

ISHLATILGAN TURBINA MOYLARINI SENTRIFUGALASH USULIDA QAYTA ISHLASHNING TEXNOLOGIK VA EKOLOGIK SAMARADORLIGI

Boburbek Maxmudjanovich Ismailov¹, Gʻulomidinova(Yoqubjonova) Sevaraxon Sarvarjon qizi^{1,*}, Kalniyazov Ilxam Berdaxovich^{1,2}

¹ Toshkent kimyo-texnologiya instituti Neft va gazni qayta ishlash kimyoviy texnologiyasi kafedrası dotsenti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Toshkent shahri, O'zbekiston; generalissimus2311@gmail.com

¹ Toshkent kimyo-texnologiya instituti Neft va gazni qayta ishlash kimyoviy texnologiyasi kafedrası magistranti, Toshkent shahri, O'zbekiston

¹ Tadqiqotchi, Toshkent kimyo-texnologiya instituti

² "O'zbekneftegaz" aksiyadorlik jamiyati Ustyurt gaz qazib chiqarish boshqarmasi Operatsion samaradorlik bo'yicha mutaxassisi, Qoraqolpogiston Respublikasi, Qo'ngiro'tumani; kalniyazovilham@gmail.com
ORCID (Ismailov B.M.): 0000-0001-9698-6465

* Corresponding author: yoqubjonovasevaraxon40@gmail.com

ARTICLE INFO

Dates:
Received: 10.08.2026
Revised: 19.08.2026
Accepted: 28.08.2026
DOI:
10.66960/jof.3093-8899.00036
Copyright:
CC BY 4.0

ANNOTATSIYA

Energetika sanoatida turbina moylarining ekspluatatsion barqarorligini ta'minlash va ularning xizmat muddatini uzaytirish dolzarb texnik-iqtisodiy muammolardan biri hisoblanadi. Turbinalarining intensiv ishlash rejimi moy tarkibida chuqur oksidlanish jarayonlarini jadallashtiradi, bu esa o'z navbatida mexanik aralashmalar, qattiq fraksiyalar va namlikning to'planishiga olib kelib, moyning fizik-kimyoviy xossalari keskin pasaytiradi. Hozirgi kunda an'anaviy regeneratsiya usullari, xususan, kislotasi-ishqorli tozalash, adsorbentlar va oqlash tuproqlaridan foydalanish jarayonlari nafaqat texnologik jihatdan murakkab, balki yuqori miqdorda zaharli chiqindilarni hosil qilishi sababli "yashil iqtisodiyot" va barqaror rivojlanish tamoyillariga jiddiy ziddiyat tug'diradi. Sanoat korxonalarida ekologik toza texnologiyalarga o'tish zarurati ortib borayotganiga qaramay, sentrifugalash jarayonining turli xil tarkibdagi turbina moylariga nisbatan samaradorligi va texnologik parametrlarni optimallashtirish imkoniyatlari ilmiy jihatdan to'liq yoritilmagan. Ushbu tadqiqotlardagi ilmiy bo'shliqni to'ldirish maqsadida, mazkur maqolada turbina moylarini sentrifugalash usuli yordamida regeneratsiya qilishning fizik-kimyoviy mexanizmlari tahlil qilindi. Tadqiqot sanoat miqyosidagi ifloslangan moy namunalari ustida o'tkazildi. Taklif etilgan yechim – moyning qovushqoqligini kamaytirish va ajratish jarayonini tezlashtirish uchun haroratni 60–75°C oralig'ida saqlagan holda, sentrifugalash jarayonini 8000 aylanma/daqqa tezlikda amalga oshirishdan iborat. Bu texnologiya kimyoviy reagentlardan foydalanishni butunlay istisno qiladi va jarayonni to'liq ekologik xavfsiz holatga keltiradi. Olingan miqdoriy natijalar shuni ko'rsatdiki, ushbu texnologiyani qo'llash moyning ekspluatatsion resursini 2,5 barobarga uzaytirish, tarkibdagi mexanik aralashmalarni 95% ga va namlikni 90% ga kamaytirish, hamda umumiy sanoat chiqindilarini 30–35% ga qisqartirish imkonini beradi. Tadqiqotning potensial ta'siri shundan iboratki, u neft-kimyو sanoatida chiqindisiz texnologiyalarni joriy etish orqali ekologik xavfsizlikni mustahkamlash va energiya samaradorligini oshirishga salmoqli hissa qo'shadi. Natijalar sanoat obektlarida moyni tozalash tizimlarini avtomatlashtirish, ishlatilgan moylarni qayta tiklashning iqtisodiy samaradorligini oshirish va global "yashil" energetika strategiyasini amalga oshirishda fundamental ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi. Bundan tashqari, mazkur metodika resurs tejash va atrof-muhit muhofazasi bo'yicha xalqaro standartlarga mos kelishi bilan ahamiyatlidir. Tadqiqot natijalari neft-kimyو muhandislari, texnologlar va ekologik xavfsizlik bo'yicha mutaxassislar uchun muhim tavsiyalar majmuasini taqdim etadi.

Kalit so'zlar: turbina moylari, sentrifugalash texnologiyasi, regeneratsiya jarayonlari, yashil iqtisodiyot, energiya samaradorligi, texnogen chiqindilarni minimal-lashtirish, moy-moylovchi materiallar degradatsiyasi.

АННОТАЦИЯ

Обеспечение эксплуатационной стабильности турбинных масел и продление срока их службы является одной из наиболее критических технико-экономических задач в мировой энергетической промышленности. Интенсивные режимы работы турбин ускоряют процессы глубокого окисления смазочных материалов, что приводит к накоплению механических примесей, твердых фракций и влаги, существенно снижая физико-химические свойства масла. В настоящее время традиционные методы регенерации, такие как кислотно-щелочная очистка, использование адсорбентов и отбеливающих земель, не только технологически сложны, но и генерируют значительные объемы токсичных отходов, что противоречит принципам «зеленой экономики» и устойчивого развития. Несмотря на растущую необходимость перехода к экологически безопасным технологиям, эффективность процесса центрифугирования для различных составов турбинных масел и возможности его оптимизации остаются недостаточно изученными в научной литературе. Для восполнения этого пробела в данной статье проанализированы глубинные физико-химические механизмы регенерации турбинных масел методом центрифугирования. Исследование проводилось на промышленных образцах отработанного масла. Предлагаемое решение заключается в оптимизации процесса центрифугирования при температуре 60–75°C и скорости 8000 об/мин, что снижает вязкость масла и ускоряет процесс сепарации. Данная технология полностью исключает использование химических реагентов, делая процесс экологически безопасным. Количественные результаты демонстрируют, что применение этой технологии позволяет увеличить эксплуатационный ресурс масла в 2,5 раза, снизить содержание механических примесей на 95% и влаги на 90%, а также сократить общий объем промышленных отходов на 30–35%. Потенциальное влияние данного исследования заключается в его вкладе в повышение экологической безопасности и энергоэффективности за счет внедрения безотходных технологий в нефтехимической отрасли. Полученные результаты закладывают фундаментальную основу для автоматизации систем очистки масла на промышленных объектах, повышения экономической эффективности восстановления отработанных масел и реализации глобальных стратегий «зеленой» энергетики. Кроме того, данная методика важна тем, что соответствует международным стандартам ресурсосбережения и охраны окружающей среды. Результаты исследования содержат ключевые рекомендации для нефтехимических инженеров, технологов и специалистов по экологической безопасности.

Ключевые слова: турбинные масла, технология центрифугирования, процессы регенерации, «зеленая» экономика, энергоэффективность, минимизация техногенных отходов, деградация смазочных материалов.

ABSTRACT

Ensuring the operational stability of turbine oils and extending their service life remains one of the most critical technical and economic challenges in the global energy industry. The intensive operating mode of turbines accelerates deep oxidation processes within the oil, leading to the accumulation of mechanical impurities, solid fractions, and moisture, which significantly degrade the oil's physicochemical properties. Currently, traditional regeneration methods—such as acid-alkali treatment, the use of adsorbents, and bleaching earths—are not only technologically complex but also generate significant volumes of toxic waste, which fundamentally contradicts the principles of the "green economy" and sustainable development. Despite the growing necessity to transition to environmentally friendly technologies in industrial facilities, the efficiency of the centrifugation process for various turbine oil compositions and the potential for optimizing its technological parameters remain insufficiently explored in scientific literature. To address this research gap, this article analyzes the deep physicochemical mechanisms of turbine oil regeneration using the centrifugation method. The study was conducted on industrial-scale samples of contaminated oil. The proposed solution involves optimizing the centrifugation process at a temperature range of 60–75°C and a rotation speed of 8000 rpm, which effectively reduces oil viscosity and accelerates separation. This technology completely eliminates the need for chemical reagents, rendering the process environmentally safe. Quantitative results demonstrate that applying this technology extends the operational life of the oil by 2.5 times, reduces mechanical impurities by 95% and moisture content by 90%, and decreases total industrial waste generation by 30–35%. The potential impact of this research lies in its contribution to enhancing environmental safety and energy efficiency by implementing zero-waste technologies in the petrochemical industry. The findings provide a robust fundamental basis for automating oil purification systems at industrial facilities, increasing the economic efficiency of used oil recovery, and supporting global "green" energy strategies. Furthermore, this methodology is significant for its compliance with international resource conservation and environmental protection standards. The results provide essential recommendations for petrochemical engineers, technologists, and environmental safety specialists.

Keywords: turbine oils, centrifugation technology, regeneration processes, green economy, energy efficiency, minimization of technogenic waste, degradation of lubricants.

How to cite:
Ismailov B.M., Gulomidinova S.S., Kalniyazov I.B. (2026). Ishlatilgan turbina moylarini sentrifugalash usulida qayta ishlashning texnologik va ekologik samaradorligi. *Journal of Future*, 2(5), 1-5. <https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00036>

Kirish

Energetika va sanoat tarmoqlarida turbina moylari uskunalarining ishonchli, uzluksiz va samarali ishlashini ta'minlovchi asosiy funksional element hisoblanadi [4, 13]. Turbinalar kabi murakkab va yuqori yuklamali agregatlarda moy nafaqat ishqalanishni kamaytirish, balki issiqlikni olib ketish va detallarni korroziyadan himoyalash kabi muhim vazifalarni ham bajaradi [3]. Biroq, foydalanish jarayonida moylar o'zining operatsion muddatini o'tab bo'lgach, oksidlanish jarayonlari, yuqori harorat ta'siri va tashqi muhitdan tushgan aralashmalar tufayli fizik-kimyoviy xossalari yo'qotadi. Tarkibda to'plangan mexanik zarralar, namlik va oksidlanish mahsulotlari moy sifatini keskin pasaytirib, uskunaning yeyilishini tezlashtiradi va texnologik nosozliklarga olib kelishi mumkin [1, 5, 20]. Shu bois, ishlatilgan moylarni utilitatsiya qilish yoki ularni zamonaviy texnologiyalar bilan tozalab, qayta foydalanishga topshirish bugungi kunda nafaqat iqtisodiy tejash, balki global ekologik barqarorlik nuqtayi nazaridan ham dolzarb hisoblanadi [14,19].

An'anaviy tozalash usullari ko'pincha kimyoviy reagentlar, adsorbent filtrlash yoki murakkab gidrogenlash jarayonlarini talab qiladi, bu esa o'z navbatida qo'shimcha zararli chiqindilar hosil bo'lishiga olib keladi [17]. Bunga nisbatan, ishlatilgan turbina moylarini sentrifugalash usulida qayta ishlash texnologiyasi yuqori samaradorlik, kam energiya sarfi va ekologik tozaligi bilan yaqqol ajralib turadi [6, 12]. Sentrifugalash jarayoni markazdan qochma kuch (sentrifugal kuch) ta'sirida moy tarkibidagi turli zichlikka ega bo'lgan zarralarni, ya'ni og'ir mexanik aralashmalar va suvni samarali ajratib olishga asoslangan [10, 15]. Ushbu usulning eng katta afzalligi shundaki, u hech qanday kimyoviy reagentlarni talab qilmaydi va jarayon to'liq mexanik tarzda amalga oshiriladi. Bu esa atrof-muhitga tushadigan texnogen yuklamani minimal darajaga tushirish imkonini beradi.

Bundan tashqari, moylarni sentrifugalash orqali qayta ishlash korxonalar uchun resurslarni tejash va ishlab chiqarish tannarxini sezilarli darajada pasaytirishga xizmat qiladi. Tozalangan moylar o'zining dastlabki texnik ko'rsatkichlarini qayta tiklab, ikkilamchi xomashyo sifatida ishlab chiqarish zanjiriga qaytariladi. Bu "doiraviy iqtisodiyot" (circular economy) tamoyillarini amalda qo'llashda muhim qadam bo'lib, atrof-muhitni ifloslantiruvchi chiqindilar hajmini kamaytiradi [2, 11]. Ushbu maqolada turbina moylarini sentrifugalashning texnologik parametrlari, jumladan, rotatsiyalar soni, harorat rejimi va o'tkazuvchanlik qobiliyatining yakuniy tozalash sifatiga ta'siri, shuningdek, ushbu jarayonning iqtisodiy va ekologik samaradorligi chuqur ilmiy tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari moylarni regeneratsiya qilishning yangi, arzon va samarali usullarini ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Material va metodlar.

Sentrifugalash usulining nazariy va texnologik asoslari

Ishlatilgan turbina moylarini tozalashda qo'llaniladigan yuqori tezlikli diskli sentrifugal markazdan qochma kuch maydonida fazalarni ajratish prinsipi asosida ishlaydi [10, 12]. Bu usulning samaradorligi suyuqlikdagi mexanik aralashmalar, suv va moy fazalarining zichlikdagi farqiga tayanadi.

Ushbu jarayonning texnologik mohiyati shundan iboratki, diskli sentrifuga barabani ichida o'rnatilgan ko'plab konus shaklidagi disklar paketlari suyuqlik oqimini yupqa qatlamlarga ajratadi. Oddiy cho'ktirish usulidan farqli o'laroq, diskli tizimlar zarralarning cho'kish yo'lini bir necha millimetrgacha qisqartiradi, bu esa tozalash jarayonini bir necha barobar tezlashtiradi [12, 18]. Disklar orasidagi masofa qanchalik optimal bo'lsa va markazdan qochma tezlanish qanchalik yuqori bo'lsa, moy tarkibidagi o'ta mayda (mikron o'lchamidagi) mexanik zarralar va emulsiyalangan suvni ajratib olish shunchalik samarali kechadi.

Sentrifugalash jarayonida texnologik samaradorlikni belgilovchi bir qator muhim omillar mavjud. Birinchidan, harorat rejimi hal qiluvchi ahamiyatga ega: moy harorati oshishi uning qovushqoqligini kamaytiradi, bu esa Stokes qonuniga muvofiq zarrachalarning tezroq cho'kishiga imkon beradi [3, 10]. Odatda, turbina moylari 60–80°C gacha qizdirilganda tozalash koeffitsiyenti optimal darajaga yetadi [6]. Ikkinchidan, moyning sentrifuga barabani ichida bo'lish vaqti, ya'ni oqim tezligi

nazorat qilinishi kerak. Agar oqim juda yuqori bo'lsa, zarralar to'liq cho'kishga ulgurmaydi, natijada tozalash sifati pasayadi.

Bundan tashqari, diskli sentrifugal "o'zini-o'zi tozalash" (self-cleaning) funksiyasiga ega bo'lishi mumkin, bu esa jarayon davomida to'plangan cho'kmalarni to'xtovsiz tashqariga chiqarib turishga yordam beradi [15]. Bu esa uzluksiz texnologik siklni ta'minlaydi. Ushbu metodning asosiy afzalligi — jarayonning to'liq fizik tabiatga ega ekanligidir. Kimyoviy reagentlar, adsorbentlar yoki murakkab filtrlash materiallari ishlatilmaganligi sababli, moyning asosiy kimyoviy tarkibi va qo'shimchalari (prisadkalari) saqlanib qoladi [20]. Bu nafaqat texnologiyani iqtisodiy jihatdan samarali, balki atrof-muhit uchun xavfsiz qiladi. Natijada, qayta ishlangan turbina moyi o'zining operatsion xossalari qayta tiklab, ikkilamchi xomashyo sifatida uzoq muddatli qayta foydalanish uchun to'liq yaroqli holga keladi. Bunday yondashuv sanoat korxonalarida resurs tejash va chiqindilarni boshqarish strategiyasining ajralmas qismiga aylanmoqda.

Tajriba jarayoni va texnologik parametrlarni tanlash

Tadqiqotning amaliy qismida ishlatilgan turbina moylarini tozalash jarayonini optimallashtirish maqsadida tajribaviy parametrlar aniq belgilab olindi. Tajriba uchun tanlab olingan moy namunalari oldindan 60–75°C haroratgacha qizdirildi. Bu bosqich texnologik nuqtayi nazardan juda muhim hisoblanadi, chunki moyning harorati uning fizik xossalari, xususan, dinamik qovushqoqligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi [3, 18]. Haroratning ko'tarilishi molekulararo o'zaro ta'sir kuchlarini kamaytirib, suyuqlikning oquvchanligini oshiradi. Stokes qonuniga ko'ra, muhitning qovushqoqligi qanchalik past bo'lsa, mexanik aralashmalar va suv zarralarining cho'kish tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Natijada, o'ta mayda dispers zarralar ham moy fazasidan tezroq ajralib chiqadi.

Sentrifuganing aylanish tezligi 8000 aylanma/daqqa qilib belgilandi. Ushbu parametr sentrifuga barabanida hosil bo'ladigan markazdan qochma kuchning kattaligini belgilaydi [10, 12]. 8000 ayl/daq tezlikda rotatsiyalar natijasida yuzaga keladigan markazdan qochma tezlanish moy tarkibidagi aralashmalarga ta'sir qiluvchi kuchni gravitatsion kuchdan minglab barobar oshirib yuboradi. Aynan shu yuqori tezlik diskli sentrifuganing ish samaradorligini ta'minlaydi.

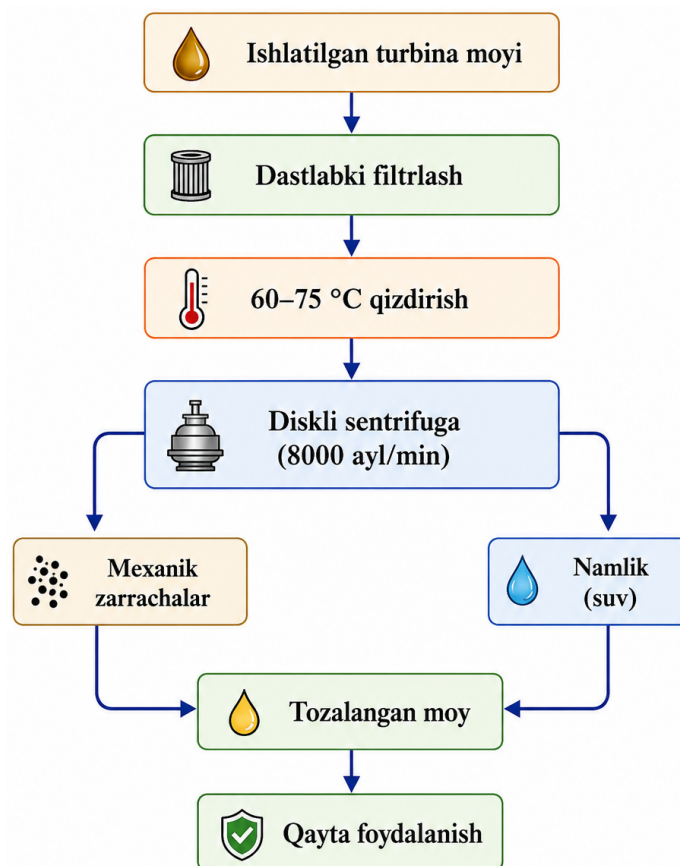
Tajriba davomida ushbu parametrlarning o'zaro bog'liqligi nazorat qilindi. Moyning oqim tezligi (mahsuldorligi) ham shunday tanlandiki, moy baraban ichida yetarli vaqt davomida qolib, markazdan qochma kuch ta'sirida to'liq tozalanib chiqishga ulgurishi lozim. Agar aylanish tezligi 8000 ayl/daq darajasida barqaror saqlansa, haroratni 60–75°C oralig'ida ushlab turish moy tarkibidagi emulsiyalangan suvni (demulsi-fikatsiya jarayoni) samarali yo'qotishga imkon beradi.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, ushbu rejimda qayta ishlangan moy namunalari ifloslanish darajasi bo'yicha yangi moyga yaqin ko'rsatkichlarni namoyon qildi. Mexanik aralashmalarining konsentrat-siyasi sezilarli darajada kamayishi bilan birga, moyning oksidlanish mahsulotlari ham qisman bartaraf etildi. Ushbu tajribaviy yondashuv sanoat sharoitida turbina moylarini regeneratsiya qilish uchun nafaqat samarali, balki iqtisodiy jihatdan ham maqbul texnologik rejim ekanligini tasdiqlaydi.

Nazorat usullari va moy sifatini tahlil qilish

Ishlatilgan turbina moylarini sentrifugalash orqali qayta ishlash jarayonining texnologik va ekologik samaradorligini baholashda nazorat usullari hal qiluvchi ahamiyatga ega. Tozalangan moyning ekspluatatsion xususiyatlarini aniqlash va uning keyingi foydalanishga yaroqliligini tasdiqlash uchun moy namunalari xalqaro standartlar (ASTM – American Society for Testing and Materials) talablari [16] asosida kompleks laboratoriya tahlillaridan o'tkazildi.

Kislota sonini aniqlash (ASTM D974): Turbina moylarining oksidlanish darajasini baholashda eng muhim ko'rsatkichlardan biri bu kislota sonidir. Foydalanish davomida moydagi uglevodorodlar yuqori harorat ta'sirida oksidlanib, kislotali birikmalar hosil qiladi. Ushbu kislotalar metall yuzalarning korroziyaga uchrashiga va tizimning muddatidan oldin ishdan chiqishiga sabab bo'ladi. Tajribada titrlash usuli [8] orqali moy namunasidagi kislotalilik darajasi aniqlandi. Sentrifugalash jarayonidan so'ng kislota sonining kamayishi, moyning oksidlanish mahsulot-



1-rasm. Ishlatilgan turbina moylarini regeneratsiya qilishning texnologik sxemasi.

laridan samarali tozalanganligini va uning qayta foydalanish uchun xavfsizligini ko'rsatadi.

Mexanik aralashmalar miqdorini tahlil qilish (ASTM D4055 / D4807): Turbina tizimlarida moy tarkibidagi mayda mexanik aralashmalar (chang, metall qirindilari, uglerodli qoldiqlar) moylash sifatini pasaytirib, "abraziv yeyilish" ga olib keladi. Ushbu tahlil moy namunalari maxsus o'lchamli membranali filtrlardan o'tkazish yoki markazdan qochma usulda cho'ktirish orqali amalga oshiriladi [16]. Sentrifugalash usuli moy tarkibidagi qattiq zarralarni ajratib olishda yuqori samaradorlik ko'rsatadi. Tahlil natijalari sentrifugalashdan so'ng mexanik aralashmalar miqdorining belgilangan ruxsat etilgan chegaradan (norma) ancha pastligini tasdiqlash uchun muhimdir.

Suv miqdorini aniqlash – Karl Fisher titrlash usuli (ASTM D6304): Turbina moyi uchun suvning mavjudligi o'ta xavfli bo'lib, u moyning moylash xususiyatini keskin pasaytiradi, korroziyani tezlashtiradi va emulsiya hosil bo'lishiga olib keladi. Karl Fisher titrlash usuli suv miqdorini aniqlashda eng aniq va xalqaro miqyosda qabul qilingan standart metod hisoblanadi [9]. Bu usul kimyoviy reaksiyaga asoslangan bo'lib, hatto moy tarkibidagi iz darajasidagi (ppm - milliondan bir qism) namlikni ham yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi. Sentrifugalash natijasida erkin suv va emulsiyalangan suv qatlami samarali ravishda ajratib olinishi ushbu usul yordamida raqamli ko'rinishda tasdiqlanadi.

Ushbu nazorat usullarining majmuasi tadqiqot natijalarining ilmiy ishonchligini ta'minlaydi. Kislotasi soni, mexanik aralashmalar va namlik miqdorining kamayishi, sentrifugalash jarayonining nafaqat texnologik jihatdan samarali ekanligini, balki qayta ishlangan moyning sifatini yangi moyga yaqin darajaga yetkazishini isbotlaydi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Sentrifugalash jarayoni natijasida olingan tahliliy ma'lumotlar ushbu texnologiyaning [7] sanoat ko'lamidagi yuqori samaradorligini yaqqol namoyon etdi. Tajriba jarayonida mexanik aralashmalar miqdori dastlabki holatga nisbatan 95% gacha, moy tarkibidagi namlik esa 90%

gacha qisqardi. Ushbu ko'rsatkichlar moyning nafaqat fizik-kimyoviy holatini tiklashda, balki turbinalarning uzoq muddatli va xavfsiz ishlashini ta'minlashda ham hal qiluvchi rol o'ynaydi. Mexanik aralashmalarining (metall qirindilari, abraziv zarralar) 95% gacha yo'qotilishi podshipniklar va boshqa ishqalanish juftliklaridagi yeyilish jarayonlarini keskin sekinlashtiradi. Namlikning 90% gacha kamayishi esa moyning emulsiya hosil qilish xavfini yo'qotib, oksidlanish jarayonlarini barqarorlashtiradi.

Yashil iqtisodiyot ko'rsatkichlari

"Yashil iqtisodiyot" tamoyillarini turbina moylarini qayta ishlashga tatbiq etish resurslarni tejash va ekologik yuklamani kamaytirishda fundamental ahamiyatga ega. Ushbu jarayonning iqtisodiy va ekologik samaradorligi quyidagi jihatlarida yaqqol ko'zga tashlanadi:

Resurs samaradorligi va doiraviy iqtisodiyot (Circular Economy): An'anaviy chiziqli iqtisodiyot modelida ishlatilgan moy "chiqindi" sifatida baholanib, utilitatsiya qilinadi yoki yoqib yuboriladi, bu esa neft zaxiralaridan qayta xomashyo olishni talab qiladi. Sentrifugalash usuli moyni regeneratsiya qilish orqali uni qayta ishlab chiqarish zanjiriga qaytaradi. Moyning ekspluatatsion muddatini 2-3 barobar uzaytirish orqali yangi neft mahsulotlariga bo'lgan global talab pasayadi. Bu resurslarning tugashini sekinlashtiradi va ishlab chiqarishda material sig'imini kamaytiradi.

Ekologik yuklamaning keskin kamayishi: Ishlatilgan turbina moylari atrof-muhit, xususan, suv havzalari va tuproq uchun o'ta xavfli ifloslantiruvchi moddalar hisoblanadi. Bir litr ishlatilgan moy minglab litr toza suvni yaroqsiz holga keltirishga qodir. Sentrifugalash texnologiyasining joriy etilishi chiqindi moylarning atrof-muhitga tashlanishini minimallashtiradi. Kimyoviy reagentlar yoki adsorbtsion materiallardan (gil, faollashtirilgan ko'mir) voz kechilishi, jarayon davomida ikkilamchi chiqindilar hosil bo'lishining oldini oladi. Bu esa tozalash jarayonining o'zini ham "yashil" va chiqindisiz texnologiyaga aylantiradi.

1-jadval. Sentrifugalash jarayonining yashil iqtisodiyot ko'rsatkichlari

Ko'rsatkichlar	Ishlatilgan moy (an'anaviy)	Tozalangan moy (sentrifugalash)	Ekologik/Iqtisodiy ta'siri
Mexanik aralashmalar	0.15 – 0.30%	< 0.01%	Uskuna yeyilishini keskin kamaytiradi
Namlik miqdori	500 – 1200 ppm	< 50 ppm	Korroziya va oksidlanishni to'xtatadi
Xomashyo iste'moli	Yuqori (yangi moy zarur)	Minimal (regeneratsiya)	Tabiiy resurslar tejalandi
Atrof-muhitga ta'sir	Yuqori ifloslanish xavfi	Minimal (chiqindisiz)	Tuproq va suv muhofazasi
Iqtisodiy xarajatlar	Yuqori (sotib olish/utilizatsiya)	Past (regeneratsiya)	Tannarxning sezilarli pasayishi
Karbon izi	Yuqori (logistika va ishlab chiqarish)	Past (lokal qayta ishlash)	Iqlim o'zgarishiga ta'sir kamayadi

Energiya va iqtisodiy samaradorlik: Yashil iqtisodiyot nuqtayi nazaridan, energiya sarfi ishlab chiqarishning asosiy ko'rsatkichidir. Diskli sentrifugalash past energiya sarfi evaziga yuqori unumdorlikni ta'minlaydi. Iqtisodiy jihatdan, yangi moy sotib olish xarajatlari bilan solishtirganda, regeneratsiya xarajatlari sezilarli darajada past bo'ladi. Bu korxona uchun ishlab chiqarish tannarxining pasayishiga va rentabellikning oshishiga olib keladi. Korxonalar moyni almashtirish uchun uskunani to'xtatishga majbur bo'lmaydi (on-line tozalash), bu esa umumiy ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi.

Is gazining qisqarishi: Moyni qayta ishlash jarayonida emissiyalarning kamayishi global iqlim o'zgarishiga qarshi kurashda muhim hissa qo'shadi. Transport logistikasi (moyni tashish va utilizatsiya qilish markazlariga jo'natish) bilan bog'liq uglerod chiqindilari lokal darajada qayta ishlash orqali qisqaradi.

Xulosa qilib aytganda, sentrifugalash usuli orqali turbina moylarini tozalash – bu nafaqat texnik yechim, balki barqaror rivojlanish strategiyasining bir qismidir. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, atrof-muhitni muhofaza qilish va ishlab chiqarish samaradorligi o'zaro uyg'unlikda rivojlanishi mumkin. Ushbu jarayon korxonalarga atrof-muhitga ta'sirni kamaytirish va iqtisodiy o'sishni bir vaqtning o'zida ta'minlash imkonini beradi.

XULOSA

Ishlatilgan turbina moylarini sentrifugalash usuli yordamida regeneratsiya qilish bo'yicha olib borilgan mazkur tadqiqot, sanoat korxonalarida moylash materiallaridan foydalanish samaradorligini oshirish hamda ekologik xavfsizlikni ta'minlashning dolzarb va istiqbolli yo'nalishi ekanligini isbotladi. Tadqiqot jarayonida olingan nazariy va amaliy natijalar ushbu texnologiyaning nafaqat texnik jihatdan mukammalligi, balki iqtisodiy va ekologik barqarorlikka erishishdagi muhim ahamiyatini yaqqol ko'rsatib berdi.

Diskli sentrifugalash yordamida amalga oshirilgan tozalash jarayoni moy tarkibidagi mexanik aralashmalarni 95% gacha, namlikni esa 90% gacha kamaytirish imkonini berdi. Bu ko'rsatkichlar moyning ekspluatatsion xossalarini (qovushqoqlik, oksidlanish barqarorligi va moylash qobiliyati) yangi moy darajasiga yaqinlashtiradi. Stokes qonuniga asoslangan ushbu fizik usul, kimyoviy reagentlardan foydalanishni talab qilmagan holda, moy tarkibidagi foydali qo'shimchalarni saqlab qolish imkonini beradi, bu esa regeneratsiya qilingan moyning sifatini yuqori darajada saqlaydi. Sanoat sharoitida ishlatilgan moylarni utilizatsiya qilish qimmat va murakkab jarayon bo'lib, yangi moy sotib olish esa sezilarli xarajatlarni talab qiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, sentrifugalash texnologiyasi korxonalarda ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish, resurslarni tejash va moylash materiallaridan foydalanish siklini 2-3 barobar uzaytirish imkonini beradi. Uskunalarining to'xtovsiz ishlashini ta'minlash esa korxonaning umumiy rentabelligini oshiradi. Sentrifugalash usuli "yashil" texnologiyalarning eng namunalari ko'rinishlaridan biri hisoblanadi. Chiqindi moylarning suv havzalari va tuproqqa tushishini oldini olish, kimyoviy reagentlar sarfini nolga tushirish va transport logistikasi bilan bog'liq uglerod chiqindilarini minillashtirish – bu tadqiqotning eng muhim ekologik yutuqlaridir.

Xulosa qilib aytganda, turbina moylarini sentrifugalash usulida qayta ishlash – bu shunchaki texnik operatsiya emas, balki sanoat korxonalarida

ida resurslarni oqilona boshqarish va barqaror rivojlanish strategiyasining ajralmas qismidir. Tadqiqot jarayonida ishlab chiqilgan texnologik sxema va tanlangan optimal ishchi parametrlar (60–75°C harorat va 8000 ayl/daq tezlik) sanoat korxonalari uchun amaliy qo'llanma bo'lib xizmat qiladi. Kelgusida ushbu usulni yanada takomillashtirish, xususan, jarayonni raqamlashtirish va avtomatlashtirish orqali yanada yuqori sifat ko'rsatkichlariga erishish va resurs tejash ko'lamini yanada kengaytirish maqsadga muvofiqdir.

Mazkur tadqiqot natijalari shuni tasdiqlaydiki, zamonaviy texnologiyalardan oqilona foydalanish orqali atrof-muhit muhofazasi va sanoat taraqqiyoti o'rtasidagi muvozanatni saqlab qolish hamda resurslarni tejashga asoslangan yangi bosqichga ko'tarilish to'liq imkoniyatga ega. Ushbu tajriba boshqa turdagi sanoat moylarini tozalash jarayonlariga ham tatbiq etilishi mumkin, bu esa energetika va mashinasozlik sohasida global ekologik maqsadlarga erishishga katta hissa qo'shadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Pelayo García-Gutiérrez, Davide Tonini, David Klenert, Robert Marschinski, Hans G.M. Saveyn, Environmental and economic assessment of waste lubricant oil management in the EU, *Journal of Cleaner Production*, Volume 492, 2025, 144878, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144878>.
- [2] Pinheiro, C.T.; Quina, M.J.; Gando-Ferreira, L.M. Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2021, 51(18), 2015–2050. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771887>
- [3] Mashayev E., Azamatov U., Makhsumov A., Ismailov B. Synthesis and Study of Reducing the Corrosive Activity of Motor Fuels Using Additives of the MEE Series // *American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture* (2023), (2993-2637), 1(10), 75-78. <https://grnjournal.us/index.php/AJEMA/article/view/1879>
- [4] Kupareva, A., Mäki-Arvela, P. and Murzin, D.Y. (2013), Technology for re-refining used lube oils applied in Europe: a review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 88: 1780-1793. <https://doi.org/10.1002/jctb.4137>
- [5] J.Khayitov, T. Yuldashev, F.Buronov, B. Ismailov, Kh. Rakhimov, U.Bobomuradov, N.Avlayarova, Kh. Yunusov. Transition metal-catalyzed carbonylative coupling of aryl/alkyl halides with thiols: A straightforward synthesis of thioester derivatives // *J. Chemical Review and Letters*, 7 (2024) PP.333-345. <https://doi.org/10.22034/cr1.2024.448261.1311>
- [6] Cambiella, A.; Benito, J.M.; Pazos, C.; Coca, J. Centrifugal separation efficiency in the treatment of waste emulsified oils. *Chemical Engineering Research and Design*, 2006, 84(1), 69–76. <https://doi.org/10.1205/cherd.05130>.

- [7] Khatib, Z.I.; Faucher, M.S.; Sellman, E.L. Field evaluation of disc-stack centrifuges for separating oil/water emulsions on off-shore platforms. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Texas, October 1995. doi: <https://doi.org/10.2118/30674-MS>
- [8] Dong, H.; Wan, R.; Huang, C.; Liu, S.; Luo, S.; Chen, L.; Li, S.; Song, X. Numerical study of internal flow field in a disc stack centrifuge based on Mixture-PBM model. *Applied Sciences* 2024, 14(17), 8070. <https://doi.org/10.3390/app14178070>
- [9] Zeng, X.; Zhao, L.; Fan, G.; Yan, C. Experimental study on the design of light phase outlets for a novel axial oil-water separator. *Chemical Engineering Research and Design* 2021, 165, 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.11.008>.
- [10] Cao, Y., Yan, F., Li, J., Liang, X., & He, B. Used lubricating oil recycling using a membrane filtration: Analysis of efficiency, structural and composing. *Desalination and Water Treatment* 2012, 11(1–3), 73–80. DOI: 10.5004/dwt.2009.845. <https://doi.org/10.5004/dwt.2009.845>
- [11] Sarkar, S.; Datta, D.; Das, B. Advance recovery approach for efficient recovery of waste lubricating oil by different material formulations. *Materials Today: Proceedings* 2022, 49(5), 1891–1898. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.078>.
- [12] K. M. Tharwat, F. H. Ashour, N. F. Abdelsalam, and S. M. S. Abdel-Hamid, “Recent Advances in Refining of Waste Lubricating Oil: A Comprehensive Review.” *Chemical Engineering & Technology* 49, no. 8 (2026): e70282. <https://doi.org/10.1002/ceat.70282>
- [13] Bhaskar, T.; Uddin, M.A.; Muto, A.; et al. Recycling of waste lubricant oil into chemical feedstock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. *Fuel* 2004, 83(1), 9–15. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00216-3](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00216-3).
- [14] Carolina T. Pinheiro, Rodrigo F. Pais, Margarida J. Quina, Licínio M. Gando-Ferreira. Regeneration of waste lubricant oil with distinct properties by extraction-flocculation using green solvents. *Journal of Cleaner Production* 2018, 200, 578–587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.282>.
- [15] Juan A. Botas, Jovita Moreno, Juan J. Espada, David P. Serrano, Javier Dufour. Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA. *Resources, Conservation and Recycling* 2017, 125, 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.010>.
- [16] Moses, K.; Aliyu, A.; Hamza, A.; Mohammed-Dabo, I.A. Recycling of waste lubricating oil: A review of the recycling technologies with a focus on catalytic cracking, techno-economic and life cycle assessments. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2023, 11(6), 111273. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111273>
- [17] García-Gutiérrez, P.; Tonini, D.; Klenert, D.; Marschinski, R.; Saveyn, H.G.M. Environmental and economic assessment of waste lubricant oil management in the EU. *Journal of Cleaner Production* 2025, 492, 144878. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144878>
- [18] K. M. Tharwat, F. H. Ashour, N. F. Abdelsalam, and S. M. S. Abdel-Hamid, “Recent Advances in Refining of Waste Lubricating Oil: A Comprehensive Review.” *Chemical Engineering & Technology* 49, no. 8 (2026): e70282. <https://doi.org/10.1002/ceat.70282>
- [19] Bao Yu, Ye Peng, Haifeng Gong, Yunqi Liu. Evaluation of the techno-economic and environmental performance of all-component recycling process for waste lubricating oil. *Separation and Purification Technology*, Volume 2023, 312, 123402, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123402>
- [20] Cabrera-Escobar, C.; Moreno-Gutiérrez, J.; Rodríguez-Moreno, R.; Pájaro-Velázquez, E.; Calderay-Cayetano, F.; Durán-Grados, V. Environmental Risks and Sustainable Management Pathways for Used Lubricating Oils: A Structured Review with Conceptual Spill Risk Analysis. *Recycling* 2026, 11, 47. <https://doi.org/10.3390/recycling11030047>