SUTNI QAYTA ISHLASH TIZIMIDAGI MODDA ALMASHINISH QURILMALARI GIDRODINAMIK OQIM STRUKTURALARINI TADQIQ QILISH

Barakayeva Dilnoza Farmonovna

Buxoro davlat texnika universiteti.

Tahririy nashriyot bo‘limi musahhihi

Annotatsiya. *Sutni qayta ishlashga mo‘ljallangan massa almashinuvi qurilmalarida gidrodinamik oqim strukturasini tadqiq qilishda zamonaviy texnologiyalarning ahamiyati tahlil qilingan. Sut mahsulotlarini konsentrlash, bug‘latish, quritish va boshqa texnologik jarayonlarda suyuqlik hamda gaz oqimlarining harakat xususiyatlari mahsulot sifati, qurilma unumdorligi va energiya sarfiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Zamonaviy hisoblash gidrodinamikasi (CFD), raqamli modellashtirish, avtomatlashtirilgan nazorat-o‘lchov tizimlari, sensorlar va raqamli monitoring vositalari yordamida qurilma ichidagi oqim tezligi, bosim, turbulentlik, harorat va massa almashinuvi jarayonlarini batafsil o‘rganish mumkin. Mazkur texnologiyalar qurilmalarning konstruktiv parametrlarini optimallashtirish, energiya tejamkorligini oshirish hamda sut mahsulotlarining sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilash imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *sut, massa almashinuvi, gidrodinamik oqim, CFD, raqamli modellashtirish, turbulentlik, sensor, monitoring, avtomatlashtirish, energiya samaradorligi.*

Kirish. Sut va sut mahsulotlarini qayta ishlash oziq-ovqat sanoatining muhim tarmoqlaridan biri bo‘lib, ushbu sohada mahsulot sifatini saqlagan holda texnologik jarayonlarni jadallashtirish va energiya sarfini kamaytirish dolzarb masalalardan hisoblanadi. Sut tarkibida suv, yog‘, oqsil, laktoza, mineral moddalar va boshqa komponentlarning mavjudligi uni qayta ishlash jarayonlarini murakkablashtiradi.

Ayniqsa, sutni konsentrlash, bug‘latish va quritish jarayonlarida massa almashinuvi bilan bir qatorda gidrodinamik jarayonlar ham katta ahamiyatga ega.

Shu sababli gidrodinamik oqim strukturasini tadqiq qilish va uni optimallashtirish sutni qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishning muhim yo‘nalishlaridan biridir. Bugungi kunda an’anaviy tajriba usullari bilan bir qatorda raqamli texnologiyalar va kompyuter modellashtirish usullaridan keng foydalanilmoqda.

Asosiy qism. Zamonaviy texnologiyalarning gidrodinamik tadqiqotlardagi o‘rni. An’anaviy tajriba usullarida oqim strukturasini aniqlash uchun ko‘plab o‘lchovlar va tajribalar o‘tkazish talab qilinadi. Bu esa vaqt va moddiy resurslarning ko‘p sarflanishiga olib keladi. Zamonaviy raqamli texnologiyalar yordamida esa murakkab gidrodinamik jarayonlarni kompyuterda modellashtirish va turli ish rejimlarini tajriba o‘tkazmasdan oldin baholash imkoniyati paydo bo‘lmoqda.

Bunday texnologiyalarning eng muhimlaridan biri **Computational Fluid Dynamics (CFD)**, ya’ni hisoblash gidrodinamikasi hisoblanadi. CFD yordamida massa almashinuvi qurilmasining uch o‘lchamli modeli yaratiladi va undagi oqim jarayonlari matematik tenglamalar asosida hisoblanadi.

CFD modellashtirish orqali quyidagi parametrlarni aniqlash mumkin:

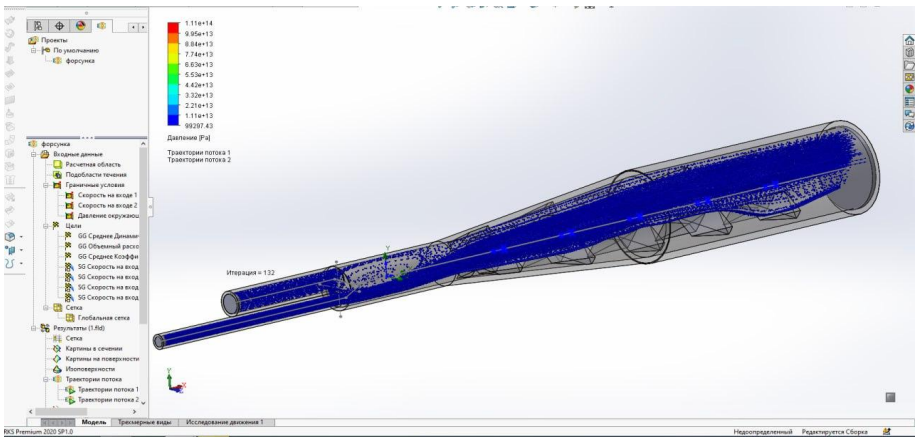
- qurilma ichidagi suyuqlik va gaz oqimining tezlik maydoni;
- bosimning fazoviy taqsimlanishi;
- turbulentlik intensivligi;
- harorat maydoni;
- massa konsentratsiyasining o‘zgarishi;
- turg‘un va qayta aylanuvchi oqim zonalari;
- gidravlik qarshilik va bosim yo‘qotishlari;
- fazalar o‘rtasidagi massa almashinuvi intensivligi.

Ushbu ma’lumotlar asosida qurilmaning konstruktiv parametrlarini o‘zgartirish va optimal variantni tanlash mumkin. Masalan, quvur diametri, kirish va chiqish qismlarining shakli, oqim yo‘naltirgichlarining joylashuvi yoki nasadkalar geometriyasini o‘zgartirish orqali oqim strukturasini yaxshilash mumkin.

Raqamli modellashtirish va tajriba natijalarining uyg‘unligi. CFD modellashtirishning muhim afzalliklaridan biri — qurilma ichidagi ko‘z bilan kuzatish qiyin bo‘lgan jarayonlarni virtual muhitda tahlil qilish imkoniyatidir. Biroq matematik model natijalarining aniqligini ta’minlash uchun ularni real tajriba natijalari bilan taqqoslash zarur.

Zamonaviy laboratoriyalarda bosim, harorat, oqim tezligi, sarf va boshqa parametrlarni o‘lchaydigan raqamli sensorlardan foydalaniladi. Olingan ma’lumotlar kompyuterga uzatiladi va real vaqt rejimida qayta ishlanadi. Shu asosda CFD modeli uchun dastlabki va chegaraviy shartlar aniqlanadi hamda hisoblash natijalari tajriba ma’lumotlari bilan tekshiriladi.

Masalan, massa almashinuvi qurilmasining kirish va chiqish qismida bosim va harorat datchiklari o‘rnatilishi mumkin. Oqim sarfi maxsus sarf o‘lchagichlar yordamida aniqlanadi. Ushbu ma’lumotlar qurilmaning real ish rejimini tavsiflaydi. Natijada raqamli modelning ishonchliligi oshadi.



1-rasm. Uzun quvurli/korpusli qurilma ichidagi suyuqlik yoki gaz

oqimi ko‘rsatilgan. Ko‘k nuqtali chiziqlar — oqim trayektoriyalari (Flow Trajectories).

- **Ko‘k rang** — bosim qiymati pastroq bo‘lgan hududlarni bildiradi.
- **Qizil rang** — bosim yuqoriroq ekanini bildiradi.
- Rang shkalasi **Pa (Paskal)** da berilgan.
- Ichki va tashqi quvurlar orqali oqimning qanday harakatlanishi CFD yordamida hisoblangan.

SOLIDWORKS dasturi quyidagicha ishlaydi: SOLIDWORKS Flow Simulation avval qurilmaning geometriyasini oladi, keyin:

1. **Kirish sharti** beriladi — masalan, suyuqlik/gazning tezligi yoki bosimi.
2. **Chiqish sharti** beriladi.
3. Suyuqlik/gazning xossalari tanlanadi.
4. Dastur qurilma ichidagi oqimni juda ko‘p kichik hisoblash elementlariga bo‘lib, **bosim, tezlik, temperatura va oqim yo‘nalishini** hisoblaydi.
5. Natijada rasmda ko‘rsatilgan **ko‘k oqim chiziqlari** hosil bo‘ladi.

Agar bu qurilma **ikki quvurli issiqlik almashinuvi apparati** bo‘lsa, unda bir oqim ichki quvurdan, ikkinchi oqim esa uning atrofidan harakatlanib, ular orasida issiqlik almashinuvi sodir bo‘lishi mumkin.

Avtomatlashtirish va real vaqt monitoring. Sutni qayta ishlash korxonalarida zamonaviy avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlaridan foydalanish texnologik jarayonlarni barqaror olib borish imkonini beradi. Sensorlardan olingan ma’lumotlar markaziy boshqaruv tizimiga uzatiladi va operator yoki avtomatik algoritm tomonidan tahlil qilinadi.

Real vaqt monitoringi yordamida quyidagi parametrlarni nazorat qilish mumkin:

- sutning harorati;
- bosim;

- oqim sarfi;
- mahsulot konsentratsiyasi;
- qurilma ichidagi bosim farqi;
- energiya sarfi;
- nasos va boshqa uskunalarning ish holati.

Agar tizimda bosimning keskin oshishi yoki oqim sarfining kamayishi kuzatilsa, bu quvur yoki apparatning ayrim qismlarida qarshilik ortganligini ko‘rsatishi mumkin. Avtomatik boshqaruv tizimi bunday o‘zgarishlarga tezkor javob berib, jarayon parametrlarini belgilangan qiymatga qaytarishi mumkin.

Bu yondashuv mahsulot sifatining barqarorligini ta’minlash, avariya holatlarining oldini olish va uskunalarning xizmat muddatini uzaytirishda muhim ahamiyatga ega.

Sun’iy intellekt va ma’lumotlarni tahlil qilish. Zamonaviy texnologiyalarning yana bir istiqbolli yo‘nalishi — sun’iy intellekt va mashinali o‘qitish usullaridan foydalanishdir. Sutni qayta ishlash jarayonida katta hajmdagi sensor ma’lumotlari yig‘iladi. Ushbu ma’lumotlarni tahlil qilish orqali qurilmaning optimal ish rejimini aniqlash mumkin.

Masalan, oqim tezligi, harorat, bosim, mahsulot konsentratsiyasi va energiya sarfi o‘rtasidagi bog‘liqlikni mashinali o‘qitish algoritmlari yordamida o‘rganish mumkin. Natijada ma’lum texnologik sharoit uchun energiya sarfi eng kam bo‘lgan yoki massa almashinuvi intensivligi eng yuqori bo‘lgan rejimni aniqlash imkoniyati paydo bo‘ladi.

Bundan tashqari, sun’iy intellekt asosida texnologik uskunalarning texnik holatini prognoz qilish, nosozliklarni oldindan aniqlash va profilaktik xizmat ko‘rsatish vaqtini belgilash mumkin. Bu yondashuv sanoat korxonalarida ishlab chiqarishning uzluksizligini ta’minlashga xizmat qiladi.

Zamonaviy texnologiyalarning iqtisodiy va texnologik samaradorligi. Gidrodinamik oqimni zamonaviy texnologiyalar yordamida optimallashtirish bir qator iqtisodiy va texnologik afzalliklarni beradi. Avvalo, qurilma ichidagi oqimning optimal taqsimlanishi massa almashinuvi yuzasidan samarali foydalanish imkonini yaratadi. Bu esa mahsulotni qayta ishlash vaqtini qisqartiradi.

Ikkinchidan, oqim parametrlarini optimallashtirish nasoslar, ventilyatorlar va boshqa yordamchi qurilmalarning energiya sarfini kamaytirishi mumkin. Uchinchidan, qurilma konstruksiyasini kompyuter modellashtirish orqali optimallashtirish yangi apparatlarni yaratish va sinovdan o‘tkazish xarajatlarini kamaytiradi.

Sut mahsulotlari issiqlikka sezgir bo‘lgani sababli texnologik jarayonlarni aniq boshqarish ham katta ahamiyatga ega. Oqimning bir tekis taqsimlanishi mahsulotning ayrim qismlarining ortiqcha qizib ketishi yoki qurilma ichida uzoq vaqt qolishining oldini oladi. Natijada mahsulotning organoleptik va fizik-kimyoviy xususiyatlarini saqlab qolish imkoniyati ortadi.

Muhokama. Sutni qayta ishlashga mo‘ljallangan massa almashinuvi qurilmalarida gidrodinamik oqim strukturasini tadqiq qilishda zamonaviy texnologiyalar an’anaviy tajriba usullarini to‘ldiruvchi muhim vosita hisoblanadi. Ayniqsa, CFD modellashtirish va real vaqt monitoringining birgalikda qo‘llanilishi katta imkoniyatlar yaratadi.

CFD yordamida qurilmaning ichki oqim strukturasini oldindan aniqlash, real tajribalar orqali esa ushbu natijalarni tasdiqlash mumkin. Sensorlardan olingan ma’lumotlar asosida model doimiy ravishda takomillashtirilishi mumkin. Kelajakda raqamli egizaklar (Digital Twin) texnologiyasidan foydalanish orqali real ishlab turgan massa almashinuvi qurilmasining virtual nusxasini yaratish va uning ishini real vaqt rejimida kuzatish imkoniyati yanada kengayadi.

Bunday tizimlar nafaqat oqim strukturasini tahlil qilish, balki texnologik jarayonning kelajakdagi holatini prognoz qilish imkonini ham beradi. Natijada sutni

qayta ishlash korxonalarida resurslardan oqilona foydalanish, mahsulot sifatini barqarorlashtirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish mumkin.

Xulosa. Sutni qayta ishlashga mo‘ljallangan massa almashinuvi qurilmalarida gidrodinamik oqim strukturasini chuqur o‘rganish texnologik jarayonlarning samaradorligini oshirishning muhim shartlaridan biridir. Oqim tezligi, bosim, turbulentlik, harorat va fazalar o‘rtasidagi kontakt xususiyatlarini aniq baholash qurilmaning optimal ish rejimini belgilash imkonini beradi.

Zamonaviy CFD modellashtirish texnologiyalari yordamida qurilma ichidagi murakkab gidrodinamik jarayonlarni virtual tarzda tadqiq qilish, oqimning turg‘un zonalarini aniqlash va konstruktiv parametrlarni optimallashtirish mumkin. Raqamli sensorlar va real vaqt monitoring tizimlari esa texnologik jarayonning joriy holatini doimiy nazorat qilish imkonini beradi.

Sun’iy intellekt, mashinali o‘qitish va raqamli egizak texnologiyalarining joriy etilishi kelajakda massa almashinuvi qurilmalarini yanada aqlli va avtomatlashtirilgan boshqarish imkonini beradi. Shu sababli zamonaviy raqamli texnologiyalardan foydalanish sutni qayta ishlash sanoatida energiya samaradorligini oshirish, mahsulot sifatini yaxshilash, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va qurilmalar ishining ishonchliligini ta’minlashning istiqbolli yo‘nalishlaridan biridir.

Foydalanilgan adabiyotlar

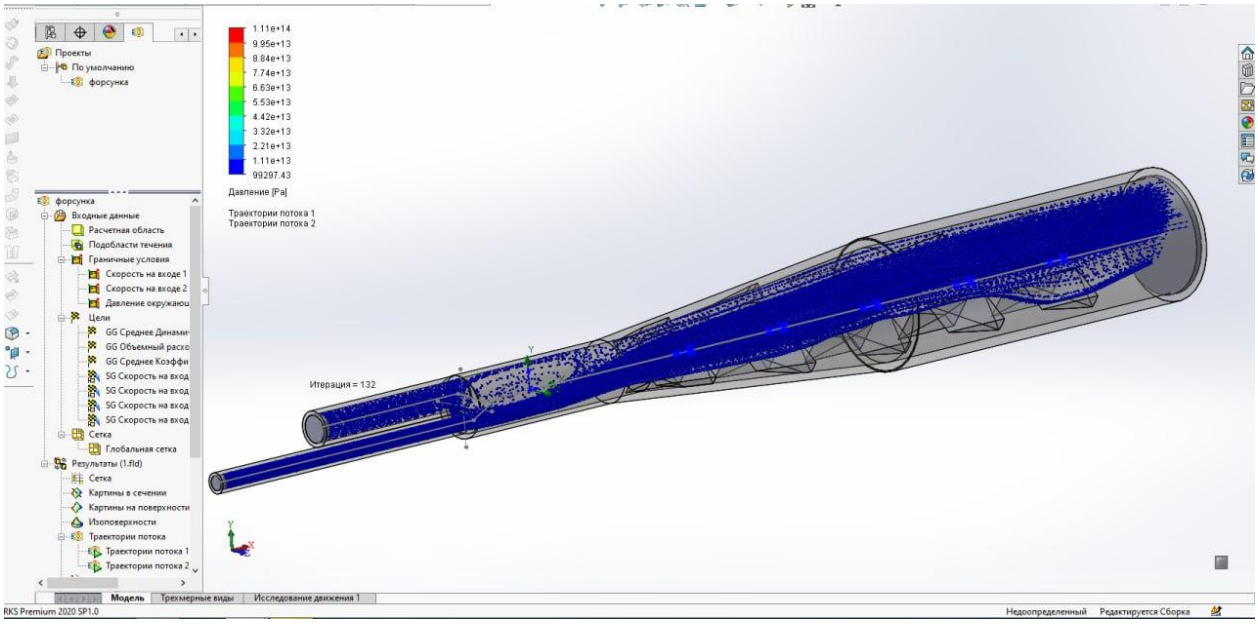
1. M.S. Narziev, F.Y. Habibov - *Определение оптимальных технологических параметров процесса окончательной дистилляции бинарных смесей*. Buxoro, 2019, 96–98-bet.

2. M.S. Narziev, F.Y. Khabibov - *Использование методологии экспериментального планирования для изучения процесса окончательной дистилляции растительных масел*. Buxoro, 2019.

3. F.Y. Xabibov, K.J. Murodov - *Transport vositasi harakati mexanik*

energiyasini elektr energiyaga aylantirish qurilmasining simulyatsiya modeli. Ushbu maqola 2025-yilgi ilmiy to‘plam mundarijasida 175-betdan boshlab ko‘rsatilgan.

4. Barakayeva D.F., Xabibov F.Y. Sutni qayta ishlashga mo‘ljallangan massa almashinuvi qurilmalarida gidrodinamik oqim strukturasini tadqiq qilish. Fan va texnologiyalar taraqqiyoti jurnali № 4. 2026-yil. 270-bet.



- **Dastur:** SOLIDWORKS
- **Modul: SOLIDWORKS Flow Simulation**
- **Versiya:** pastki qismida **SOLIDWORKS Premium 2020 SP1.0** ko‘rinib turibdi.
- **Hisoblash turi:** CFD — *Computational Fluid Dynamics*, ya’ni suyuqlik/gaz oqimini kompyuterda modellashtirish.
- Rasmda **bosim (Давление [Pa])**, oqim trayektoriyalari va tezliklar ko‘rsatilgan.
- Model esa **forsunka (forsunka/nozzle)** ichidagi oqim jarayoniga o‘xshaydi.

Demak, sizning ishingiz uchun dastur nomini **“SOLIDWORKS Flow Simulation asosida CFD modellashtirish”** deb ko‘rsatish mumkin.

1. Bu rasm **SOLIDWORKS Flow Simulation** dasturida bajarilgan **oqim (CFD) simulyatsiyasi** tasviriga o‘xshaydi.

Rasmda nima ko‘rsatilgan?

Rasmda uzun **quvurli/korpusli qurilma ichidagi suyuqlik yoki gaz oqimi** ko‘rsatilgan. Ko‘k nuqtali chiziqlar — **oqim trayektoriyalari (Flow Trajectories)**.

- **Ko‘k rang** — bosim qiymati pastroq bo‘lgan hududlarni bildiradi.
- **Qizil rang** — bosim yuqoriroq ekanini bildiradi.
- Rang shkalasi **Pa (Paskal)** da berilgan.
- **“Траектории потока 1/2”** — ikki xil oqim yo‘nalishi/trayektoriyasi hisoblanganini ko‘rsatadi.
- Ichki va tashqi quvurlar orqali oqimning qanday harakatlanishi CFD yordamida hisoblangan.

Qanday ishlaydi?

SOLIDWORKS Flow Simulation avval qurilmaning geometriyasini oladi, keyin:

6. **Kirish sharti** beriladi — masalan, suyuqlik/gazning tezligi yoki bosimi.
7. **Chiqish sharti** beriladi.
8. Suyuqlik/gazning xossalari tanlanadi.
9. Dastur qurilma ichidagi oqimni juda ko‘p kichik hisoblash elementlariga bo‘lib, **bosim, tezlik, temperatura va oqim yo‘nalishini** hisoblaydi.
10. Natijada rasmda ko‘rsatilgan **ko‘k oqim chiziqlari** hosil bo‘ladi.

Agar bu qurilma **ikki quvurli issiqlik almashinuvi apparati** bo‘lsa, unda bir oqim ichki quvurdan, ikkinchi oqim esa uning atrofidan harakatlanib, ular orasida issiqlik almashinuvi sodir bo‘lishi mumkin.

Agar xohlasangiz, **shu rasmdagi qurilmaning aynan qanday ishlashini — qaysi quvurdan suyuqlik kirishi, qayerdan chiqishi va ko‘k trayektoriyalar nimani anglatishini** rasmning o‘ziga qarab batafsil tushuntirib beraman.