International Scientific Journal of Contemporary Research in Social Sciences and Humanities
2026 / No. 1 (1)
ELECTRONIC JOURNAL | OPEN ACCESS
Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

SENTRIFUGA ROTORINING NOMUVOZANATLIGI VA TEBRANISHLARINI KAMAYTIRISH ORQALI USKUNANING ISHLASH ISHONCHLILIGINI OSHIRISH

Ilmiy rahbar: Komilov Bekzodbek Maxmudjon o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti
“Metrologiya va yengil sanoat” kafedrasi t.f.f.d.,
Shavkatov Asadbek
Andijon davlat texnika instituti
“Biotibbiyot muhandisligi” yo‘nalishi 4-kurs talabasi

Annotatsiya. Mazkur maqolada sentrifuga rotorining nomuvozanatligi, mexanik tebranishlarning yuzaga kelish sabablari va ularning uskuna ishlash ishonchliligiga ta’siri tahlil qilinadi. Rotor massasining aylanish o‘qiga nisbatan notekis taqsimlanishi natijasida paydo bo‘ladigan markazdan qochma kuchlar, podshipniklarga tushadigan dinamik yuklama hamda mexanik qismlarning tezlashtirilgan yeyilish jarayonlari yoritilgan. Tebranishlarni kamaytirishda rotorni statik va dinamik muvozanatlash, vibratsiya parametrlarini o‘lchash, texnik holatni muntazam kuzatish va profilaktik xizmat ko‘rsatish usullarining ahamiyati asoslab berilgan. Maqolada aylanish tezligi va nomuvozanatlik miqdori o‘rtasidagi bog‘liqlik matematik ifodalar yordamida hisoblangan, shuningdek, rotorni muvozanatlash samaradorligi bo‘yicha e’lon qilingan tajriba natijalari qiyosiy tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: sentrifuga, rotor nomuvozanatligi, mexanik tebranish, dinamik muvozanatlash, vibratsiya diagnostikasi, aylanish tezligi.

Abstract. This article analyzes rotor imbalance in centrifuges, the causes of mechanical vibrations, and their impact on equipment operational reliability. It examines centrifugal forces generated by the uneven distribution of rotor mass relative to the axis of rotation, the dynamic loads imposed on bearings, and the accelerated wear of mechanical components. The importance of static and dynamic rotor balancing,

Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

vibration parameter measurement, regular monitoring of technical condition, and preventive maintenance in reducing vibrations is substantiated. The relationship between rotational speed and the magnitude of imbalance is calculated using mathematical expressions. In addition, published experimental results on the effectiveness of rotor balancing are comparatively analyzed.

Keywords: centrifuge, rotor imbalance, mechanical vibration, dynamic balancing, vibration diagnostics, rotational speed.

Аннотация. В данной статье анализируются дисбаланс ротора центрифуги, причины возникновения механических вибраций и их влияние на эксплуатационную надежность оборудования. Рассматриваются центробежные силы, возникающие вследствие неравномерного распределения массы ротора относительно оси вращения, динамические нагрузки на подшипники, а также ускоренный износ механических компонентов. Обоснована значимость статической и динамической балансировки ротора, измерения параметров вибрации, регулярного контроля технического состояния и проведения профилактического технического обслуживания для снижения вибраций. Взаимосвязь между частотой вращения и величиной дисбаланса рассчитана с использованием математических выражений. Кроме того, проведен сравнительный анализ опубликованных экспериментальных результатов, характеризующих эффективность балансировки ротора.

Ключевые слова: центрифуга, дисбаланс ротора, механическая вибрация, динамическая балансировка, вибрационная диагностика, частота вращения.

Kirish.

Sanoat korxonalarida mexanik uskunalarning uzluksiz va ishonchli ishlashi ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Kimyo, oziq-ovqat, farmatsevtika, tog‘-kon sanoati hamda boshqa ishlab chiqarish tarmoqlarida qo‘llaniladigan sentrifugalar suyuqlik va qattiq zarrachalarni ajratish, suspenziyalarni qayta ishlash, namlikni kamaytirish va mahsulot tarkibiy qismlarini saralash kabi vazifalarni bajaradi.

Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

Mazkur uskunalarning asosiy ishchi elementi rotor bo‘lib, uning aylanishi davomida hosil bo‘ladigan mexanik kuchlar va tebranishlar butun agregatning texnik holatiga ta’sir ko‘rsatadi.

Sentrifuga rotorining nomuvozanatligi aylanuvchi massa markazining geometrik aylanish o‘qiga mos kelmasligi yoki massa taqsimotining notekisligi bilan bog‘liq. Bunday holat rotor aylanganda davriy ravishda o‘zgaruvchi kuchlarning paydo bo‘lishiga olib keladi. Agar ushbu kuchlar yetarli darajada cheklanmasa, podshipniklar, val, mufta, tayanch konstruksiyasi va elektr dvigatelga qo‘shimcha dinamik yuklamalar tushadi. Natijada tebranish kuchayishi, shovqin ortishi, mahkamlash elementlarining bo‘shashishi va ayrim detallar xizmat muddatining qisqarishi mumkin.

Rotor nomuvozanatligining yuzaga kelishiga rotor yuzasida materialning notekis to‘planishi, mahsulot qoldiqlarining yopishib qolishi, korroziya, ishchi qismlarning yeyilishi, noto‘g‘ri yig‘ish, valning egilishi hamda rotorning deformatsiyalanishi sabab bo‘lishi mumkin. Qayta ishlanayotgan material rotor ichida bir xil taqsimlanmasa, dastlab muvozanatlangan mexanizmda ham ish davomida nomuvozanatlik yuzaga keladi.

Rotor nomuvozanatligi bilan bog‘liq tebranishlar faqat aylanish tezligiga emas, balki nomuvozanat massa miqdori, uning aylanish o‘qidan uzoqligi, tayanchlarning bikrligi va rotorning dinamik xususiyatlariga ham bog‘liq. Shu sababli tebranishning ortishini har doim ham faqat nomuvozanatlik bilan izohlash to‘g‘ri emas. Podshipnik shikastlanishi, val va muftaning markazlashuvi buzilishi, bo‘sh mahkamlagichlar hamda rezonans holatlari ham o‘xshash belgilarni keltirib chiqarishi mumkin.

ISO 20816-1:2016 xalqaro standarti mashina vibratsiyasini o‘lchash va baholashning umumiy tamoyillarini qamrab oladi [1]. Rotorlarni muvozanatlashga doir ISO 21940-11:2016 standarti esa qattiq rotorlar uchun muvozanatlash tartiblari, ruxsat etiladigan qoldiq nomuvozanatlik va tuzatish tekisliklariga oid talablarni belgilaydi [2;3]. Aniq tebranish chegaralari rotor turi, uskuna konstruksiyasi va ishlash sharoitlariga mos tanlanishi lozim.

International Scientific Journal of Contemporary Research in Social Sciences and Humanities
2026 / No. 1 (1)
ELECTRONIC JOURNAL | OPEN ACCESS
Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

Maqolaning maqsadi sentrifuga rotorining nomuvozanatligi va tebranishlarining kelib chiqish mexanizmlarini tahlil qilish, matematik hisob-kitoblar orqali aylanish tezligining ta’sirini baholash hamda uskunaning ishlash ishonchliligini oshirishga qaratilgan amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot metodologiyasi.

Maqolada tizimli tahlil, mexanik jarayonlarni matematik modellashtirish, qiyosiy tahlil va hisob-kitob usullaridan foydalanildi. Asosiy e’tibor rotor nomuvozanatligi natijasida yuzaga keladigan markazdan qochma kuch, tebranish amplitudasi, aylanish tezligi va muvozanatlash samaradorligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni tushuntirishga qaratildi.

Natija va tahlillar.

Nomuvozanat massa m = 0,01 kg, uning aylanish o‘qidan masofasi e = 0,0005 m, ya’ni 0,5 mm deb olinsin. Nomuvozanatlik momenti U = me = 0,000005 kg•m yoki 5 g•mm ga teng. 1500 ayl/min tezlikda ω = 157,08 rad/s va F ≈ 12,34 N. 3000 ayl/min tezlikda ω = 314,16 rad/s va F ≈ 49,35 N bo‘ladi.

Rotor aylanish tezligining nomuvozanatlik kuchiga ta’siri

1-jadval.

Aylanish tezligi, ayl/min	Burchak tezligi, rad/s	Hisoblangan kuch, N	1500 ayl/min ga nisbatan
750	78,54	3,08	0,25
1500	157,08	12,34	1,00
2250	235,62	27,74	2,25
3000	314,16	49,35	4,00

Manba: *muallifning $F = me\omega^2$ formulasi asosidagi hisob-kitoblari. Nomuvozanat massa 10 g, ekssentrisitet 0,5 mm deb qabul qilingan.*

Aylanish tezligi 1500 ayl/min dan 3000 ayl/min gacha, ya’ni ikki baravar oshganda hisoblangan nomuvozanatlik kuchi 12,34 N dan 49,35 N gacha ko‘tariladi. Bu qariyb to‘rt baravar o‘sishni anglatadi. Hisoblangan kuchni tayanchdagi tebranish amplitudasiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri tenglashtirib bo‘lmaydi, chunki haqiqiy tebranish rotor va tayanchlarning bikrligi, dempferlash xususiyatlari, rezonans chastotalari, podshipnik holati va o‘lchash nuqtasiga ham bog‘liq.

International Scientific Journal of Contemporary Research in Social Sciences and Humanities
2026 / No. 1 (1)
ELECTRONIC JOURNAL | OPEN ACCESS
Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

Rotor ichida qayta ishlanayotgan materialning notekis taqsimlanishi, mahsulot qoldiqlarining to‘planishi, korroziya, abraziv yeyilish, valning egilishi yoki muftaning noto‘g‘ri markazlashuvi tebranishni kuchaytirishi mumkin. Shu sababli diagnostika faqat bitta belgiga asoslanmasligi, bir nechta ko‘rsatkichni birgalikda baholashi kerak.

Sentrifuga rotorida tebranishga sabab bo‘luvchi omillar va tekshiruv usullari

2-jadval.

Nosozlik yoki omil	Ehtimoliy belgi	Tavsiya etiladigan tekshiruv
Rotor nomuvozanatligi	Aylanish chastotasiga mos davriy tebranish	Vibratsiya spektri va fazani tahlil qilish
Podshipnik yeyilishi	Shovqin, qizish, yuqori chastotali tebranish	Harorat, vibratsiya va podshipnik holatini tekshirish
Val yoki mufta markazlashuvi buzilishi	Radial yoki o‘q bo‘ylab tebranish	Markazlashuvni o‘lchash
Rotor yuzasida material yig‘ilishi	Ish rejimi yoki yuklamaga qarab o‘zgaruvchi tebranish	Tozalash va rotor yuzasini ko‘zdan kechirish
Mahkamlash elementlarining bo‘shashi	Beqaror tebranish va mexanik shovqin	Uskunani xavfsiz to‘xtatib, mahkamlashlarni tekshirish
Rezonans holati	Muayyan tezlik oralig‘ida tebranishning keskin ortishi	Tezlik va tebranish o‘rtasidagi bog‘liqlikni tahlil qilish

Manba: *muallifning mexanik diagnostika tamoyillari asosidagi umumlashtirishi.*

Aylanish chastotasiga mos tebranish komponenti nomuvozanatlikni aniqlashda foydali. Rotor 1500 ayl/min tezlikda ishlasa, aylanish chastotasi 25 Hz, 3000 ayl/min tezlikda esa 50 Hz bo‘ladi. Biroq bu chastotalarning mavjudligi o‘z-o‘zidan nomuvozanatlikni to‘liq tasdiqlamaydi. Amplituda, faza, tezlik rejimi va boshqa o‘lchovlar ham tahlil qilinishi kerak.

Rotorni muvozanatlash nomuvozanatlikdan kelib chiqadigan dinamik kuchlarni kamaytirishning asosiy usullaridan biridir. Jarayonda rotorning massa taqsimoti tekshiriladi va zarur hollarda belgilangan joyga tuzatish massasi qo‘shiladi yoki texnik jihatdan ruxsat etilgan usulda massa olib tashlanadi. ISO 21940-11:2016 qattiq rotorlarni muvozanatlash tartiblari va qoldiq nomuvozanatlik talablarini belgilaydi [2;3].

International Scientific Journal of Contemporary Research in Social Sciences and Humanities
2026 / No. 1 (1)
ELECTRONIC JOURNAL | OPEN ACCESS
Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

Muvozanatlash samaradorligini baholash uchun quyidagi ifodadan foydalanish mumkin:

$$\eta = ((A_1 - A_2) / A_1) \times 100\%.$$

Bu yerda,

A_1 - muvozanatlashdan oldingi,

A_2 - keyingi tebranish amplitudasi;

η - amplituda kamayishining foizi.

2025-yilda e'lon qilingan ochiq ilmiy maqolada kuch turbinasi rotori muvozanatlangandan so'ng birinchi kritik tezlikdagi tebranish amplitudasi 46,27 foizga, ikkinchi kritik tezlikdagi amplituda esa 61,00 foizga kamaygani qayd etilgan [4]. Bu raqamlar aynan o'sha kuch turbinasi rotori tajribasiga tegishli va sentrifugalar uchun universal ko'rsatkich hisoblanmaydi.

Ilmiy maqolada keltirilgan rotorni muvozanatlash natijalari

3-jadval.

Ko'rsatkich	Muvozanatlashdan oldin	Muvozanatlashdan keyin	Kamayish
Birinchi kritik tezlikdagi amplituda	$2{,}548 \times 10^{-4}$ m	$1{,}369 \times 10^{-4}$ m	46,27%
Ikkinchi kritik tezlikdagi amplituda	$7{,}921 \times 10^{-4}$ m	$3{,}089 \times 10^{-4}$ m	61,00%

Manba: *"Effects of Unbalance Identification Locations on Transient Dynamic Balancing Without Trial Weights Performance of Power Turbine Rotor", 2025. Ma'lumotlar kuch turbinasi rotori tajribasiga tegishli.*

Natijalar rotorning turli kritik tezliklarida muvozanatlash samarasi bir xil bo'lmasligini ko'rsatadi. Sentrifuga uchun real samaradorlikni aniqlash maqsadida muvozanatlashdan oldin va keyin vibratsiya o'lchovlarini bir xil sharoitlarda o'tkazish zarur.

Sentrifuga rotorining ishonchli ishlashi uchun muvozanatlash bilan birga texnik holatni muntazam kuzatish ham zarur. Buning uchun vibratsiya o'lchagichlar, akselerometrlar, harorat datchiklari va zarur hollarda aylanish tezligi datchiklaridan

International Scientific Journal of Contemporary Research in Social Sciences and Humanities
2026 / No. 1 (1)
ELECTRONIC JOURNAL | OPEN ACCESS
Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

foydalanish mumkin. O‘lchovlarni bir xil nuqtalarda, o‘xshash yuklama va tezlik sharoitida bajarish ma’lumotlarning taqqoslanuvchanligini oshiradi.

Sentrifuga uchun tavsiya etiladigan texnik kuzatuv rejasi

4-jadval.

Nazorat obyekti	Tekshiruv mazmuni	Davriylik tamoyili
Rotorning tashqi holati	Yoriqlar, korroziya, material yig‘ilishi va shikastlanish	Rejalashtirilgan to‘xtashlarda va zaruratga ko‘ra
Vibratsiya darajasi	Bir xil nuqtalarda tebranish kattaligini o‘lchash	Uskuna xavfi va ishlab chiqaruvchi ko‘rsatmasiga muvofiq
Podshipniklar	Harorat, shovqin va vibratsiyadagi o‘zgarishlar	Belgilangan monitoring jadvali asosida
Val va mufta	Markazlashuv va mexanik holat	Montajdan keyin va ta’mirlashdan so‘ng
Rotor muvozanati	Qoldiq nomuvozanatlik va tebranishning tezlikka bog‘liqligi	Ta’mirlash, almashtirish yoki vibratsiya ortganda
Mahkamlash elementlari	Bo‘shashish va tayanchlar holati	Xavfsiz to‘xtatishdan keyin, xizmat reglamenti asosida

Manba: *muallif tomonidan ishlab chiqilgan tavsiya. Davriylik uskuna pasporti, ishlab chiqaruvchi ko‘rsatmasi va korxonaning texnik xizmat reglamenti bilan belgilanadi.*

Vibratsiya qiymatining mutlaq miqdori bilan birga uning vaqt davomida o‘zgarishini ham tahlil qilish muhimdir. Bir xil ish rejimida tebranish qiymatlari muntazam oshib borsa, bu rotor nomuvozanatligi kuchayayotgani yoki boshqa mexanik nosozlik yuzaga kelayotganini ko‘rsatishi mumkin. Universal vibratsiya chegarasini barcha sentrifugalarga qo‘llash to‘g‘ri emas; ruxsat etiladigan ko‘rsatkichlar uskuna turi, quvvati, aylanish tezligi va tayanch konstruksiyasiga qarab tanlanadi.

Korxonalarda vibratsiya natijalarini elektron jurnal yoki texnik xizmat boshqaruv tizimida saqlash maqsadga muvofiq. Har bir o‘lchov sanasi, ish tezligi, yuklama holati, o‘lchash nuqtasi va aniqlangan nosozlik qayd etiladi. Bu ma’lumotlar tebranish dinamikasini baholash va ta’mirlash ishlarini oldindan rejalashtirishga yordam beradi.

Muhokama.

Tahlillar sentrifuga rotorining nomuvozanatligi mexanik tebranishlar yuzaga kelishining muhim sabablaridan biri ekanini ko‘rsatadi. Biroq ishonchlilikni oshirish

Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

uchun muammoni faqat rotor massasini muvozanatlash bilan cheklash yetarli emas. Rotor, val, podshipniklar, mufta, tayanch konstruksiyasi va elektr yuritma o‘zaro bog‘langan tizimni tashkil etadi. Tizimning bir qismidagi nosozlik boshqa qismlarda ham tebranish va yuklamalarning ortishiga olib kelishi mumkin.

Hisob-kitob nomuvozanatlik kuchining aylanish tezligi kvadratiga bog‘liqligini ko‘rsatdi. Shu sababli yuqori tezlikda ishlaydigan sentrifugalarda kichik nomuvozanatlik ham sezilarli dinamik kuch hosil qilishi mumkin. Rotorni to‘g‘ri yig‘ish, yuzasini toza saqlash, ta’mirlashdan keyin muvozanatini tekshirish va belgilangan ish tezligiga rioya qilish muhim.

E’lon qilingan tajribada tebranish amplitudasining 46,27–61,00 foizga kamayishi qayd etilgan bo‘lsa-da, ushbu ko‘rsatkichlar faqat muayyan kuch turbinasi rotori tajribasiga tegishli. Ularni barcha sentrifugalarga tatbiq etish ilmiy jihatdan asoslanmagan. Sentrifuga uchun real samaradorlikni aniqlash uchun o‘lchovlar bir xil tezlik va yuklama sharoitlarida bajarilishi lozim.

Agar vibratsiyaning asosiy sababi podshipnikning shikastlanishi, valning egilishi yoki tayanchning bo‘shashishi bo‘lsa, faqat rotorni muvozanatlash kutilgan natijani bermaydi. Shu sababli vibratsiya spektri, harorat, shovqin, aylanish tezligi va mexanik birikmalar holatini birgalikda baholash tavsiya etiladi.

Holatga asoslangan texnik xizmat ko‘rsatishda ta’mirlash zarurati faqat belgilangan vaqt oralig‘iga qarab emas, balki real texnik holat va diagnostika natijalari asosida baholanadi. Bu kutilmagan to‘xtashlar xavfini kamaytirish, ehtiyot qismlardan oqilona foydalanish va xarajatlarni rejalashtirishga yordam berishi mumkin.

Xulosa va takliflar.

Xulosa qilib aytganda, sentrifuga rotorining nomuvozanatligini kamaytirish va vibratsiyani muntazam nazorat qilish uskunaning ishlash ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi. Yuqoridagilardan kelib chiqib, rotorni texnik talablar asosida statik yoki dinamik muvozanatlash, vibratsiya va podshipnik haroratini muntazam o‘lchash, texnik kuzatuv jadvalini joriy etish hamda ta’mirlashdan so‘ng rotor muvozanatini qayta tekshirish taklif etiladi. Shuningdek, diagnostika natijalarini tizimli qayd etish va

Received: 10 October 2026, Accepted: 20 October 2026, Published: 26 October 2026

profilaktik texnik xizmatni uskuna holatiga mos tashkil etish tavsiya qilinadi. Ushbu chora-tadbirlar nosozliklarni erta aniqlash, mexanik qismlarning yeyilishini kamaytirish va sentrifuganing barqaror ishlashini ta'minlash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. International Organization for Standardization. ISO 20816-1:2016. Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 1: General guidelines. Geneva: ISO, 2016. URL: https://www.iso.org/standard/63180.html
2. International Organization for Standardization. ISO 21940-11:2016. Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour. Geneva: ISO, 2016. URL: https://www.iso.org/standard/54074.html
3. International Organization for Standardization. ISO 21940-11:2016/Amd 1:2022. Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour — Amendment 1. Geneva: ISO, 2022. URL: https://www.iso.org/standard/78116.html
4. Zhao J, Yang Y, Deng W, Zhao S, Fu C, Ren X, Nie Z. Effects of Unbalance Identification Locations on Transient Dynamic Balancing Without Trial Weights Performance of Power Turbine Rotor. Sensors (Basel). 2025 Nov 27;25(23):7242. doi: 10.3390/s25237242. PMID: 41374614; PMCID: PMC12693876. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12693876/
5. International Organization for Standardization. ISO 19499:2007. Mechanical vibration - Balancing - Guidance on the use and application of balancing standards. Geneva: ISO, 2007.