmaga rodiyning doimiy miqdorini (0,50 %) saqlagan holda, "rodiy + reniy" metallar tizimi bilan promotorlandi.

Katalizatorning faolligi o'rganish tadqiqotlari, yod soni 111,7 bo'lgan paxta moyini gidrogenlash, 200°C haroratda, 300 kPa bosim ostida, vodorodni uzatish 60 soat⁻¹ hajmiy tezlikda va moy uzatish 1,50 soat⁻¹ hajmiy tezligida amalga oshirildi

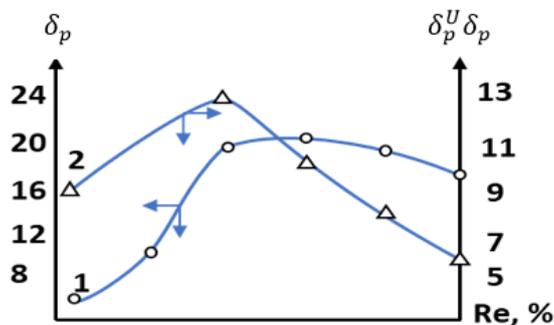
Olingan ma'lumotlar (4-jadval) shuni ko'rsatadiki, nikel-mis-rodiy-alyuminiy katalizatoriga Ni:Cu=1:1 nisbatda va qotishmadagi rodiyning doimiy miqdorida (0,50%) reniy qo'shilishi dastlabki katalizator faolligining oshishiga olib keladi, bu holatda qotishmadagi qo'shimchani 1,50 % gacha miqdori kuzatiladi.

4-jadval

Nikel-mis-alyuminiy katalizatori faolligiga rodiy va reniy qo'shimchalarining ta'siri

Qotishmadagi miqdori, %		Gidrogenizatsiyaning o'rtacha yod soni, % J ₂	Faollik, ΔY.ch.
Rodiy	Reniy		
	0,00	64	0,47
0,50	0,50	55	0,56
0,50	1,00	51	0,60
0,50	1,50	47	0,64
0,50	2,00	46	0,64
0,50	2,50	47	0,64
0,50	3,00	48	0,63

Nikel-mis-rodiy-alyuminiy katalizatorning promotorlovchi va solishtirma promotorlovchi ta'sirlari (5-rasm) reniyni 1,50% miqdorigacha oshadi, so'ngra ular simbat tushadi.



5-rasm. Nikel-mis-rodiy-alyuminiy katalizatorida promotorlovchi (1) va solishtirma promotorlovchi (2) samaradorligining reniy miqdoridan bog'liqligi

Promotorlashning eng yuqori samaradorlik ta'siri katalizator tarkibiga quyidagi miqdorlarda promotorlarni qo'shishda kuzatiladi:

0,05 % palladiy + 0,30 % rodiy;	0,5 % rodiy + 0,5 % ruteniy;
0,05% palladiy + 0,50% germaniy;	0,5 % rodiy + 1,5 % reniy;
0,10% palladiy + 1,0 % reniy;	0,5 % rodiy + 2,5 % qalay;
0,7 % palladiy + 2,0 % qalay;	1,0 % germaniy + 1,0 % reniy;
0,5 % rodiy + 1,0 % germaniy;	1,5 % germaniy + 2,5 % qalay.

Ammo, qotishmadagi promotorning (yoki promotorlar tizimining) hatto optimal kontsentratsiyasida ham, hosil bo'lgan katalizatorlarning faolligi tabiiyki, bir xil bo'lmaydi. Faollikning pasayishiga ko'ra, promotorlovchi qo'shimchalarning optimal tarkibiga ega metallar tizimi bilan promotorlangan quyidagi qatorlarga joylashtirilishi mumkin:

**Palladiy+rodiy > germaniy+qalay > rodiy+ qalay >
 rodiy+reniy > palladiy+germaniy > rodiy+germaniy
 rodiy+ruteniy > germaniy+reniy > palladiy+reniy
 palladiy+qalay > promotorlarsiz**

Tadqiqotlar natijasida promotorlarning izomerlash qobiliyatiga ta'siri asosida quyidagi qatorlar shakllantirildi

**palladiy+qalay > rodiy+qalay > palladiy +rodiy >
 rodiy+ ruteniy > germaniy +qalay > palladiy +reniy >
 promotorlarsiz > palladiy+ germaniy > rodiy+ reniy >
 rodiy +germaniy > germaniy +reniy.**

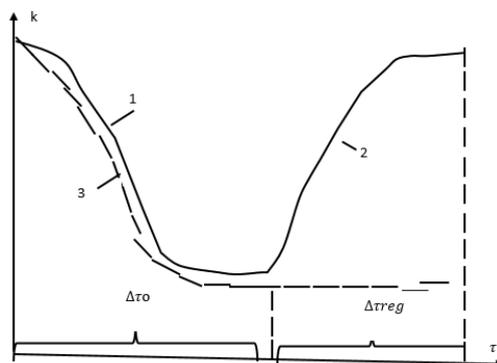
Yuqoridagi tahlillar natijasida eng samarali katalizatorlarni ro'yxatini shakllantirishga imkon berdi:

Faolligi bo'yicha: rodiy; palladiy + rodiy; germaniy + qalay bilan promotorlangan nikel-mis-alyuminiy katalizatorlari.

Selektivligi bo'yicha: rodiy; palladiy + qalay; palladiy + rodiy bilan promotorlangan nikel-mis-alyuminiy katalizatorlari.

Izomerlash qobiliyatiga ko'ra: rodiy; palladiy + qalay; rodiy + qalay bilan promotorlangan nikel-mis-alyuminiy katalizatorlari.

Rodiy; palladiy+rodiy; palladiy+qalay; rodiy+qalay; germaniy +qalay bilan promotorlangan nikel-mis-alyuminiy katalizatorlarining yuqorida keltirilgan ro'yxati shuni ko'rsatadiki, eng samarali promotorlovchi qo'shimchalar asosan to'rtta promotor bo'lgan: rodiy (0,05-1,0%); palladiy (0,05-1,0%); germaniy (0,5-2,0%) va qalay (0,5-5,0%).



6-rasm. Reaksiya tezligi doimiysining vaqt bo'yicha o'zgarishi:

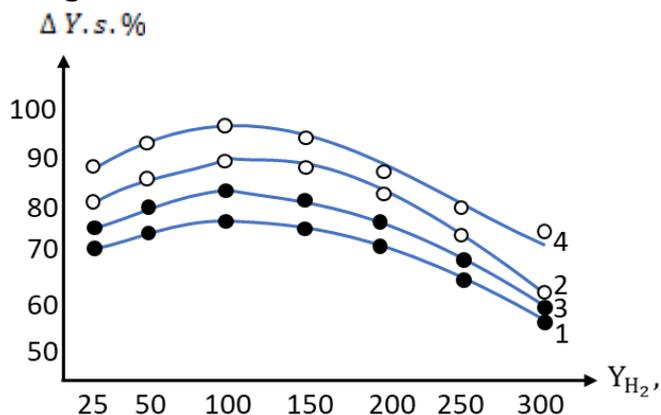
1- qaytar zaharlanishda; 2- faollikni tiklashda (zaharsiz keladi); 3- qaytmas zaharlanishda, $\Delta\tau_0$ – zaharlanish davri, $\Delta\tau_{reg}$ – faollik regeneratsiyasi davri

Bu maqsadda tajribalar moyni uzatish $1,1 \text{ soat}^{-1}$ doimiy tezligida, vodorod

barbotaji harorati, bosimi va tezligini ketma-ket o'zgartirib amalga oshirildi.

Promotorlangan 8-raqamli va promotorlanmagan 3-raqamli katalizatorlarda olingan ma'lumotlar 6 va 7 rasmlarda keltirilgan bo'lib, ulardan ko'rinib turibdiki, ko'rsatilgan sharoitlarning jarayon tezligiga ta'siri yuqorida tavsiflangan o'z katalizatorlari uchun xuddi shunday bo'lib qolmaydi.

Haqiqatan ham, faolligi biroz pastroq bo'lgan qayta regeneratsiyalangan katalizatorlarda vodorodning barbotaj tezligi gidrogenlash tezligiga deyarli ta'sir qilmaydi, buning o'rniga u bosimga deyarli to'g'ri mutanosib ortadi. Bu shuni anglatadiki, bunday katalizatorlarda vodorod bo'yicha jarayonning diffuzion to'xtatilishi minimallashtirilgan bo'ladi.



7-rasm. №3 (1,2) va №8 (3,4) katalizatorlarda hamda takroriy (ikkinchi) ishqorlab yuvish (2,4) dan keyin paxta moyini gidrogenlash selektivligiga vodorod hajmiy tezligining ta'siri

Bu xulosa moyning vodorodga nisbatan doimiy hajmiy tezligida (Rn2 300 kPa), lekin turli katalizator balandliklarida o'tkazilgan tajribalarda ham tasdiqlandi (5-jadval).

5-jadval.

Paxta moyining gidrogenlash tezligining birinchi va ikkinchi ishqoriy yuvishdan keyingi nikel-mis-alyuminiy katalizator miqdoriga bog'liqligi

Reaktordagi katalizator qatlamining balandligi, ml	№3 katalizator	№8 katalizator
	Yod sonining pasayishi	
Birinchi ishqorlab yuvish		
112	24	28
225	30	35
270	33	39
450	45	54
675	58	58
Ikkinchi ishqorlab yuvish		
112	20	24
225	23	27
270	24	30
450	29	36
675	33	42

5-jadvaldagi ma'lumotlardan hamda 6- va 7-rasmlardagi grafiklardan ko'rinib turibdiki, paxta moyini gidrogenlash tezligi ham yangi, ham qayta ishqorlab yuvilgan kontaktdan foydalanganda promotorlanmagan katalizator qatlamining balandligiga to'g'ri mutanosib ortadi. Bu shundan dalolat beradiki, bu holda jarayonning cheklovchi bosqichi to'yinmagan birikmalar reaksiyaga kirishuvchi molekularining katalizator sirtiga diffuziyasi hisoblanadi.

To'rtinchi bo'lim "Texnologik jarayonlarini va gidrogenlash katalizatorlarini modellashtirish". Dinamik tizimlarni matematik tavsiflashga zamonaviy yondashuv ularning holatlar fazosida tizimlarni tavsiflashdan iborat. Bunda ko'pincha birinchi farqliklarga (birinchi hosilalarga) nisbatan ruxsat etilgan yakuniy-farqlanadigan va differentsial tenglamalar ishlatiladi. Holatlar fazosida tizimlarni tavsiflash yagona pozitsiyalardan turli tizimlarni – chiziqli, chiziqli bo'lmagan, diskret va uzluksiz tizimlarni ko'rib chiqish imkonini beradi.

Texnologik jarayonlarni optimallashtirish va matematik modellashtirish natijalari, shuningdek, nikel-mis katalizatorlarining tarkibi asosiy gidrogenlash xususiyatlarini o'rnatdi (6-jadval).

6-jadval.

Turg'un nikel-mis-alyuminiy qotishma katalizatorlarining asosiy promotorlari va qo'shimchalarining tavsifi

Promotor, qo'shimcha	Davriy sistemadagi davri va guruhi	Miqdori, % mass	Asosiy vazifasi
Palladiy (Pd)	5, VIII v	0,05... 1,00	Faollik va selektivlikni oshirish
Rodiy(Rh)	5, VIII v	0,05—1,00	Kislotalar trans-izomerlari miqdorini oshirish
Ruteniy (Ru)	5, VIII v	0,05... 1,00	Faollik va selektivlikni oshirish
Reniy (Re)	5, VII v	0,50—2,50	Ish davomiyligini oshirish
Germaniy (Ge)	4, IV a	0,50—2,50	Faollikni oshirish, kislotalar transizomerlari miqdorini kamaytirish
Qalay (Sn)	5, IV a	0,50-2,50	Molekula ichki pereeterifikatsiyasini ta'minlash
Vanadiy (V)	4, VB	0,50-2,50	Kislotalar trans-izomerlari miqdorini kamaytirish

Texnologik parametrlarga (harorat, °C; bosim, kPa; xom ashyo, soat va vodorodni uzatish hajmiy tezligi, soat) qarab paxta moyini katalitik modifikatsiyalashning asosiy qonuniyatlarini tahlil qilish va baholash shuni ko'rsatdiki, gidrogenlash xususiyatlari (faollik, selektivlik, izomerlash qobiliyati, ish uzluksizligi va barqarorligi) katalizatorlar o'rganilayotgan parametrning miqdoriy qiymatining oshishi bilan o'zgaradi

Texnologik parametrlarning ma'lum qiymatlarida eng yuqori natijalarga erishiladi. Katalizatorlarning gidrogenlash xossalari promotorning tabiatiga ham bog'liqligi aniqlangan. Taqdim etilgan ma'lumotlarning tahlili shuni ko'rsatdiki, ba'zi promotorlar va qo'shimchalar asl katalizatorning faolligi va selektivligini oshiradi, boshqalari esa modifikatsiyalangan moyning uchglitseridlaridagi trans-izomerlangan yog' kislotalari tarkibini nisbatan past darajaga kamaytiradi.

Nikel-mis-alyuminiy statsionar qotishma katalizatorlarining asosiy gidrogenlash xususiyatlari matematik modellashtirish asosida o'rganildi. Asl katalizator tarkibidagi promotorlar va qo'shimchalarning asosiy katalitik xususiyatlari aniqlandi (7-jadval).

7-jadval.

Statsionar qotishma nikel-mis-alyuminiy katalizatorlarining gidrogenlash xususiyatlari

Promotorlar, qo'shimchalar	Gidrogenlash xususiyatlari			
	Faollik, Y.s.	Selektivlik, %	Izomerlash qobiliyati, %	Uzluksiz gidrogenlash barqarorligi, soat
Palladiy (Pd)	50-52	88-92	50-52	850-950
Rodiy (Rh)	54-56	88-94	45-55	1000-1050
Ruteniy (Ru)				
Reniy (Re)	48-50	83-85	45-50	1200-1300
Germaniy (Ge)	46-48	75-80	35-40	1000-1200
Qalay (Sn)	44-46	84-86	55-60	850-850
Vanadiy (V)	46-48	85-87	20-25	900-950

Katalizatorlarni tizimli umumlashtirishdan so'ng ularning tavsifi 8-jadvalda keltirilgan.

8-jadval

Katalizatorlarni tizimli umumlashtirishdan so'ng tavsifi

Katalizator turi	Gidrogenlash xususiyatlari			
	Faollik, Y.s.	Selektivlik, %	Izomerlovchi qobiliyat, %	Uzluksiz gidrogenlash barqarorligi, soat
Kukunsimon	35-45	92-96	30-37	800 – 820
Turg'un	40-57	88-96	35-46	1000 -1200

Yog' kislotalari turlari bo'yicha gidrogenlash tezliklari doimiylari quyidagi tenglamalardan topildi:

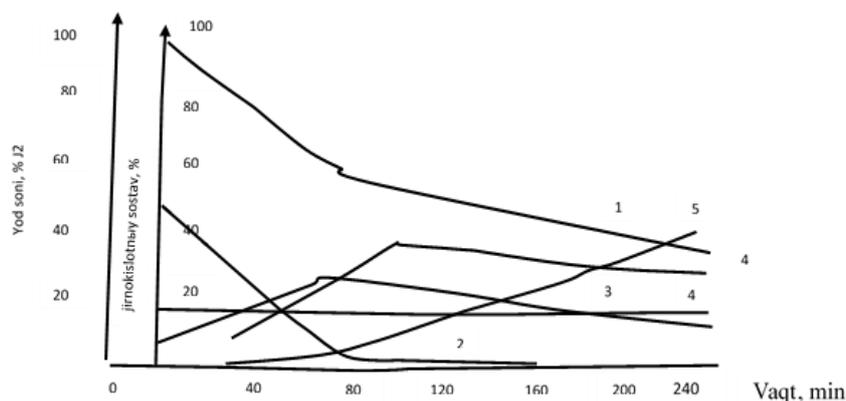
$$\Delta K_{\text{Hac}} = \frac{\sum \text{Hac}^{\text{KOH}} - \sum \text{Hac}^{\text{HAc}}}{100} \quad (1)$$

$$\Delta K_{\text{MOH}} = \frac{\sum \text{MOH}^{\text{KOH}} - \sum \text{MOH}^{\text{HAc}}}{100}$$

bunda nach; kon - tegishli yog' kislotalarining uchglitseridlardagi boshlang'ich va yakuniy konsentratsiyalari

8-rasmda ko'rsatilgan ma'lumotlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, barcha to'yinmagan (olein va linol) yog' kislotalarining to'yinishi ketma-ket sodir bo'ladi. Selektiv gidrogenlash jarayonida linol kislota avval olein kislotaga, keyin esa stearin kislotasiga aylanadi. Shu sababli, to'yinmagan yog' kislotalarning o'zgarishining vaqt tartiblarini to'g'ri aniqlash zarur edi.

8-rasmdagi kinetik egri chiziqlardan ko'rinib turibdiki, yog'ni gidrogenlash jarayoni asosan yog' kislotalarining o'zgarishi tugallangan zonalarga bo'lingan holda quyidagi sxema bo'yicha boradi.



8-rasm. Paxta moyin to'yinmagan yog' kislotalarining to'yinish kinetik egri chiziqlari

1- yod soni; 2- linol kislotalari; 3- tsis-olein kislotalari; 4- trans-olein kislotalari; 5- stearin kislotalari; 6- palmitin kislotalari

Egri chiziqli 8 va 9 rasmlarda keltirilgan ma'lumotlar tahlili asosida tsis-olein kislotalari (vaqt 60 dan 420 min gacha) va trans-olein kislotalari (vaqt 120 dan 420 min gacha) uchun ikkinchi zona uchun tenglamalarni keltiramiz. Tsis-olein kislotalari $\tau_1^{tsis} = \tau + 60$ va trans-olein kislotalari - $\tau_1^{trans} = \tau + 110$ uchun yangi vaqt kiritamiz. U holda tenglamalar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

Differensial shakl

$$\frac{d_{\text{цил-ол}}(\tau_1)}{d\tau_1} = -k_3 \tau_1$$

Integral shakl

$$T_{\text{sis-ol.}}(\tau_1^{\text{tsis}}) = T_{\text{sis-ol.}}(0) - k_3 \tau_1$$

$$T_{\text{trans-ol.}}(\tau_1^{\text{trans}}) = T_{\text{trans-ol.}}(0) - k_4 \tau_1^{\text{trans}}$$

$$C_M(\tau)_1 = C_M(0) + k_3 \tau_1^{\text{tsis}} + k_4 \tau_1^{\text{trans}} \quad (2)$$

$$\frac{dC_M(\tau_1)}{d\tau_1} = (k_3 + k_4) \tau_1$$

Beshinchi bo'limda "Turg'un katalizatorlarda belgilangan xususiyatlarga ega gidrogenizatlarni olish"ning natijalari asosida turg'un katalizatorlarda paxta moyini qayta ishlash texnologik jarayonlarini takomillashtirish, oziq-ovqat va texnik maqsadlarda qo'llaniladigan belgilangan xususiyatlarga ega gidrogenizatlarni olish texnologiyasini ishlab chiqish imkonini berdi. Gidrogenlangan oziq-ovqat moylarini olish shartlari o'rganildi. Margarin mahsulotlarini ishlab chiqarish uchun qo'yiladigan talablarga javob beradigan, ko'rsatilgan xususiyatlarga ega bo'lgan gidrogenlangan yuqori izomerlash qobiliyatiga ega bo'lgan selektiv gidrogenlashuvchi katalizatorlar ishtirokida olinishi mumkin.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, rodiy yoki palladiy+rodiy tizimi bilan promotorlangan statsionar katalizatorlar eng yuqori selektivlik va juda yuqori izomerlash qobiliyatini namoyish etadi. Ushbu katalizatorlarning selektivligi va izomerlash qobiliyati boshqa promotorlangan katalizatorlarga qaraganda sezilarli darajada yuqori, shuningdek, nikel-alyuminiy va №3 nikel-mis-alyuminiy qotishma katalizatorlaridan ham yuqori bo'ladi. Bundan tashqari, 0,15-0,5% rodiy va 0,05-0,10% palladiy va 0,1-0,5% rodiy bilan promotorlangan katalizatorlar ham yuqori boshlang'ich faollikka ega.

Taqqoslash uchun shuni ta'kidlaymizki, promotorlanmagan №2 va №3 qotishma

katalizatorlar 4-6 kun ichida o'zlarining dastlabki faolligini tezda taxminan 40% ga kamaytiradi, ularning barqarorlashish butun tsiklini (moyni gidrogenlash orqali katalizatorni mashq qilish orqali) 15-20 kun davom etadi. Ammo statsionar katalizator faolligi barqarorlashuvining ushbu davridan keyin ham, unda olinadigan salomaslar yod soni 65-80 bo'lganda erish harorati 39⁰C dan past bo'lmaydi, jumladan bu erish harorati moyni gidrogenlash chuqurligiga kam bog'liq, hatto gidrogenlash jarayoni 200-220⁰C va vodorodning nisbatan past bosimida amalga oshirilsa ham. Shu bilan birga, rodiy (va palladiy) bilan promotorlangan nikel-mis-alyuminiy katalizatorlari katalitik xususiyatlarning barqarorlashuv davriga nisbatan ancha qisqaroq bo'lib, taxminan 2-4 kunni tashkil qiladi va bu davrda uning katalizator faolligi atigi 5-15% ga kamayadi, undan keyin barqaror, ancha yuqori faollik 800-1200 soat davom etadi.

Biroq shuni ham ta'kidlash kerakki, boshqa qotishma katalizatorlari singari, rodiy saqlagan katalizator faqat yuqori haroratlarda (180 ⁰C dan past bo'lmagan) va faqat belgilangan qisqa mashqdan so'ng kerakli selektivlikka ega, buni 9- va 10-jadvallardagi ma'lumotlardan ko'rish mumkin.

9-jadval

Mashq qilinmagan rodiy bilan promotorlangan qotishma katalizatorlarda paxta moyini gidrogenlash

Salomas namunasi	Gidrogenlash sharoitlari			Salomasning yog' kislota tarkibi, %			Selektivlik koeffitsienti, %
	Harorat, ⁰ C	Bosi mkPa	Moy uzatish tezligi, soat	To'yingan	Monoen	Dien	
1	180	300	1,0	48,1	31,9	20,0	6,5
2	200	100	1,0	47,0	27,2	25,8	9,0
3	200	300	1,0	44,4	37,1	18,5	18,5
4	200	500	1,5	42,9	21,6	35,5	26,5

Izoh: har bir keyingi namuna mazkur rejimda 5 soat uzluksiz ishlashdan keyin olingan.

10-jadval

Mashq qilingan katalizatorlarda gidrogenlashda olingan salomaslarning tavsifi

Salomas namunasi №	O'rtacha yod soni, % J ₂	Erish harorati, ⁰ C	Qattiqlik, g/sm	Kislota soni, mg KOH/g
1	66,5	47,4	190	1,01
2	68,1	46,8	220	0,71
3	64,6	46,0	180	0,76
4	70,2	41,3	200	0,84

10- va 11-jadvallardan ko'rinib turibdiki, mashqning boshidanoq jarayonning selektivligi oshadi va ma'lum bir yod sonida salomas erish harorati keskin pasayadi, garchi bunda katalizatorni vodorod bilan to'yintirish va maksimal unumdorlikka erishish uchun ishchi bosim maxsus oshirilgan bo'lsa ham. Laboratoriya qurilmasida ko'plab tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, mashq qilish, yuqorida aytib o'tilganidek, asta-

sekin 160 dan 200°C gacha ko'tariladigan haroratda taxminan 100 soat davom etishi kerak, puxta rafinatsiyalangan moyni uzatish tezligi taxminan 1,0 soat⁻¹.

Past haroratlarda hamda vodorod va moy bo'yicha past hajmiy tezligida katalizatorning faolligi va selektivligining barqarorlashuvi keskin sekinlashadi.

11-jadval

Rodiy bilan promotorlangan 100 soat davomida mashq qilingan katalizatorlarda paxta moyini gidrogenlashning selektivligi

Salomas namunasi, №	Gidrogenlash sharoitlari			Salomas tarkibida yog'likislota, %			Selektivlik koeffitsienti, %
	Harorat, °C	Bosim, kPa	Moyni uzatish tezligi, soat	To'yingan	Monoen	Dien	
1	180	100	1,0	33,6	55,8	10,6	82,0
2	180	300	1,0	31,0	55,1	13,9	86,8
3	180	300	1,1	29,8	53,9	16,3	89,4
4	180	300	1,5	27,7	51,6	20,7	94,4
5	200	500	1,5	30,0	43,2	26,8	63,6

Qisqa mashqdan so'ng, rodii bilan promotorlangan katalizator 180-200°C va 300 kPa vodorod bosimida yuqori selektivlikni ko'rsatdi. Bu olingan salomas ko'rsatkichlarida ham o'z aksini topdi (12-jadval).

Rodiy va palladiy+rodii tizimi bilan promotorlangan statsionar nikel-mis-alyuminiy qotishma katalizatorlarini tayyorlash (regeneratsiya, mashq) jarayonining texnologik parametrlari, shuningdek, ushbu katalizatorlarda turli xil oziq-ovqat salomaslarini ishlab chiqarish texnologiyasini sinovdan o'tkazish uzluksiz ishlovchi tajriba-sanoat gidrogenlash qurilmasida amalga oshirildi.

12-jadval

Mashq qilingan katalizatorlarda gidrogenlash orqali olingan salomas tavsifi

Namuna, №	O'rtacha yod soni, % J ₂	Erish harorati, °C	Qattiqlik, g/sm	Kislota soni, mg KOH/g
1	74,6	33,6	220	0,61
2	68,0	33,2	220	0,63
3	70,8	33,4	180	0,63
4	74,6	31,8	160	0,61
5	69,1	33,4	200	0,64

Tadqiqotlar turli promotorlar bilan promotorlangan katalizatorlar bilan hamda ularni ishqorlab yuvish, faollashtirish shartlari va keyingi gidrogenlash shartlari o'zgartirilgan holda olib borildi. Olingan ma'lumotlarning tahlili laboratoriya ma'lumotlari asosida tavsiya etilgan katalizatorlar va ularni tayyorlash rejimlari haqiqatan ham maqbul ekanligini ko'rsatdi. Plastik oziq-ovqat gidrogenlangan yog'larni olish uchun №8 yoki №18 katalizatorlar (mos ravishda rodii yoki palladiy+rodii tizimini saqlagan) qo'llash maqsadga muvofiqligi ko'rsatildi, jumladan qattiqligi taxminan 220 g/sm bo'lgan salomas yangi mashq qilingan va regeneratsiyalangan katalizatorlarda, shuningdek, yangi faollashtirilgan +qotishma bilan regeneratsiyalangan katalizator aralashmalaridan olinishi mumkin. Qandolat

yogʻlariga qoʻyiladigan talablarga javob beradigan qattiqligi yuqori boʻlgan salomas olish uchun uni kamida 600 soat davomida mashq qilingan soʻng, qisman ishqorlab yuvish yoʻli bilan koʻp marotaba regeneratsiyalangan foydalanish kerak.

Shuningdek, moyni uzatish 1-1,5 soat⁻¹ hajmiy tezligiga mos keladigan oziq-ovqat plastik salomas (margarin sanoati uchun) boʻyicha tajriba qurilmasining unumdorligini taʼminlash uchun jarayonni 180-200^oC haroratda, 100-300 kPa bosimda, vodorodni uzatish 60 soat⁻¹ hajmiy tezligida amalga oshirish kerakligi tasdiqlandi.

Birlashtirilgan va tajriba-sanoat natijalarning mos kelishiga misol tariqasida 5.9-jadvalda tajriba qurilmasida 200^oC haroratda, 300 kPa bosimda, uzluksiz jarayonning dastlabki 80 soati uchun moyni uzatish uchun 1,5 soat⁻¹ va qolgan vaqt uchun 1,0 soat⁻¹ hajmiy tezligida, vodorodni uzatish 60±5 soat⁻¹ hajmiy tezligida №18 yangi katalizatorida paxta moyini gidrogenlash maʼlumotlari keltirilgan.

5.8-jadvalda koʻrsatilganidek, tajriba qurilmasida gidrogenlashning dastlabki 3-4 kunida jarayon past selektivlik bilan davom etdi, chunki katalizatorni barqarorlashtirish (mashq qilish) bajarilgan. Keyin 600 soat, yaʼni 25 kun davomida katalizator margarin mahsulotlari uchun salomas ishlab chiqarishni taʼminlaydigan rejimda ishladi: erish harorati 31-34 ^oC, qattiqlik 160-240 g/sm.

13-jadval

Yarim sanoat qurilmasida yangi katalizator bilan paxta moyini gidrogenlash yoʻli bilan olingan oziq-ovqat salomasining tavsifi

Vaqt, soat	Oʻrtacha yod soni, % J ₂	Yod soni pasayishi	Erish harorati, ^o C	Qattiqlik, g/sm	Kislota soni, mg KOH/g
6	63,0	46,0	42,0	280	0,75
24	65,9	43,1	38,1	260	0,73
38	67,6	41,4	36,0	250	0,60
50	59,1	39,9	35,2	240	0,70
80	72,3	36,7	34,7	220	0,71
100	65,9	44,1	34,6	240	0,67
140	66,7	44,3	33,6	240	0,65
200	68,5	41,5	32,7	220	0,71
350	70,0	39,8	31,8	200	0,63
500	71,9	38,1	31,5	200	0,61
600	73,8	36,2	31,3	180	0,60
720	75,4	34,6	31,3	160	0,61
750	77,6	32,4	31,0	160	0,60

Taxminan 30 kunlik uzluksiz ishlashdan soʻng katalizatorning faolligi sezilarli darajada kamaydi va shuning uchun katalizator tripolifosfat bilan yogʻsizlantirildi va ishqor bilan faollashtirildi. Laboratoriya sinovlari natijalaridan kutilganidek, regeneratsiyadan soʻng katalizator paxta moyini 1-1,5 soat⁻¹ hajmiy tezligida va 100-300 kPa bosimda oziq-ovqat salomasiga darhol gidrogenlashtirdi. Birinchi regeneratsiyadan keyin katalizatorning ushbu rejimda ishlash muddati 30 kunningi tashkil etdi, shundan soʻng reaktorlarni maʼlum miqdorda dastlabki qotishma bilan toʻldirib, regeneratsiya yana takrorlandi. Bir necha oylik ishlatish davomida katalizator belgilangan standartlarga mos salomas ishlab chiqardi, keyinchalik u

zavod tomonidan tijorat mahsuloti sifatida ishlatilgan.

Jarayonning hajmiy tezligini moy bo'yicha taxminan 0,5 soat⁻¹ gacha kamaytirish, bosimni 300 kPa ga oshirish va barbotaj tezligini yuqoridagi darajada ushlab turish №18 regeneratsiya qilingan katalizator yordamida qattiqligi yuqori bo'lgan moylarni olish imkonini berdi (14 jadval).

14-jadval

Regeneratsiyalangan katalizator bilan tajriba-sanoat qurilmasida olingan salomaslar tavsifi

Moyni uzatish tezligi, soat ⁻¹	O'rtacha yod soni, % J2	Selektivlik koeffitsienti, %	Kislota soni, mg KOH/g	Erish harorati, °C	Qotish harorati, °C	Qattiqlik g/sm
0,4	60,4	79,8	1,01	36,4	29,2	300
0,6	68,1	81,8	0,77	36,8	29,7	380
0,8	71,5	87,9	0,69	34,3	30,6	400
0,7	70,5	81,2	0,81	36,1	31,1	440
0,6	68,2	89,2	0,86	36,0	31,0	500
0,6	66,4	94,4	0,91	37,3	31,4	580

Shunga o'xshash natijalar rodiy bilan promotorlangan №8 katalizator bilan ham olingan.

Shunday qilib, tajriba-sanoat sinovlari rodiy (yoki palladiy+rodiy tizimi) bilan promotorlangan statsionar nikel-mis-alyuminiy qotishma katalizatori vodorod bosimi taxminan 300 kPa va harorat 200 °C atrofida bo'lganda sanoat amaliyoti uchun etarli tezlikda oziq-ovqat salomaslarini ishlab chiqarishga imkon beradi degan xulosani tasdiqladi.

Katalizator va olingan salomaslar uzoq muddatli sinovdan o'tkazish natijalari (quyida keltirilgan) statsionar nikel-mis-alyuminiy katalizatorida uzluksiz gidrogenlash yo'li bilan 1-1 va 1-3 markali (qandolat sanoati uchun) oziq-ovqat salomasi ishlab chiqarish uchun texnologik yo'riqnomalarini ishlab chiqishga imkon berdi.

XULOSALAR

1. Yuqori sifatli va ozuqaviy xavfsiz qattiq yog'larni ishlab chiqarish uchun eng maqbul katalitik tizimlar bo'lib nikel, mis va promotorlovchi qo'shimchalar asosidagi kukunsimon va turg'un qotishmali katalizatorlar hisoblanadi. Bunday katalitik tizimlar gidrogenlash jarayonida salomaslardagi trans-izomerlangan yog' kislotalari miqdorini 5,0-7,0% gacha kamaytirishga va ulardagi linol kislotasining doimiy miqdorini 25,0-27,0% gacha ta'minlash imkonini berdi.

2. Turg'un nikel-mis-aluminiy qotishmali turg'un katalizatorlarning gidrogenlash xususiyatlarini shakllantirishda, qo'shimchalar sifatida eng maqbul va samarali bo'lib 0,05-2,50 % dan oshmaydigan miqdorda palladiy, rodiy, ruteniy, reniy, germaniy, qalay va vanadiy promotorlari aniqlandi. Promotorlar va qo'shimchalarning bu tarkibi doimiy gidrogenlash jarayonida katalizatorning faolligini, selektivligini, izomerlash qobiliyatini va barqarorligini o'zgartiradi.

3. Katalitik gidrogenlangan oziq-ovqat yog'larining yuqori sifati va oziq-ovqat

xavfsizligi yog' uchglitseridlaridagi yog' kislotalarining qattiq va suyuq fraksiyalarining kerakli miqdori va nisbati, xom ashyoni texnologik qayta ishlash jarayonida undagi biologik muhim komponentlarning miqdoriy tarkibini saqlab qolish bilan ta'minlandi.

4. Yuqori sifatli katalitik gidrogenlangan yog'lardagi yog' kislotalarini ishlab chiqarishning eng maqbul texnologik sharoitlari: harorat 180°C, bosim 100 kPa va xom ashyoni uzatish hajmiy tezligi 1,2-1,5 soat⁻¹ hisoblanadi. Ushbu sharoitda qattiq yog'larda trans-izomerlangan mono to'yinmagan yog' kislotalarining miqdoriy tarkibini kamaytirish imkonini berdi.

5. Ilmiy-amaliy tadqiqotlar natijalari har xil turdagi katalitik tizimlardan foydalangan holda paxta moyi asosidagi katalitik gidrogenlangan oziq-ovqat yog'lardagi yog' kislotalarni sifati va ozuqaviy xavfsizligini oshirish bo'yicha mavjud nazariy tushunchalarni kengaytirish va to'ldirish imkonini berdi.

6. Nazariy va amaliy tadqiqotlar asosida paxta moyidagi yog' kislotalarni gidrogenlash uchun katalizatorni tanlash va samaradorligini baholash tizimi ishlab chiqildi, paxta moyi uchglitseridlarining to'yinmagan yog' kislotalarini to'yinish kinetik o'zgarishlari tenglamalari olindi, ular maqsadli gidrogenlangan yog'larni ishlab chiqarishning texnologik parametrlarini va sharoitlarini optimallashtirish imkonini berdi.

7. Texnologik sharoitlarni, yog'larning qattiq va suyuq fraksiyalarining miqdoriy tarkibi va nisbatini, trans-izomerlangan mono en yog' kislotalarining miqdori va oziq-ovqat salomasi uchatsilglitseridlarida linol kislota atsillarining joylashishini optimallashtirish usullari yordamida margarin mahsulotlarining yuqori sifat va ozuqaviy xavfsizligi ko'rsatkichlari ta'minlandi, bu esa ularning turlarini kengaytirish imkonini berdi.

8. Margarin mahsulotlari va yuqori qattiq qandolat yog'lari ishlab chiqarishda trans-izomerlangan yog' kislotalarining minimal miqdori (5,0-7,0%) va dito'yinmagan kislotalarning miqdoriy tarkibi 25,0-27,0% bo'lgan gidrogenlangan yog'lardan foydalanish mahsulotlarning yuqori sifati va ozuqaviy qiymatini ta'minlash imkonini berdi.

9. Tarkibida minimal (5-7%) trans-izomerlar saqlagan oziq-ovqat salomaslari asosida margarin mahsulotlari ishlab chiqarishga erishildi. Natijada margarinlarning sifati yaxshilandi va turlari kengaytirildi.

10. Ishlanmalarning amaliyotga joriy etilishi natijasida gidrogenlash yo'nalishining bitta tizimida 204 mln. so'mni tashkil etadigan iqtisodiy samaradorlikni olish va hisoblash imkonini berdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.03/28.02.2022.Т.101.01 ПРИ БУХАРСКОМ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ХОДЖИЕВ ШУХРАТ МАХМУДОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОГЕНИЗАЦИИ ЖИРНЫХ
КИСЛОТ РАСТИТЕЛНЫХ МАСЕЛ НА КАТАЛИЗАТОРАХ С
ДОБАВКАМИ НА НИКЕЛЬ-МЕДНОЙ ОСНОВЫ**

**02.00.17- Технология и биотехнология обработки, хранения и переработки
сельскохозяйственных и пищевых продуктов**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
доктора технических наук (DSc)**

Бухара –2025

Тема диссертации доктора технических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером В.2023.1.DSc/T276

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (www.bmti.uz) и информационно-образовательном портале Ziyonet (www.ziyonet.uz).

Научный консультант:

Мажидов Кахрамон Халимович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Ахмедов Азимжон Нормуминович
доктор технических наук, профессор

Маматханов Ахмадхон Умархонович
доктор технических наук, профессор

Йулчиев Асилбек Бахтиёрович
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация:

Гулистанский государственный университет

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2025 г. в « ____ » часов на заседании Научного совета DSc.03/28.02.2022.T.101.01 при Бухарском инженерно-технологическом институте (Адрес: 200117, г.Бухара, ул.К.Муртазаева 15, тел.: (+99865) 223-78-84, факс: (+99865) 223-78-84, e-mail: bmti_info@edu.uz)

Докторская диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института (зарегистрировано за № ____) (Адрес: 200117, г.Бухара, ул. К. Муртазаева 15, тел. (+99865) 223-78-84

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2025 года.

(Протокол рассылки № _____ от « ____ » _____ 2025 года).

Ф.С. Фозилов

Председатель Научного совета по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

А.Т.Олтиев

Учёный секретарь Научного совета по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, доцент

И.И. Исабаев

Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

Введение (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в последние годы растёт спрос на растительные масла и продукты их переработки, в частности, на гидрогенизированные жиры. Производство растительных масел в 2023 году составило в США – 79,8 млн. т, России – 10,0 млн. т, Китае – 36,0 млн. т, Средней Азии – 70,0 млн. т, в том числе и в Узбекистане – 0,25 млн. т, в Европе – 26,0 млн. т¹. Индонезия и Малайзия являются основными экспортёрами твёрдого растительного масла (пальмового и пальмоядрового), которое используется, в основном, в производстве маргариновой продукции и кондитерских жиров. При этом производство высококачественных гидрогенизированных масел является одним из основных направлений масложировой промышленности. В процессе гидрогенизации масел используются технологии, требующие большого потребления энергии. Соответственно, создание эффективных технологий с использованием катализаторов на основе никеля и меди имеет большое значение при проведении научных исследований по технологии гидрогенизации жирных кислот хлопкового масла.

В мире ведутся научно-исследовательские работы по каталитической модификации растительных масел и жиров, модернизации технологий производства с использованием новых типов каталитических систем и методов математического моделирования технологических процессов. В связи с этим особое внимание уделяется научным исследованиям по созданию высококачественных гидрогенизированных масел с использованием катализаторов нового поколения, позволяющих обеспечить минимальное содержание трансизомеризованных жирных кислот.

В Республике в практике масложировой промышленности ведутся исследования по технологии гидрогенизации с использованием различных видов катализаторов - наиболее распространенного метода каталитической модификации растительных масел и жиров. В этих работах основное внимание уделено научным исследованиям и практике каталитической модификации хлопкового масла, одного из основных видов растительного масла, при которой рекомендуются катализаторы на основе никеля и меди, а также использование различных промоторов в качестве факторов, изменяющих гидрогенизационные свойства исходных катализаторов. В Стратегии действий (2017-2030 гг.) по дальнейшему развитию Нового Узбекистана определены такие важные задачи, как «... развитие отраслей, модернизация и диверсификация промышленности, использование энерго- и ресурсосберегающих методов, обеспечение пищевой безопасности продукции, производство конкурентоспособной и экспортноориентированной импортозамещающей продукции ...»². Для достижения этих целей особое значение имеют научные исследования, направленные на получение гидрогенизированных масел с использованием высокоэффективных катализаторов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, предусмотренных в указах и постановлениях Президента

¹ <http://www.USDA.com>

² http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3107036

Республики Узбекистан УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», УП-6097 от 29 октября 2019 года «Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года», УП-5853 от 24 октября 2019 года «Об утверждении Стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы», а также других нормативно-правовых документах, связанных с этой деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологии агентства инновационного развития Республики Узбекистан: VII. «Химическая технология и нанотехнология».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации³. Научные исследования, направленные на технологию получения целевых масложировых продуктов с использованием каталитических систем и различных катализаторов проводятся в ведущих зарубежных и отечественных научно-исследовательских учреждениях – таких как Australian Institute of Petroleum (Австралия), Delft University of Technology (Нидерланды), French Petroleum Institute (Франция), West Virginia University (США), The University of Tokyo (Япония), Eхxon BASF (Германия), Азербайджанский научно-исследовательский институт нефти и газа (Республика Азербайджан), Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, Уфимский Государственный университет, Институт Нефтехимического синтеза им А.В.Топчиева Российской Академии наук (Россия), Научно-исследовательский институт общей и неорганической химии Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкентский химико-технологический институт, Бухарский инженерно-технологический институт и в других научных учреждениях.

В результате исследований, проводимых в мире по совершенствованию технологии гидрогенизации жиров и масел и получению пищевых масел, используемых в пищевой промышленности, с использованием эффективных катализаторов для этих целей, достигнуты следующие результаты: усовершенствована технология каталитических процессов, селективной частичной гидрогенизации возобновляемых жиров и масел, рассмотрено получение стандартизированных субстратов для синтеза химических промежуточных продуктов. (Технический университет Дортмунда, Дортмунд, Германия); разработана технология каталитического переноса водорода, направленная на селективное восстановление α,β -ненасыщенных кетонов до насыщенных кетонов и алкенов до алканов с использованием метанола и этанола в качестве стабильных источников водорода (CSIR- Центральный научно-исследовательский институт солей и морских химикатов, Гуджарат, Индия), разработана технология производства маргариновой продукции с низким содержанием трансизомеров, путем частичной гидрогенизации пальмового масла с использованием экологически чистой и не содержащей катализаторов микроволновой плазменной технологии (Университет Chulalongkorn, Бангкок, Таиланд).

³ Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?pn_id=4920, <http://www.neftelib.ru/neft-slovar-list/r/656/index.shtml>, webmaster: webmaster@ogbus.ru, <http://www.topreg.ru/article/5/> и других источников.

В мире проводится ряд научных исследований по использованию эффективных катализаторов в технологии гидрогенизации различных растительных масел и жиров, в том числе по следующим приоритетным направлениям: включая активность катализаторов в процессе гидрогенизации масел и жиров, высокая гидрогенизирующая способность, локализация катализаторов гидрогенизации для получения потребительских твёрдых жиров различного назначения, производство безопасных в пищевом отношении кондитерских жиров с пониженным содержанием трансизомеризованных жирных кислот.

Степень изученности проблемы. По данной тематике известны научно-исследовательские работы J.M. Hasman, J.J Cray, M.F. Kozempel, S. Adhikari, R. Larsson, E. Szukalska, Ten Brink, А.А.Абдурахимова, С.А. Абдурахимова, К.А. Жубанова, Н.С. Арутюняна, Ф.Б. Бижанова, И.И. Иоффе, М.А. Гинзбурга, А.И. Глушенковой, А.Б.Фасмана, Ю.К. Кадилова, Н.Л. Меламуда, А.Г. Сергеева, Д.В. Сокольского, И.М. Товбина, Б.Н. Тютюнникова, А.А. Шмидта, К.Х. Мажидова, Н.К. Мажидовой, К.К. Саттарова, И.Б. Исабаева и других, направленные на создание катализаторов гидрогенизации растительных масел и жиров, в частности, хлопкового подсолнечного, соевого и других масел.

Учёными и ведущими специалистами усовершенствована технология каталитической гидрогенизации растительных масел и жиров с использованием порошкообразных и стационарных катализаторов; оптимизированы технологические режимы производства пищевых жиров; даны рекомендации по использованию катализаторов для производства пищевых, гидрированных жиров. При этом развитию технологии гидрогенизации масел и жиров уделялось незначительное внимание, так: не разработана научно обоснованная технология гидрогенизации хлопкового масла и их жирных кислот на никель-медных катализаторах не исследовано влияние технологических режимов и природы катализаторов на формирование качества и физико-химические характеристики высокотвёрдых пищевых жиров; не установлена и не обоснована роль природы и компонентного состава используемых катализаторов в формировании пищевой ценности и безопасности получаемых продуктов; не изучены вопросы моделирования процессов гидрогенизации хлопкового масла.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Бухарского инженерно-технологического института ЁА9-5 «Развитие направлений производства гидрированных жиров повышенного качества и пищевой безопасности» (2020-2025 гг.), А-9-8 «Новые разработки в усовершенствовании технологии производства жиров повышенного качества и пищевой безопасности» (2022-2024 гг.), ППИ-9 «Повышение качества, расширение ассортимента масложировой продукции на основе местного нетрадиционного сырья с использованием высокоэффективных технологий, обеспечивающих пищевую безопасность продуктов питания на 2020-2025 годы».

Целью исследования является совершенствование процесса

гидрогенизации жирных кислот растительных масел на катализаторах с добавками на никель-медной основе.

Задачи исследования:

разработка новых катализаторов гидрогенизации жирных кислот масел и жиров;

моделирование процессов и катализаторов гидрогенизации жирных кислот масел и жиров;

изучение основных научных и практических закономерностей гидрогенизации жирных кислот на катализаторах нового поколения;

определение роли и значения каталитических металлов в гидрогенизации растительных масел;

разработка и оптимизация технологических режимов гидрогенизации жирных кислот растительных масел на катализаторах с добавками на никель-медной основе;

использование продуктов каталитической гидрогенизации жирных кислот в производстве пищевых жиров, обеспечение высокого качества и пищевой безопасности готовых изделий;

расширение каталитических систем на основе новых добавок и промоторов;

внедрение результатов производственных испытаний и научно-технических разработок в условиях производства.

Объектами исследования являлись: порошкообразные и стационарные каталитические системы для гидрогенизации жирных кислот на основе никеля, меди и различных промотирующих добавок, методы математического моделирования технологических процессов и катализаторов гидрогенизации.

Предметом исследования являлись разработка и моделирование инновационных катализаторов гидрогенизации жирных кислот масел и жиров, исследование технологии каталитической гидрогенизации жирных кислот растительных масел на катализаторах нового поколения.

Методы исследования. Использованы современные физические, химические и физико-химические методы (ИК, ГЖХ, ТСХ и др.) анализа, а также методы математической обработки полученных экспериментальных данных.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

научно доказано и экспериментально подтверждено, что наиболее приемлемыми и эффективными в формировании гидрирующих свойств катализаторов в качестве промоторов и добавок являются палладий, родий, рутений, рений, германий, олово и ванадий в количестве, не превышающем 0,05-2,50 % массы сплава;

теоретическими и экспериментальными исследованиями разработана систематика выбора и оценки эффективности катализатора для гидрогенизации жирных кислот хлопкового масла, получены уравнения кинетических закономерностей насыщения непредельных жирных кислот триглицеридов хлопкового масла, в результате научно обоснованы оптимальные технологические параметры производства целевых гидрогенизированных

масел;

доказано, что наиболее оптимальными технологическими условиями для получения высококачественных каталитических гидрогенизированных масел являются: температура 180°C, давление 100 кПа и объемная скорость подачи сырья 1,2-1,5 ч⁻¹;

научно доказано, что использование пищевых масел с минимальным содержанием транс-изомеризованных жирных кислот (5,0-7,0%) и количественным содержанием диенасыщенных кислот 25,0-27,0% обеспечивает высокое качество и пищевую ценность продукции;

обоснованы на основе модели процессов и катализаторов технологии гидрирования жирных кислот масел и жиров, разработаны процессы оптимизации технологических режимов гидрирования жирных кислот растительных масел на катализаторах с добавками на основе никеля и меди.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

определены оптимальное соотношение и количество никель-медных катализаторов для гидрирования жирных кислот хлопкового масла с высокими гидрогенизационными свойствами, обеспечивающими получение саломасов пищевого назначения;

определены уравнения математического моделирования технологических процессов и каталитических систем гидрирования жирных кислот хлопкового масла;

установлены оптимальные технологические режимы гидрогенизации жирных кислот хлопкового масла на катализаторах с никель-медными добавками путём оптимизации и математического моделирования;

разработаны и утверждены в установленном порядке нормативно-технические документы по совершенствованию технологии гидрогенизации жиров и масел на эффективных катализаторах.

Достоверность результатов исследований подтверждается оценкой результатов данных, полученных в ходе исследований и экспериментов с использованием современных методов физико-химического анализа, применением методов математической обработки, проведением экспериментов и испытаний в производственных масштабах и внедрением их в практику.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в расширении теоретических представлений о гидрировании масел на никель-медных катализаторах, содержащих присадки, определении роли и значения присадок в формировании гидрирующих свойств каталитических систем, разработке и научном обосновании уравнений для моделирования процессов гидрирования.

Практическая значимость результатов исследований заключается в определении оптимального количества промотирующих металлов в никель-медных катализаторах и служит созданию уравнений математического моделирования оптимальных технологических методов гидрирования хлопкового масла на новых каталитических системах.

Внедрение результатов исследования. На основании научных исследований, направленных на внедрение в производство усовершенствованных технологий процесса гидрирования жирных кислот

растительных масел на никель-медных катализаторах:

на производственном предприятии ООО «Sardoba oil group» внедрена технология гидрирования хлопкового масла на порошкообразном катализаторе (Технологическая инструкции от 10.01.2024 г.). В результате на основе новых технологических разработок позволили обеспечить качество и пищевую безопасность гидрогенизированного хлопкового масла;

на производственном предприятии ООО «Xonrod invest» внедрены стабильные катализаторы на основе сплава никель-медь-алюминий с добавками родия, ванадия, рутения, палладия, рения, германия и олова для гидрирования хлопкового масла (справка № КС/3-184 “Yog‘-moy sanoati korxonaları uyushmasi” от 06.06.2024 года). В результате технология гидрирования хлопкового масла позволила повысить активность и гидрирующие свойства исходных катализаторов на 75-85%;

на производственном предприятии ООО «Sardoba oil group» внедрена технология производства пищевых и высокотвёрдых гидрогенизированных масел, содержащих 5,0-7,0% трансизомеризованных жирных кислот в производственных условиях с участием стабильного порошкообразного катализатора (справка № КС/3-184 “Yog‘-moy sanoati korxonaları uyushmasi” от 06.06.2024 года). В результате удалось достичь наиболее оптимальных технологических условий для получения высококачественных каталитических гидрогенизированных масел (температура 180°C, давление 100 кПа, объемная скорость подачи сырья 1,2-1,5 ч⁻¹).

Апробация результатов исследования. Результаты исследования изложены в виде докладов и прошли апробацию на 6 международных и 10 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 23 научных работ, в том числе 1 монографии, 11 статей, опубликованных в научных изданиях. Из них 8 - в республиканских и 3 - в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Республики Узбекистан для публикации научных результатов докторских диссертаций. Опубликовано 11 тезисов докладов на международных и республиканских научно-практических конференциях.

Структура и объём диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 176 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, описаны объекты и предмет исследования, его соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты, обоснована достоверность полученных результатов, приведены результаты внедрения разработок в производство, сведениям об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Процессы гидрогенизации, вопросы теории, катализаторы, добавки и промоторы, способы**

моделирования» изложены вопросы теории каталитической гидрогенизации масел и жиров; описаны дисперсные порошкообразные и стационарные катализаторы; произведены активаторов и промоторов каталитических систем, использование стационарных катализаторов, методов моделирования технологических процессов и построения математических моделей, оценка характеристик традиционных моделей. На основе анализа и оценки информационных источников сформулированы цель и задачи настоящей диссертационной работы.

Во второй главе диссертации под названием **«Установки для исследования катализаторов, характеристика используемых объектов, методы физико-химического исследования»** подробно изложены методы проведения научно-экспериментальных исследований. Исследования гидрогенизации хлопкового масла в проточных условиях в присутствии стационарных сплавных катализаторов были проведены на лабораторной установке высокого давления с реактором колонного типа, схема которой показана на рис.1.

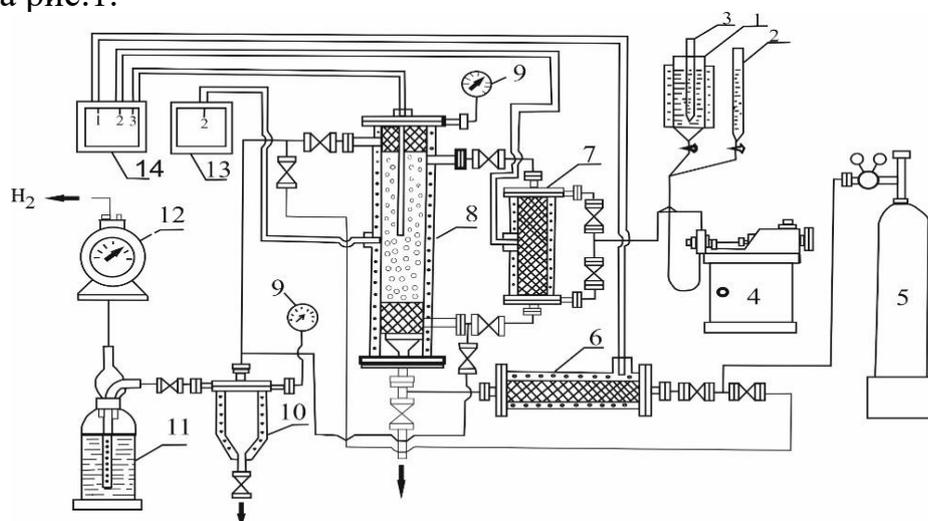


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема лабораторной установки для гидрирования растительных масел

1- ёмкость для масла; 2- мерник для масла; 3- термометр; 4- Насос - дозатор; 5- баллон H_2 ; 6- подогреватель водорода; 7-подогреватель масла; 8- трубчатый реактор; 9- манометры; 10- сепаратор-сборник; 11- каплеотделитель; 12- счётчик водорода; 13- потенциометр ПСР-108; 14- потенциометр ПСИ-09.

Испытание промотированных стационарных никель-медь- алюминевых катализаторов с оптимальным содержанием промотирующих металлов проводили на укрупненной установке (рис.2). Эксперименты по гидрированию хлопкового масла с использованием стационарного катализатора на носителе проводились проточным методом в стеклянном реакторе без давления (рис. 3).

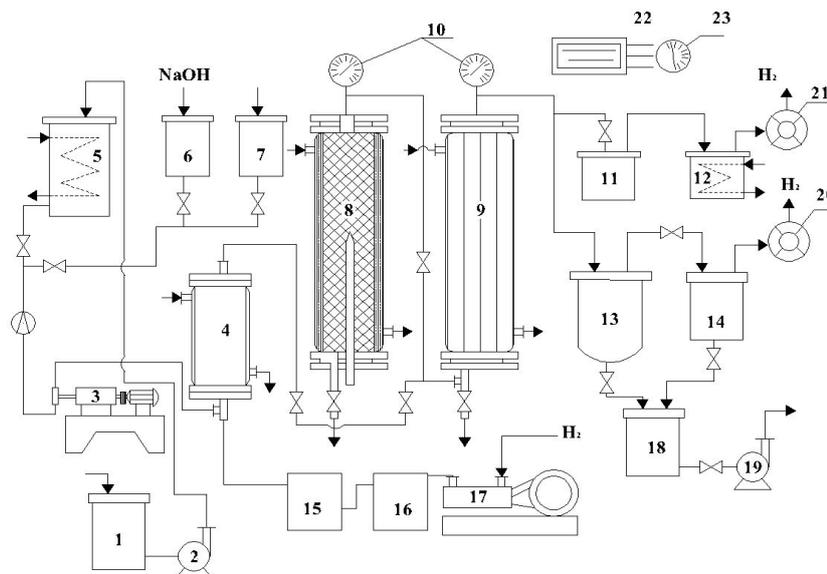


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема увеличенной установки для гидрирования растительных масел при повышенном давлении водорода:

1- мерник для масла; 2- насос; 3- насос-дозатор; 4- смеситель подогреватель; 5- подогреватель масла; 6- ёмкость для раствора щелочи; 7-ёмкость для раствора триполифосфата натрия; 8- реактор; 9- реактор; 10- манометры; 11- жироловушка; 12- очиститель водорода; 13- сепаратор высокого давления; 14- расширитель; 15- ресивер; 16- холодильник; 17- компрессор; 18- сборник для гидрогенизата; 19-насос для гидрогенизата; 20, 21- расходомеры; 23- переключатель.

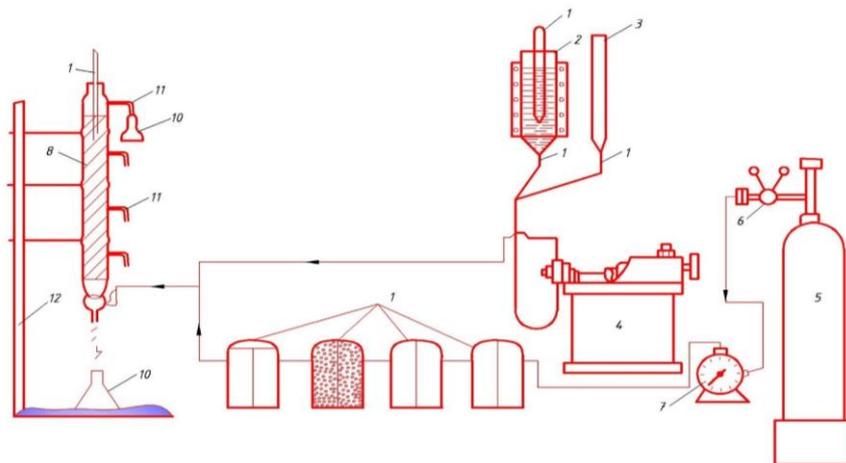


Рис. 3. Схема гидрогенизационной установки с реактором без давления:

1- термометр; 2- ёмкость для сырья; 3- мерная бюретка; 4- насос дозатор; 5-. водородный баллон; 6- редуктор; 7- газовый счётчик; 8- очистная установка для H₂; 9- стеклянный реактор; 10- ёмкости для гидрогенизата; 11- патрубки; 12- штатив.

В третьей главе под названием «Исследование (изучение, определение) и оценка инновационных катализаторов гидрогенизации жиров и расширение теоретических представлений в этом направлении» изложены результаты исследования инновационных катализаторов в технологии гидрогенизации хлопкового масла. Одним из важнейших вопросов кинетики процесса гидрирования является установление порядка реакции. С этой целью была проведена серия опытов гидрирования на стационарных сплавных катализаторах при 200⁰С, давлении водорода 300 кПа, объемной скорости подачи водорода 60 час⁻¹ при различных объёмных скоростях подачи

хлопкового масла.

Полученные результаты в присутствии №3, №6, №8 и №10 катализаторов⁴ представлены на рисунке 4 в координатах: «йодное число гидрогенизата – время контакта».

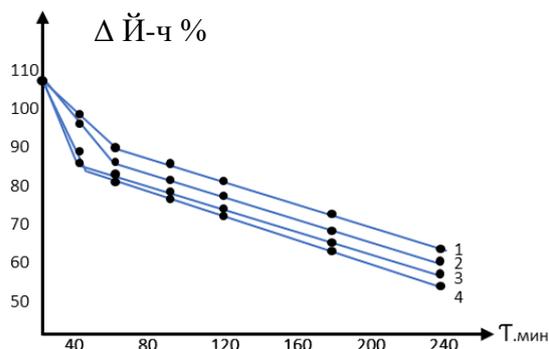


Рис. 4. Зависимость глубины гидрирования хлопкового масла от времени контакта с катализаторами № 3(1), №6(2), №8(3) и №10(4)

Установлено (рис. 4), что зависимость степени ненасыщенности масла от времени контакта выражена двумя прямолинейными участками. Это свидетельствует об описании процесса насыщения хлопкового масла на изученных катализаторах кинетическими уравнениями нулевого порядка по линоловым и олеиновым радикалам, а наличие перелома на графике – о преимущественном насыщении радикалов линолевой кислоты в начале процесса.

Таблица 1.

Влияние родия на активность никель-медь-алюминиевого катализатора

Содержание родия в сплаве, %	Среднее йодное число гидрогенизата, % J ₂	Активность, (ΔЙ.ч.)
0,00	67	0,42
0,15	64	0,45
0,35	60	0,43
0,50	57	0,52
0,75	54	0,55
1,00	53	0,56

Для изучения влияния родия на активность никель-медь-алюминиевого катализатора в качестве исходного был взят никель-медь-алюминиевый сплав с соотношением никель: медь = 3:1.

Исследования проводились при температуре 200⁰С, давлении водорода 700 кПа, объемной скорости подачи водорода 60 час⁻¹, объемной скорости подачи масла 1,10 час⁻¹. Гидрированию подвергали рафинированное хлопковое масло с йодным числом 109,1. Полученные данные представлены в таблице 1.

Введение родия в сплав повышает активность катализатора. Значительный рост активности наблюдается вплоть до содержания родия, равного 0,50%. При дальнейшем увеличении количества родия в сплаве активность катализатора увеличивается незначительно. Среди изученных катализаторов с добавкой родия в качестве промотора наиболее активным является катализатор, который

⁴ компонентный состав и количественное содержание составляющих металлов приведены в описание диссертационной работы

содержит 0,50% родия.

Таблица 2.

Влияние германия на активность никель-медь-алюминиевого катализатора

Содержание германия в сплаве, %	Среднее йодное число гидрогенизата, % J ₂	Активность (ДЙ.ч.)
0,0	70	0,37
0,1	65	0,42
0,3	61	0,46
0,5	57	0,50
1,0	54	0,53
1,5	53	0,54
2,0	50	0,57

Большой интерес представляло изучение роли добавки германия к сплавным катализаторам. Германий в количестве 0,1-2,0 % был введен в никель-медь-алюминиевый сплав с соотношением никель: медь =3:1. Серия исследований по гидрированию хлопкового масла с й.ч. 107,1 была проведена на этих катализаторах при 200⁰С, давлении водорода 300 кПа и объемной скорости подачи масла 1,0 час⁻¹. Полученные данные приведены в таблице 2, из которых видно, что добавка германия приводит к повышению активности катализатора, причём интенсивный рост активности наблюдается вплоть до промотора в сплаве 0,50%.

Селективность процесса гидрогенизации на катализаторах, промотированных родием, изучали при давлении водорода 500 кПа объёмной скорости подачи масла 1,50 час⁻¹ и водорода 60 час⁻¹. Результаты сопоставимых исследований на катализаторах №3 и №8 приведены в табл.3.

Как видно из данных таблицы, влияние температуры на селективность процесса неодинаково для различных катализаторов. В присутствии непромотированного катализатора №3 селективность возрастает незначительно, а на промотированном 0,5% родием в катализаторе данный показатель увеличивается, причём наиболее интенсивный рост наблюдается при 180-200 ⁰С.

Совокупность полученных данных по изучению никель-медь-алюминиевых сплавных катализаторов, промотированных одним металлом, позволяет данные промоторы расположить в следующем порядке с понижающейся селективностью гидрирования на промотированном катализаторе:

Родий > палладий > без промотора > германий

Близкие по структуре ряды были построены и по данным изучения влияния промоторов на изомеризующую способность катализаторов:

Родий > палладий > без промотора > германий

Таблица 3.

Селективность процесса гидрогенизации хлопкового масла на катализаторах №3 (непромоторированный) и №8 (промотированный родием)

Температура, ⁰ С	Йодное число гидрогенизата % J ₂	Жирно-кислотный состав, %	Коэффициент селективности, %
-----------------------------	---	---------------------------	------------------------------

Катализатор № 3					
140	70,9	32,6	29,6	37,8	63,6
160	71,3	31,8	28,5	39,7	64,2
180	68,4	30,9	27,1	42,0	65,0
200	65,2	31,4	28,4	40,2	65,9
220	61,6	30,7	27,4	41,9	66,8
Катализатор № 8					
140	72,4	36,0	31,5	32,5	52,4
160	63,3	34,3	33,8	31,9	60,7
180	64,9	32,5	34,6	32,9	67,7
200	60,8	31,7	36,3	32,0	72,8
220	56,4	31,5	38,1	30,4	75,6

С целью повышения активности и обеспечения длительной стабильности никель-медь-алюминиевого катализатора его промотировали системой металлов «родий + рений» при постоянном содержании родия (0,50%) в сплаве.

Исследование активности катализатора при гидрировании хлопкового масла с Й.ч. 111,7 проводилось при 200⁰С, давлении 300 кПа и постоянной объёмной скорости подачи водорода 60 час⁻¹ и масла 1,50 час⁻¹ соответственно.

Таблица 4.

Влияние добавки родия и рения на активность никель-медь-алюминиевого катализатора

Содержание в сплаве, %		Среднее йодного число гидрогенизата, % J ₂	Активность, ΔЙ.ч
родия	рения		
0,50	0,00	64	0,47
0,50	0,50	55	0,56
0,50	1,00	51	0,60
0,50	1,50	47	0,64
0,50	2,00	46	0,64
0,50	2,50	47	0,64
0,50	3,00	48	0,63

Полученные данные (табл.4) свидетельствуют о том, что добавка рения в состав никель-медь-родий-алюминиевого катализатора при соотношении Ni:Cu=1:1 и постоянном содержании родия (0,50%) в сплаве также приводит к повышению активности исходного катализатора. В этом случае высокая активность катализатора наблюдается до 1,50 % содержания добавки в сплаве.

Промотирующий и удельный промотирующий эффекты (рис.5) никель-медь-родий-алюминиевого катализатора растут до содержания рения 1,50%, затем они симбатно снижаются.

$$\delta_p^U$$

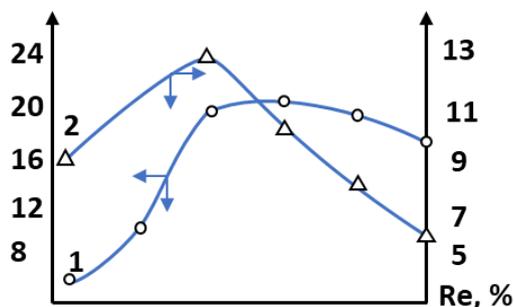


Рис. 5. Зависимость промотирующего (1) и удельно промотирующего (2) эффектов от количества рения в никель-медь-родий-алюминиевом катализаторе

Наибольший эффект промотирования наблюдается при введении в состав катализатора следующих количеств промоторов:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,05 % палладия + 0,30 % родия; | 0,5 % родия + 0,5 % рутения; |
| 0,05% палладия + 0,50% германия; | 0,5 % родия + 1,5 % рения; |
| 0,10%палладия + 1,0 % рения; | 0,5 % родия + 2,5 % олово; |
| 0,7 % палладия + 2,0 % олово; | 1,0 % германия + 1,0 % рения; |
| 0,5 % родия + 1,0 % германия; | 1,5 % германия + 2,5 % олово. |

Однако, даже при оптимальной концентрации промотора (или же системы промоторов) в сплаве активность получаемых катализаторов, естественно, не одинакова. По убывающей активности, промотированные системой металлов с оптимальным содержанием промотирующих добавок, можно расположить в следующем порядке:

**Палладий+родий > германий+олово > родий+олово >
 родий+рений > палладий+германий > родий+германий
 родий+рутений > германий+рений > палладий+рений
 палладий+олово > без промоторов.**

Близкие по структуре ряды были построены и по данным изучения влияния системы промоторов на изомеризующую способность катализаторов:

**палладий+олово > родий+олово > палладий +родий >
 родий+ рутений > германий +олово > палладий +рений >
 без промоторов > палладий+ германий > родий+ рений >
 родий +германий > германий +рений.**

Проведенный выше анализ позволил сформировать список наиболее эффективных катализаторов:

По активности: никель-медь-алюминиевые катализаторы родий; палладий + родий; германий + олово, промотированные.

По селективности: никель-медь-алюминиевые катализаторы родий; палладий + олово, промотированные палладий + родий.

По изомеризующей способности: никель-медь-алюминиевые катализаторы родий; палладий + олово, промотированные родий + олово

Анализ выше приведенного перечня никель-медь-алюминиевых стационарных сплавных катализаторов, промотированных родием; палладий+родий; палладий+оловом; родий+оловом; германий+оловом, показал, что наиболее промотирующими добавками являлись, в основном, четыре промотора: родий (0,05-1,0%); палладий (0,05-1,0%); германий (0,5-2,0%) и

олово (0,5-5,0%)

С этой целью исследования по гидрированию хлопкового масла на повторно используемых катализаторах проводили при постоянной скорости подачи масла $1,1 \text{ час}^{-1}$, меняя последовательно температуру, давление и скорость барботажа водородом.

Полученные данные на промотированном №8 и непромотированном №3 катализаторах представлены на рисунках 6 и 7, из которых видно, что влияние указанных условий на скорость процесса не остаётся аналогичный описанной выше для исследованных катализаторов.

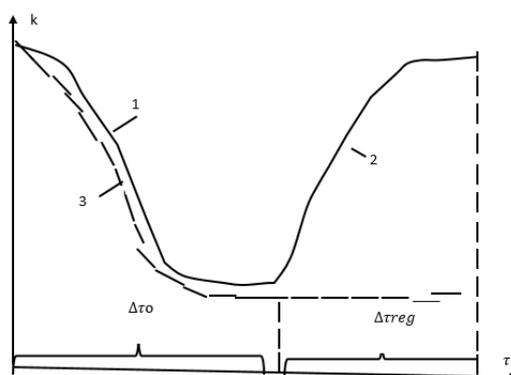


Рис. 6. Изменение константы скорости реакции во времени:

1-при обратимом отравлении; 2-при восстановлении активности (поступает без яда); 3-при необратимом отравлении, $\Delta\tau_0$ – период отравления, $\Delta\tau_{рег}$ – период регенерации активности.

Для этого были проведены эксперименты при постоянном расходе масла $1,1 \text{ ч}^{-1}$, с последовательным изменением температуры, давления и скорости барботажа водорода. Данные, полученные для промотированных катализаторов № 8 и № 3 без промота, представлены на рисунках 6 и 7, из которых видно, что влияние указанных условий на скорость процесса не такое, как для описанных выше катализаторов.

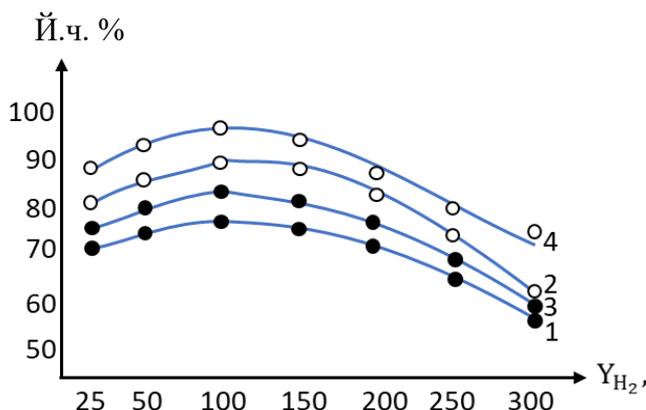


Рис. 7. Влияние объемной скорости водорода на селективность гидрирования хлопкового масла на катализаторах №3 (1,2) и №8 (3,4) и повторного (второго) выщелачивания (2,4).

Действительно, на повторно регенирированных катализаторах, обладающих несколько меньшей активностью, скорость барботажа водорода практически не влияет на скорость гидрирования, которая вместе с тем растёт практически прямо пропорционально давлению. Это означает, что на таких

катализаторах диффузионное торможение процесса по водороду сведено к минимуму.

Этот вывод подтвердился и в исследованиях, проведенных с постоянной объёмной скоростью по маслу к водороду (P_{H_2} 300 кПа), но при различной высоте катализатора (табл 5).

Таблица 5
Зависимость скорости гидрирования хлопкового масла от количества никель-медь-алюминиевого катализатора после первого и второго выщелачивания

Высота слоя катализатора в реакторе, мл	Катализатор № 3	Катализатор № 8
	Снижение йодного числа	
Первое выщелачивание		
112	24	28
225	30	35
270	33	39
450	45	54
675	58	58
Второе выщелачивание		
112	20	24
225	23	27
270	24	30
450	29	36
675	33	42

Из таблицы 5 и графиков на рисунках 6 и 7 видно, что скорость гидрирования хлопкового масла растет прямо пропорционально высоте слоя непромоторованного катализатора при использовании как свежего, так и повторно выщелоченного контакта. Это говорит о том, что в данном случае лимитирующей стадией процесса является диффузия реагирующих молекул непердельных соединений к поверхности катализатора.

Таблица 6.

Характеристика основных промоторов и добавок стационарных сплавных никель-медь-алюминиевых катализаторов

Промотор, добавка	Период и группа в периодической системе	Количественное содержание, % масс	Основное назначение
Палладий (Pd)	5, ВИИИ в	0,05... 1,00	Повышение активности и селективности
Родий (Rh)	5, ВИИИ в	0,05—1,00	Повышение содержания трансизомеров кислот
Рутений (Ru)	5, ВИИИ в	0,05... 1,00	Повышение активности и селективности
Рений (Re)	5, ВИИ в	0,50—2,50	Увеличение продолжительности работы
Германий (Ge)	4, ИВ а	0,50—2,50	Повышение активности, снижение содержания транскислот

Олово (Sn)	5, ИВ а	0,50-2,50	Обеспечение внутримолекулярной переэтерификации
Ванадий (V)	4, ВБ	0,50-2,50	Снижение содержания трансизомеров кислот

Четвёртая глава «Моделирование технологических процессов и катализаторов гидрогенизации». Современный подход к математическому описанию динамических систем состоит в описании систем в пространстве состояний. При этом чаще всего используют конечно-разностные и дифференциальные уравнения, разрешённые относительно первых разностей (первых производных). Описание систем в пространстве состояний позволяет с единых позиций рассмотреть различные системы — как линейные, так и нелинейные, дискретные и непрерывные. По результатам оптимизации и математического моделирования технологических процессов, а также состава никель-медных катализаторов установлены основные гидрогенизационные свойства (таблица 6).

Анализ и оценка основных закономерностей каталитической модификации хлопкового масла в зависимости от технологических параметров (температура, °С; давление, кПа; сырьё, час и объёмная скорость переноса водорода, час) показали, что гидрогенизационные свойства (активность, селективность, изомеризационная способность, непрерывность и стабильность работы) катализаторов изменяются с ростом количественного значения исследуемого параметра.

Наиболее высокие результаты достигаются при определенных значениях технологических параметров. Установлено, что гидрогенизационные свойства катализаторов зависят также от природы промотора. Анализ представленных данных показал, что одни промоторы и добавки повышают активность и селективность исходного катализатора, а другие снижают содержание трансизомеризованных жирных кислот в триглицеридах модифицированного масла до относительно низкого уровня.

На основе проведённых исследований методами математического моделирования изучали основные гидрирующие свойства никель-медь-алюминиевых стационарных сплавных катализаторов. В результате установлены (табл. 7) основные каталитические характеристики промоторов и добавок в составе исходного катализатора.

Таблица 7.

Установленные гидрирующие характеристики стационарных сплавных никель-медь-алюминиевых катализаторов

Промоторы, добавки	Гидрирующие свойства			
	Активность, й.ч.	Селективность, %	Изомеризующая способность, %	Стабильность непрерывного гидрирования, час
Палладий (Pd)	50-52	88-92	50-52	850-950
Родий (Rh)	54-56	88-94	45-55	1000-1050
Рутений (Ru)				

Рений (Re)	48-50	83-85	45-50	1200-1300
Германий (Ge)	46-48	75-80	35-40	1000-1200
Олово (Sn)	44-46	84-86	55-60	850-850
Ванадий (V)	46-48	85-87	20-25	900-950

Характеристика катализаторов после их системного обобщения приведена в таблице 8.

Таблица 8.

Характеристика катализаторов после системного обобщения

Вид катализатора	Гидрирующие свойства			
	Актив- ность, й.ч.	Селектив- ность %	Изомери- зующая способность, %	Стабильность непрерывного гидрирования, час
Порошкообразный	35-45	92-96	30-37	800 - 820
Стационарный	40-57	88-96	35-46	1000 -1200

Установлено математическое описание процессов насыщения жирных кислот в технологии гидрогенизации константы скоростей гидрирования по видам жирных кислот были определены соответствующие уравнения:

$$\Delta K_{\text{нас}} = \frac{\sum \text{Нас}^{\text{кон}} - \sum \text{Нас}^{\text{нач}}}{100} \quad (1)$$

$$\Delta K_{\text{мон}} = \frac{\sum \text{Мон}^{\text{кон}} - \sum \text{Мон}^{\text{нач}}}{100}$$

где: -нач; -кон - начальные и конечные концентрации соответствующих жирных кислот в триглицеридах.

Анализ данных, приведенных на рисунке 8, свидетельствует о том, что насыщение всех непредельных (олеиновая и линолевая кислоты) жирных кислот происходит последовательно. При селективном гидрировании в начале линолевая кислота переходит в олеиновую, а затем, она превращается в стеариновую. Поэтому представлялось необходимым определение временных порядков превращения ненасыщенных жирных кислот.

Как видно из данных кинетических кривых (рис.8), процесс гидрогенизации масла протекает по следующей схеме (рис.8), с разбивкой по зонам, в которых в основном завершаются превращения жирных кислот.

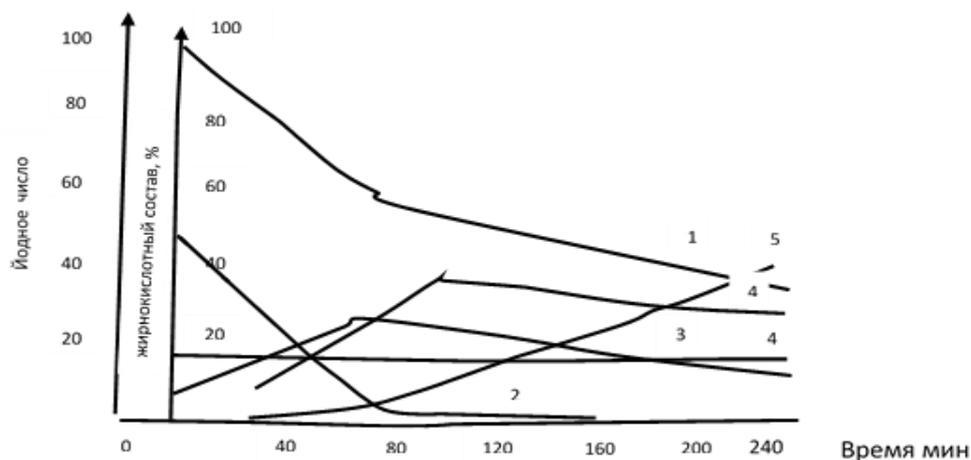


Рис. 8. Кинетические кривые насыщения непредельных жирных кислот хлопкового масла:

1-йодное число; 2-линолевая кислота; 3-цис-олеиновая кислота; 4-транс-олеиновая кислота; 5-стеариновая кислота; 6-пальмитиновая кислота

На основе анализа данных кривых рисунков 8 и 9 приведём уравнения для второй зоны для цис-олеиновой кислоты (время от 60 до 420 мин) и для транс-олеиновой кислоты (время от 120 до 420 мин). Введём новое время для цис-олеиновой кислоты $\tau_1^{\text{цис}} = \tau + 60$ и для транс-олеиновой $\tau_1^{\text{транс}} = \tau + 110$ Тогда уравнения имеют вид:

Дифференциальная форма:

Интегральная форма:

$$\frac{d_{\text{цис-ол}}(\tau_1)}{d\tau_1} = -K_3 \tau_1^{\text{цис}} \quad \text{Цис-ол.}(\tau_1^{\text{цис}}) = \text{Цис-ол.}(0) - K_3 \tau_1^{\text{цис}}$$

$$\frac{d_{\text{транс-ол}}(\tau_1)}{d\tau_1} = -K_4 \tau_1^{\text{транс}} \quad \text{Транс-ол.}(\tau_1^{\text{транс}}) = \text{Транс-ол.}(0) - K_4 \tau_1^{\text{транс}} \quad (2)$$

$$\text{Транс-ол.}(\tau_1^{\text{транс}}) = \text{Транс-ол.}(0) - K_4 \tau_1^{\text{транс}} \quad C_m(\tau) = C_m(0) + k_3 \tau_1^{\text{цис}} + K_4 \tau_1^{\text{транс}}$$

$$\frac{dC_m(\tau_1)}{d\tau_1} = (K_3 + K_4) \tau_1 \quad (3)$$

В пятой главе приведены результаты «Получение гидрогенизатов с заданными свойствами на стационарных катализаторах» описано совершенствование технологических процессов переработки хлопкового масла на стационарных катализаторах, что позволило разработать технологию получения гидрогенизатов с заданными свойствами, используемых для пищевых и технических целей. Изучены условия получения пищевых гидрированных жиров. Гидрогенизаты с заданными свойствами, удовлетворяющие требованиям производства маргариновой продукции, можно получить при наличии селективно гидрирующих катализаторов, обладающих высокой изомеризирующей способностью.

Проведенные исследования показали, что наибольшую селективность и достаточно высокую изомеризирующую способность проявляют стационарные катализаторы, промотированные родием или системой палладий + родий. Селективность и изомеризирующая способность этих катализаторов значительно выше, чем у других промотированных катализаторов, а также выше, чем у сплавных никель-алюминиевых катализаторов и никель-медь-алюминиевого катализатора №3. Кроме того, катализаторы, промотированные 0,15-0,5 %

родия, 0,05-0,10% палладия и 0,1-0,5 % родия, имеют и более высокую начальную активность.

Для сравнения отметим, что непромотированные сплавные катализаторы №2 и №3 быстро снижают свою начальную активность примерно на 40% в течение 4-6 суток эксплуатации, а весь цикл их стабилизации (путем тренировки катализатора гидрированием масла) занимает 15-20 суток. Но и после этого периода стабилизации активности стационарного катализатора получаемые на нем саломасы при йодном числе 65-80 имеют температуру плавления не ниже 39 °С. Причём температура плавления мало зависит от глубины гидрирования масла даже если процесс гидрирования проводится при 200-220 °С и сравнительно низком давлении водорода. Вместе с тем никель-медь-алюминиевые катализаторы, промотированные родием (и палладием), имеют значительно более короткий срок стабилизации каталитических свойств, составляющий примерно 2-4 суток, и за этот период их активность снижается всего на 5-15 %, после чего стабильная довольно высокая активность сохраняется в течение 800-1200 часов.

Следует, однако, подчеркнуть, что, как и другие сплавные катализаторы: промотированный родием катализатор обладает необходимой селективностью только при повышенных температурах (не ниже 180 °С) и лишь после указанной непродолжительной тренировки, что видно и таблиц 9 и 10.

Таблица 9.

Гидрирование хлопкового масла на нетренированном сплавном катализаторе, промотированном родием

Образец саломаса,	Условия гидрирования			Кислотный состав саломаса, %			Коэффициент селективности %
	Температура, °С	Давление, кПа	Скорост подачи масла, час-1	Насыщенные	Моноеновые	Диеновые	
1	180	300	1,0	48,1	31,9	20,0	6,5
2	200	100	1,0	47,0	27,2	25,8	9,0
3	200	300	1,0	44,4	37,1	18,5	18,5
4	200	500	1,5	42,9	21,6	35,5	26,5

Примечание: каждый последующий образец получен через 5 часов непрерывной работы в данном режиме.

Таблица 10

Характеристика саломасов, полученных гидрированием на тренируемом катализаторе

№ Образца саломаса	Среднее йодное число, J % ₂	Температура плавления, °С	Твёрдость, г/см	Кислотное число, мг КОН/г
1	66,5	47,4	190	1,01
2	68,1	46,8	220	0,71
3	64,6	46,0	180	0,76
4	70,2	41,3	200	0,84

Как видно из таблиц 10 и 11, уже в самом начале тренировки повышается селективность процесса и резко снижается температура плавления саломаса при данном йодном числе, хотя специально повышали рабочее давление с

целью донасыщения катализатора водородом и получения максимальной производительности. Было доказано, что тренировка, как уже отмечалось, должна продолжаться примерно 100 часов при температуре, постепенно повышающейся от 160 до 200⁰С, скорости подачи тщательно рафинированного масла около 1,0 час⁻¹

При более низких температурах и меньших объёмных скоростях по водороду и маслу стабилизация активности и селективности катализатора резко замедляется.

Таблица 11

Селективность гидрирования хлопкового масла на тренированиом 100 ч катализаторе, промотированном родиём

Образец саломаса,	Условия гидрирования			Кислотный состав саломаса, %			Коэффициент селективности %
	Температура, ⁰ С	Давление, кПа	Скорост подачи масла, час-1	Насыщенные	Моноеновые	Диеновые	
1	180	100	1,0	33,6	55,8	10,6	82,0
2	180	300	1,0	31,0	55,1	13,9	86,8
3	180	300	1,1	29,8	53,9	16,3	89,4
4	180	300	1,5	27,7	51,6	20,7	94,4
5	200	500	1,5	30,0	43,2	26,8	63,6

После непродолжительной тренировки промотированный родиём катализатор показал высокую селективность при 180-200⁰С и давлении водорода 300 кПа. Это отразилось и на показателях получаемого саломаса таблица 12.

Получение пищевых гидрированных жиров на опытно-промышленной установке. Технологические параметры процесса подготовки (регенерация, тренировка) стационарных, промотированных родиём и системой палладий-родий сплавных никель-медь-алюминиевых катализаторах, а также отработка технологии производства различных пищевых саломасов на этих катализаторах были проверены на непрерывно действующей опытно-промышленной гидрогенизационной установке.

Таблица 12

Характеристика саломасов, полученных гидрированием на тренируемом катализаторе

Образец, №	Среднее йодное число, % J ₂	Температура плавления, ⁰ С	Твердость, г/см	Кислотное число, мг КОН/г
1	74,6	33,6	220	0,61
2	68,0	33,2	220	0,63
3	70,8	33,4	180	0,63
4	74,6	31,8	160	0,61
5	69,1	33,4	200	0,64

Исследования проводились на катализаторах с различными промоторами, изменяя условия их выщелачивания, активации и последующего гидрирования. Анализ полученных данных показал, что рекомендованные по лабораторным данным катализаторы и режимы их подготовки действительно являются оптимальными. Потвердилось, что для получения пластичных пищевых

гидрированных жиров целесообразно использовать катализаторы №8 или №18, содержащие соответственно родий или систему палладий- родий, причём пищевой саломас с твёрдостью порядка 220 г/см можно получать как на свежем тренированном, так и на повторно регенерированном катализаторах, а также на смеси повторно регенерированного катализатора со свежеективированным сплавом. Для получения саломаса повышенной твёрдости, соответствующего требованиям к кондитерским жирам, необходимо попользовать только многократно регенерированный частичным выщелачиванием катализатор после тренировки последнего в течение не менее 600 часов.

Таблица 13.

Характеристика пищевого саломаса, полученного гидрированием хлопкового масла на полупромышленной установке со свежим катализатором

Время, час	Среднее йодное число, % J ₂	Снижение йодного числа	Температура плавления, °С	Твёрдость, г/см	Кислотное число, мг КОН/г
6	63,0	46,0	42,0	280	0,75
24	65,9	43,1	38,1	260	0,73
38	67,6	41,4	36,0	250	0,60
50	59,1	39,9	35,2	240	0,70
80	72,3	36,7	34,7	220	0,71
100	65,9	44,1	34,6	240	0,67
140	66,7	44,3	33,6	240	0,65
200	68,5	41,5	32,7	220	0,71
350	70,0	39,8	31,8	200	0,63
500	71,9	38,1	31,5	200	0,61
600	73,8	36,2	31,3	180	0,60
720	75,4	34,6	31,3	160	0,61
750	77,6	32,4	31,0	160	0,60

Было подтверждено также, что для обеспечения производительности опытно-промышленной установки по пищевому пластичному саломасу (для маргариновой промышленности), соответствующей объёмной скорости подачи масла 1-1,5 час⁻¹, процесс должен проводиться при температурах 180-200 °С, давлении 100-300 кПа, объёмной скорости подачи водорода 60 час⁻¹.

Для примера совпадения укрупненных и опытно-промышленных результатов в таблице 13 приведены данные гидрирования хлопкового масла на опытно-промышленной установке со свежим катализатором №18 при 200°С, давлении 300кПа, объёмной скорости по маслу 1,5 час⁻¹ за первые 80 часов непрерывного процесса и 1,0 час⁻¹ в остальное время, объёмной скорости подачи водорода 60+-5 час⁻¹.

Как показано в таблице 13 в первые 3-4 суток гидрирования на опытно-промышленной установке процесс протекал с пониженной селективностью, так как происходила стабилизация (тренировка) катализатора. Затем в течение 600 часов, то есть 25 суток, катализатор работал в режиме, обеспечивающем производство саломаса для маргариновой продукции: температура плавления 31-34 °С, твёрдость 160-240 г/см.

Через примерно 30 суток непрерывной эксплуатации активность

катализатора значительно снизилась, в связи с чем катализатор был обезжирен триполифосфатом и активирован щелочью. Как и следовало ожидать по результатам лабораторных испытаний, после регенерации катализатор сразу же гидрировал хлопковое масло до пищевого саломаса при объемной скорости по маслу в пределах 1-1,5 час⁻¹ и давлении 100-300кПа. Продолжительность работы катализатора в этом режиме после первой регенерации составила 30 суток, после чего регенерации вновь повторяли, дополняя реакторы определённым количеством исходного сплава. В течение нескольких месяцев эксплуатации катализатор вырабатывал пищевой саломас указанных кондиций, который далее использовался комбинатом как товарная продукция.

Снижение объёмной скорости процесса до примерно 0,5 час⁻¹ по маслу, повышение давления до 300 кПа и сохранение скорости барботажа на указанном выше уровне позволило на регенерированном катализаторе № 18 получать и саломасы повышенной твердости (табл.14).

Таблица 14.

Характеристика саломасов, полученных на опытно-промышленной установке с регенерированным катализатором

Скорость подачи масла час ⁻¹	Среднее йодное число, % J ₂	Коэффициент селективности, %	Кислотное число, мг КОН/г	Температура плавления, °С	Температура застывания, °С	Твёрдость, г/см
0,4	60,4	79,8	1,01	36,4	29,2	300
0,6	68,1	81,8	0,77	36,8	29,7	380
0,8	71,5	87,9	0,69	34,3	30,6	400
0,7	70,5	81,2	0,81	36,1	31,1	440
0,6	68,2	89,2	0,86	36,0	31,0	500
0,6	66,4	94,4	0,91	37,3	31,4	580

Аналогичные результаты были получены также и на промотированном родием катализаторе №8.

Таким образом, опытно-промышленные испытания подтвердили выводы о том, что промотированный родием или системой палладий-родий сплавной стационарный никель-медь-алюминиевый катализатор позволяет с достаточной для промышленной практики скоростью получать пищевые саломасы под давлением водорода около 300 кПа и при температуре около 200⁰С.

Результаты длительных опытно-промышленных испытаний катализатора и полученных саломасов позволили разработать технологическую инструкцию для производства пищевых саломасов марки 1-1 и 1-3 (для кондитерской промышленности) непрерывным гидрированием на стационарном никель-медь-алюминиевом катализаторе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наиболее приемлемыми каталитическими системами для производства твёрдых пищевых жиров высокого качества и пищевой безопасности являются порошкообразные и стационарные сплавные катализаторы на основе никеля, меди и промотирующих добавок. Такие каталитические системы позволили при гидрогенизации снизить количество транс-изомеризованных жирных кислот в

саломасах до 5,0-7,0 % и обеспечить постоянство содержания в них линолевой кислоты в порядке 25,0-27,0 %.

2. Установлено, что наиболее приемлемыми и эффективными в формировании гидрирующих свойств стационарных сплавных никель-медь-алюминиевых стационарных катализаторов в качестве промоторов и добавок являются палладий, родий, рутений, рений, германий, олово и ванадий в количестве, не превышающем 0,05-2,50 % от массы сплава. Такое содержание промоторов и добавок изменяет активность, селективность, изомеризующую способность и стабильность работы катализатора при непрерывной гидрогенизации.

3. Высокое качество и пищевая безопасность каталитически гидрогенизированных пищевых жиров обеспечены необходимым содержанием и соотношением твёрдых и жидких фракций жирных кислот в триглицеридах жиров, сохранением количественного содержания биологически важных компонентов в составе исходного сырья при его технологической переработке.

4. Наиболее приемлемыми технологическими режимами производства высококачественных каталитически гидрогенизированных жирных кислот жиров являются: температура 180°C, давление 100 кПа и объёмная скорость подачи сырья 1,2-1,5 час⁻¹. Такие условия позволили снизить количественное содержание транс-изомеризованных мононенасыщенных жирных кислот в твёрдых жирах.

5. Результаты научных и экспериментальных исследований позволили расширить и дополнить имеющиеся теоретические положения о повышении качества и пищевой безопасности каталитически гидрогенизированных жирных кислот пищевых жиров на основе хлопкового масла с использованием различных видов каталитических систем.

6. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана систематика подбора и оценки эффективности катализатора для гидрогенизации жирных кислот хлопкового масла, получены уравнения кинетических закономерностей насыщения непредельных жирных кислот триглицеридов хлопкового масла, которые позволили оптимизировать технологические параметры и режимы производства гидрированных жиров целевого назначения.

7. Методами оптимизации технологических режимов, количественного содержания и соотношения твёрдых и жидких фракций жиров, количества транс-изомеризованных мононенасыщенных жирных кислот и расположения ацилов линолевой кислоты в триацилглицеридах пищевых саломасов обеспечены высокие качественные показатели и пищевая безопасность маргариновой продукции, что позволило расширить их ассортимент.

8. Использование в производстве маргариновой продукции и высокотвёрдых кондитерских жиров гидрогенизированных жирных кислот пищевых жиров с минимальным содержанием транс-изомеризованных жирных кислот (5,0-7,0 %) и количественным содержанием диненасыщенных кислот в порядке 25,0-27,0 % позволили обеспечить высокое качество и пищевую ценность продукции.

9. Налажено производство маргариновой продукции на основе пищевых

саломасов с минимальным содержанием (5-7%) трансизомеров, полученных на новых катализаторах, в результате улучшено качество и расширен ассортимент маргаринов.

10. Результаты практической реализации разработок позволили определить и рассчитать экономический эффект, который составляет 204 млн. сумов в одной батарее гидрогенизационной линии.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/28.02.2022.T.101.01 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT BUKHARA
ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

BUKHARA ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE

KHODJIYEV SHUKHRAT MAKHMUDOVICH

**IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF HYDROGENATION OF FATTY
ACIDS OF VEGETABLE OILS ON CATALYSTS WITH NICKEL-COPPER-
BASED ADDITIVES**

**02.00.17 – Technology and biotechnology of treatment, storage and processing of agricultural
and food products**

**DISSERTATION ABSTRACT
OF DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES (DSc)**

Bukhara – 2025

The theme of the dissertation for Doctor of Technical Sciences (DSc) was registered under No.B2023.1.DSc/T276 by the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan

The dissertation has been accomplished at Bukhara Engineering-Technological Institute

The dissertation abstract in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been placed on the website of the Scientific Council at Bukhara Engineering-Technological Institute (www.bmti.uz) and on the Information-educational portal "ZiyoNET" (www.ziyo.net).

Scientific adviser:

Majidov Kahramon Halimovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Official Opponents:

Akhmedov Azimjon Normuminovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Mamakhanov Akhmadkhon Umarkhonovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Yulchiev Asilbek Bakhtiyorovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Lead organization:

Gulistan State University

The dissertation defense will be held on _____, 20__ at _____ o'clock at the meeting of Scientific Council DSc.03/28.02.2022.T.101.01 on awarding scientific degrees at Bukhara Engineering-Technological Institute (Address: 200117, 15. Q. Murtazoyev street, Bukhara. Phone: (998 65) 223-78-84, Fax: (998 65) 223-78-84. e-mail: bmti_info@edu.uz)

The dissertation is available at the Information resource center of Bukhara Engineering Technological Institute (registered under number _____). (Address: 200117, 15. Q. Murtazaev street, Bukhara. Phone: (+99865) 223-78-84).

The dissertation abstract is distributed on _____, 20__.

(Mailing report № ____ on _____, 20__)

F.S. Fozilov

Chairman of the Scientific Council on awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

A.T. Oltiev

Scientific secretary of the Scientific Council on awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

I.I. Isabayev

Chairman of the Scientific Seminar under the Scientific Council on awarding scientific degrees, Doctor of Chemical Sciences, Professor

Introduction (dissertation abstract of the Doctor of Technical Sciences)

The purpose of the research is to study the basics of development and modulating the process of hydrogenation of vegetable oils in catalysts that store nickel-copper-based additives.

The subject of the research: powdery and stationary catalytic systems based on nickel, copper and various promoter additives. Methods of mathematical modeling the hydrogenation process.

The subject of the research: powdery and stationary catalytic systems based on nickel, copper and various promoter additives. Methods of mathematical modeling the hydrogenation process.

The scientific novelty of the research is as follows:

it has been scientifically substantiated and experimentally proven that the most optimal and effective promoters and additives in shaping the hydrogenation properties of catalysts are palladium, rhodium, ruthenium, rhenium, germanium, tin and vanadium in an amount of less than 0.05-2.50% of the alloy mass;

based on theoretical and practical research, a system for selecting and evaluating the efficiency of a catalyst for hydrogenation of fatty acids in cottonseed oil has been developed, the equations of kinetic changes in the saturation of unsaturated fatty acids of triglycerides in cottonseed oil are based on, as a result of which the technological optimal parameters for the production of target hydrogenated oils have been scientifically proven;

the most optimal technological conditions for the production of high-quality catalytic hydrogenated oils have been proven: temperature is 180 °C, pressure is 100 kPa and the volumetric flow rate of the raw material is 1.2-1.5 h⁻¹;

application of edible oils with a minimum content of trans-isomerized fatty acids (5.0-7.0%) and a quantitative content of diunsaturated acids of 25.0-27.0% to ensure high quality and nutritional value of products is scientifically proven;

the processes of optimizing the technological conditions of hydrogenation of fatty acids of vegetable oils on catalysts with nickel-copper additives have been substantiated, and the model of processes and catalysts of the technology of hydrogenation of fatty acids of fats and oils has been substantiated.

Implementation of research results. Based on scientific research aimed at introducing improved technologies for the process of hydrogenation of fatty acids of vegetable oils on nickel-copper catalysts into production:

the technology of hydrogenation of cottonseed oil on the powder catalyst was introduced at the “Sardoba oil group” LLC production enterprise, (Technological instruction dated 10.01.2024). As a result, based on new technological developments, it allowed ensuring the quality and food safety of hydrogenated cottonseed oil;

stable catalysts based on nickel-copper-aluminum alloy with additives of rhodium, vanadium, ruthenium, palladium, rhenium, germanium and tin for hydrogenation of cottonseed oil have been introduced at the “Xonrod Invest” LLC production enterprise (certificate of Association of oil and fat industry enterprises No. KS/Z-184 dated 06.06.2024). As a result, it allowed increasing the activity of the initial catalysts and hydrogenation properties in the technology of hydrogenation of cottonseed oil by 75-85%;

the technology of production of edible and highly solid hydrogenated oils containing 5.0-7.0% trans-isomerized fatty acids have been introduced at the “Sardoba oil group” LLC production enterprise under production conditions with the stable powder catalyst (certificate of Association of oil and fat industry enterprises No. KS/Z-184 dated 06.06.2024). As a result, the most optimal technological conditions for obtaining high-quality catalytic hydrogenated oils were achieved (temperature is 180 °C, pressure is 100 kPa, feed volumetric feed rate 1.2-1.5 h⁻¹).

The volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of introduction, five chapters, conclusion, list of references and appendices. The volume of the dissertation is 176 pages.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. Ш.М.Ходжиев, К.Х.Мажидов, Н.Р.Баракаев. Совершенствование и моделирование процессов гидрогенизации хлопкового масла // Монография, Издательство “Фан зиёси”, Ташкент – 2021, - С.176.
2. Ходжиев Ш.М., Сатторов К.К., Мажидов К.Х., Мажидова Н.К. Особенности изомеризации триглицеридов при гидрогенизации растительных масел. // Научно-технический журнал «Развития науки и технологий» - 2020, - №2 - С.26-32. (02.00.00; 14).
3. Ходжиев Ш.М., Сатторов К.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Влияние условий гидрогенизации масел на селективность процесса. // «Развития науки и технологий» Научно-технический журнал - 2020, - №2, - С.21-26. (02.00.00; 14).
4. Мажидова Н.К., Сатторов К.К., Мажидов К.Х., Ходжиев Ш.М. Снижение содержания транс-изомерованных жирных кислот в гидрированных жирах. // «Развития науки и технологий» Научно-технический журнал - 2020, - №3, - С.171-177. (02.00.00; 14).
5. Сатторов К.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х., Ходжиев Ш.М. Эффективные катализаторы гидрогенизации хлопкового масла. // «Развития науки и технологий» Научно-технический журнал - 2020, - №4, - С.190-193. (02.00.00; 14).
6. К.К.Саттаров, Н.К.Мажидова, К.Х.Мажидов, Ш.М.Ходжиев. Эффективные композиционные катализаторы гидрогенизации хлопкового масла. // «Композицион материаллар» илмий-техникавий журнали, Тошкент 2020, - № 1/2020, - С.31-34. (02.00.00; 4).
7. Sh.M. Khodjiev, K.K. Sattorov, N.K. Majidova and K.Kh. Majidov. Assessment of Process Selectivity at Hydrogenation of Vegetable Oils. // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences ISSN: 2319-7706 Volume 9 Number 7 (2020) -P 2958-2964.
8. Sh. M. Khodjiev, K. K. Sattorov, K. Kh. Majidov and N. K. Majidova. Features of Triglycerides Isomerization in the Process of Hydrogenization of Cottonseed Oils. // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences ISSN: 2319-7706 Volume 9 Number 7 (2020) -P 2951-2957.
9. Majidov Kaxramon Khalimovich, Sattorov Karim Karshiyevich, Khodjiyev Shuxrat Maxmudovich, Majidova Nargiza Kaxtamonovna, Qayimov Fazliddin Samiyevich, Abdullayev Nurullo Shukrullayevich. Assessment of Process Selectivity at Hydrogenation of Vegetable Oils. // Journal of Natural Remedies Vol. 21, No. 5, (2020) -P 54-59. (Journal Impact factor- 0.753)
10. Сатторов К.К., Мажидов К.Х., Ходжиев Ш.М., Мажидова Н.К. Оценка состава и качества сырья для гидрогенизации масел и жиров // Наманган муҳандислик-технология институти илмий-техника журнали, Том 5 - Махсус сон (3), - 2020, - С.40-49.

II bo'lim (II часть; part II)

11. Мажидова Н.К., Ходжиев Ш.М., Кадилов Ю.К., Имомутдинов А., Хусанов А., Жуманазаров Т. Разработка усовершенствованных технологий гидрогенизации хлопкового масла. // Республиканская научно-практическая конференция. - Карши, - 2013. - С.374-375.

12. Ш.М.Ходжиев, Т.Т.Жуманазаров, Совершенствование технологии гидрогенизации хлопкового масла на стационарных катализаторах // “Фан-техника ютуқлари халқимизни обод турмуш тарзини юксалтириш йўлида” мавзусида илмий-амалий анжумани, Бухоро, - 2013, - С.56-58.

13. Ходжиев Ш.М., Нодиров А.А., Рахимкулов М.Р. Пищевые добавки и биологически активные вещества, особенности химического строения и их применение. // “Фан-техника ютуқлари халқимизни обод турмуш тарзини юксалтириш йўлида” мавзусида илмий-амалий анжумани, Бухоро, - 2013, - С. 58-59.

14. Sh.M.Khodjiev, K.H.Majidov. Evaluation of hydrogenating properties of catalysts. // In volume 6 of the Scientific journal of modern educational achievements by Scopus academia.org International Database. Sijf factor: 7.5. www.June, 2024 scopusacademia.org

15. Sh.M. Khodjiev, K.H. Majidov. Study of the dependence of the catalytic activity and the energy of the metal-hydrogen bond. // In volume 6 of the Scientific journal of modern educational achievements by Scopus academia.org International Database. SJIF factor: 7.5 www. June, 2024 scopusacademia.org

16. Ш.М.Ходжиев Гидрогенизация на стационарных катализаторах / Международная научно-техническая конференция “Инновационные технологии и актуальные проблемы пищевой, химической и нефтегазовой промышленности” Бухара - 2024, - С.135-137.

17. Ш.М.Ходжиев Приготовление стационарного сплавного катализатора для гидрогенизации растительного масла / Международная научно-техническая конференция “Инновационные технологии и актуальные проблемы пищевой, химической и нефтегазовой промышленности” Бухара - 2024, - С.137-139.

18. Ш.М.Ходжиев Международная научно-техническая конференция “Инновационные технологии и актуальные проблемы пищевой, химической и нефтегазовой промышленности” Бухара - 2024, - С.139-141.

19. Ходжиев Ш.М. Оптимизация состава стационарных катализаторов гидрогенизации растительных масел. // Материалы XIII Международной научно-технической конференции, Могилев, Республика Беларусь, - 2020, - С. 283-285.

20. Ходжиев Ш.М., Мажидов К.Х., Мажидова Н.К. Гидрогенизация хлопкового масла на катализаторах нового поколения. // Тезисы докладов XII Международной конференции студентов и аспирантов, Могилев, Республика Беларусь, - 2021, - С.174.

21. Ш.М.Ходжиев, С.Ш.Ходжиева, Д.Х.Абдурасулова. Илғор муҳандислик мактаблари - мамлакатимизнинг технологик мустақиллигига олиб борадиган йўл. // Муҳандислик олий таълими трансформацияси жараёнида таълим сифатини оширишда дуал таълимнинг истиқболлари мавзусида 1-ананавий халқаро илмий-амалий анжумани, Бухоро, - 2025, - 300-302 б.

22. Ходжиев Ш.М., Нодиров А.А., Абдурасулова Д.Х. Гидрирование хлопкового масла на отработанных и регенированных катализаторах. // Материалы XVI Международной научно-технической конференции, Могилев, Республика Беларусь, - 2025, - Том 2, - С.34-35.

23. Ходжиев Ш.М., Абдурасулова Д.Х. Математическое моделирование технологии гидрогенизации хлопкового масла. // Материалы XVI Международной научно-технической конференции, Могилев, Республика Беларусь, - 2025, - Том 2, - С.36-37.

**Avtoreferatning o‘zbek, rus va ingliz tilidagi matnlari
“IPAKYO‘LI” nashriyotida tahrirdan o‘tqizildi.**

Bosishga ruxsat etildi: 31.05.2025.

Qog‘oz bichimi 60x84 1/16.

Times New Roman garniturasida chop etildi.

Hajmi 3,5 bosma taboq. Adadi 100 nusxa. Buyurtma № 363.

“West Media Express” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.

**Bosmaxona manzili: Buxoro shahri,
Qayum Murtazoyev ko‘chasi 15A uy.**

Tel: +998 93 080 39 00