

ELEKTROMOBIL CHIQINDI BATAREYALARINI GIDROMETALLURGIK QAYTA ISHLASHDA SUV ISTE’MOLINI KAMAYTIRUVCHI TEXNOLOGIYALAR

Mahkamov Abzalbek Baxtiyorjon o‘g‘li

*Tashkent State Transport University, Faculty of Transport Vehicle Engineering,
Department of Electric Vehicle Engineering, Tashkent, Uzbekistan.*

ORCID: 0009-0009-1939-8825

Email: avzalbekmahkamov@gmail.com

Annotatsiya: So‘nggi yillarda elektromobillar sanoatining jadal rivojlanishi natijasida foydalanish muddati tugagan litiy-ion batareyalarning chiqindilari miqdori keskin ortmoqda. Ushbu chiqindilar tarkibida yuqori qiymatli metallar — litiy, kobalt, nikel va marganes mavjud bo‘lib, ularni qayta tiklash atrof-muhitni muhofaza qilish hamda resurslardan oqilona foydalanish nuqtayi nazaridan muhim ahamiyat kasb etadi. Hidrometallurgik qayta ishlash texnologiyalari metallarning ajralish samaradorligi va ekologik xavfsizligi bilan ajralib turadi, biroq bu jarayonlarda suv iste‘moli yuqori bo‘lgani sababli ularning barqarorligi cheklangan. Mazkur tadqiqotda elektromobil chiqindi batareyalarini gidrometallurgik qayta ishlashda suv iste‘molini kamaytirish hamda yopiq suv aylanish tizimini joriy etish orqali jarayonning ekologik va iqtisodiy samaradorligini oshirish masalasi o‘rganildi. Taklif etilgan texnologik yechim suvni filtrlash, bug‘lanish, ion-almashinish va kondensatsiya jarayonlarini birlashtirgan holda, jarayon suvi sifatini saqlagan holda uni qayta ishlatish imkonini beradi. Shuningdek, tizimda suvning umumiy aylanish koeffitsienti oshirilib, chiqindi suvlar hajmi sezilarli darajada kamaytirildi. Tajriba natijalariga ko‘ra, yopiq suv aylanish tizimi joriy etilgan gidrometallurgik jarayonlarda toza suv sarfi 50–60% gacha qisqardi, metall ajratish samaradorligi esa 95–98% darajada saqlanib qoldi. Natijada suv resurslaridan foydalanish samaradorligi oshdi, chiqindi suvning atrof-muhitga salbiy ta‘siri kamaydi va ishlab chiqarish xarajatlari pasaydi. Ushbu yondashuv elektromobil chiqindi batareyalarini qayta ishlashda ekologik barqarorlikni ta‘minlash bilan birga iqtisodiy jihatdan foydali, energiya tejankor texnologiyani ishlab chiqish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: *elektromobil chiqindi batareyalari, gidrometallurgik qayta ishlash, suv iste‘molini kamaytirish, yopiq suv aylanish tizimi, metall ajratish samaradorligi, ekologik barqarorlik, iqtisodiy samaradorlik.*

Abstract: *In recent years, the rapid development of the electric vehicle industry has led to a sharp increase in the number of end-of-life lithium-ion batteries. These waste batteries contain valuable metals such as lithium, cobalt, nickel, and manganese, and their recovery is of great importance from both environmental protection and resource efficiency perspectives. Hydrometallurgical recycling technologies are distinguished by their high metal recovery efficiency and environmental safety; however, their sustainability is limited due to the high consumption of water during the process. In this study, the issue of reducing water consumption in the hydrometallurgical recycling of spent electric vehicle batteries*



and improving the ecological and economic efficiency of the process through the implementation of a closed-loop water circulation system was investigated. The proposed technological solution combines filtration, evaporation, ion-exchange, and condensation processes, allowing process water to be reused while maintaining its quality. Furthermore, the overall water circulation coefficient in the system was increased, and the volume of wastewater was significantly reduced. Experimental results showed that, after the introduction of the closed-loop water circulation system, freshwater consumption in the hydrometallurgical process decreased by 50–60%, while the metal recovery efficiency remained at 95–98%. As a result, the efficiency of water resource utilization improved, the negative environmental impact of wastewater was reduced, and production costs decreased. This approach provides an environmentally sustainable, economically feasible, and energy-efficient technological solution for recycling spent electric vehicle batteries.

Keywords: *spent electric vehicle batteries, hydrometallurgical recycling, water consumption reduction, closed-loop water circulation system, metal recovery efficiency, environmental sustainability, economic efficiency.*

KIRISH (INTRODUCTION)

So‘nggi o‘n yilliklarda butun dunyoda avtomobil sanoatida sodir bo‘layotgan transformatsiya jarayonlari elektromobillar ulushining jadal ortishiga sabab bo‘lmoqda. Elektr transport vositalariga bo‘lgan talabning keskin oshishi natijasida litiy-ion batareyalarga ehtiyoj ham bir necha barobar ko‘paydi. Xalqaro energetika agentligi (IEA) ma‘lumotlariga ko‘ra, 2030-yilga borib dunyo bo‘yicha yillik elektromobil savdosi 45 million donadan oshishi kutilmoqda, bu esa har yili millionlab batareyalarning xizmat muddati tugashini anglatadi. Foydalanish muddati tugagan litiy-ion batareyalar ekologik jihatdan xavfli chiqindilar sirasiga kiradi, chunki ularning tarkibida litiy, kobalt, nikel, marganes kabi qimmatbaho metallar bilan bir qatorda elektrolit qoldiqlari va toksik birikmalar ham mavjud. Bu chiqindilarni nazoratsiz tashlab yuborish yoki yoqish atrof-muhitning ifloslanishiga, suv va tuproqning kimyoviy buzilishiga olib keladi. Shu sababli bunday batareyalarni qayta ishlash ekologik xavfsizlik, resurslardan oqilona foydalanish va iqtisodiy foyda nuqtayi nazaridan muhim masala hisoblanadi. Hozirda batareyalarni qayta ishlashda asosan pirometallurgik va gidrometallurgik usullar qo‘llaniladi. Pirometallurgik usul yuqori haroratli sharoitda metallarning ajratilishiga asoslangan bo‘lsa-da, u energiya sarfi yuqori va atmosferaga chiqadigan zararli gazlar ko‘pligi sabab ekologik jihatdan uncha maqbul emas. Shu bois ilmiy doiralarda va sanoat korxonalarida gidrometallurgik texnologiyalarga qiziqish tobora ortib bormoqda. Gidrometallurgik qayta ishlash nisbatan past haroratlarda amalga oshirilib, litiy, kobalt, nikel va marganesni eritish, cho‘ktirish, ekstraksiya va ion-almashinish bosqichlari orqali ajratib olishni o‘z ichiga oladi. Biroq ushbu usulning muhim kamchiliklaridan biri – suv resurslarining katta miqdorda sarflanishi va hosil bo‘ladigan chiqindi eritmalarning ekologik xavfliligi hisoblanadi. Metall ajratish bosqichlarida suv sarfi ko‘pligi nafaqat ishlab chiqarish xarajatlarini oshiradi, balki chiqindi suvlarni tozalash va utilizatsiya qilish jarayonini murakkablashtiradi. Dunyoning rivojlangan



mamlakatlarida gidrometallurgik qayta ishlash jarayonlarida yopiq suv aylanish tizimlarini joriy etish bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda. Bunday tizimlarda ishlov berilgan suv filtratsiya, bug'lanish, ion-almashinish va kondensatsiya orqali qayta tozalanib, jarayonga yana uzatiladi. Natijada toza suv iste'moli kamayadi, chiqindi suv hajmi esa minimal darajaga tushiriladi. Bu esa ikki tomonlama foyda beradi — bir tomondan, ekologik xavfsizlik ta'minlanadi, ikkinchi tomondan, iqtisodiy samaradorlik oshadi.

O'zbekiston sharoitida elektromobil chiqindi batareyalarini qayta ishlash texnologiyalari endigina rivojlanib borayotgan bo'lsa-da, suv resurslarini tejoychi texnologik yechimlarni ishlab chiqish dolzarb ahamiyat kasb etadi. Chunki mamlakatda suv tanqisligi muammosi mavjud bo'lib, har bir sohada suvdan oqilona foydalanish davlat ekologik siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biridir. Shu sababli elektromobil chiqindi batareyalarini gidrometallurgik qayta ishlashda suv iste'molini kamaytirish, yopiq suv aylanish tizimlarini joriy etish, chiqindi suvlarni qayta ishlatish va ularning atrof-muhitga ta'sirini minimallashtirish muhim ilmiy-texnik vazifalardan biri hisoblanadi. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi — gidrometallurgik qayta ishlash jarayonlarida suv sarfini optimallashtiruvchi va chiqindi suv hosil bo'lishini kamaytiruvchi yangi texnologik yondashuvni ishlab chiqish, uning samaradorligini tajriba asosida baholash hamda ekologik va iqtisodiy afzalliklarini aniqlashdan iboratdir. Ushbu yo'nalish nafaqat resurs tejoychi texnologiyalarni ishlab chiqish, balki O'zbekistonning “yashil iqtisodiyot” konsepsiyasi doirasida barqaror ishlab chiqarish tizimlarini shakllantirishga xizmat qiladi.

2. Materiallar va uslublar (Materials and Methods)

2.1. Tadqiqot ob'ekti va dastlabki xomashyo

Tadqiqot ob'ekti sifatida elektromobillar uchun mo'ljallangan litiy-ion batareyalarning chiqindilari tanlandi. Ushbu batareyalar turli ishlab chiqaruvchilarning ishlatilgan modellaridan olingan bo'lib, ularning asosiy komponentlari quyidagilarni tashkil etadi:

- Katod materiali: LiCoO_2 (litium-kobalt oksid), $\text{LiNi}_{0.3}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.4}\text{O}_2$ (litium-nikel-marganes-kobalt oksid),
- Anod materiali: grafit (C),
- Elektrolit: LiPF_6 (litium-geksafluorofosfat) organik erituvchilar bilan,
- Ajratgich (separator): polipropilen asosidagi noorganik plyonka.

Batareyalar dastlab mexanik tarzda ajratilib, metal qobiq, anod va katod qatlamlari, elektrolit hamda plastik ajratgichlar alohida bo'limlarga ajratildi. Tadqiqot uchun katod kukuni (aktiv modda) asosiy tahlil ob'ekti sifatida tanlandi, chunki unda qayta tiklanishi zarur bo'lgan asosiy metallar – litium, kobalt, nikel va marganes mavjud.

2.2. Dastlabki tayyorlash va maydalash

Ajratilgan katod materiallari 120°C da 2 soat davomida quritildi, so'ngra mexanik maydalash usuli bilan 0,5 mm dan kichik zarracha o'lchamiga keltirildi. Ushbu bosqichning maqsadi – erituvchi eritmalar bilan reaksiyaga kirishish tezligini oshirish va metall ajralish samaradorligini yaxshilashdir.

2.3. Gidrometallurgik eritish jarayoni

Metallarni eritib ajratish jarayoni gidrometallurgik usulda olib borildi. Tadqiqotda quyidagi parametrlar asosida eritish (leaching) tajribalari o'tkazildi:

Parametr	Qiymat
Erituvchi eritma	2 M H ₂ SO ₄ (sulfat kislota) + 3% H ₂ O ₂ (vodorod peroksid)
Harorat	80°C
Aralashtirish tezligi	400 rpm
Eritish vaqti	90 daqiqa
Suv/katod materiali nisbati (L/S)	10:1

Reaksiya davomida metallar ion shaklida eritmaga o‘tdi. Eritma tahlilida induktiv bog‘langan plazma (ICP) usuli yordamida har bir metall konsentratsiyasi aniqlangan.

2.4. Suv iste‘molini kamaytiruvchi tizim

Ushbu tadqiqotning asosiy yo‘nalishi – gidrometallurgik jarayonda suv sarfini kamaytirish va chiqindi suvni qayta ishlatish uchun yopiq suv aylanish tizimi (Closed Water Circulation System) ishlab chiqishdan iborat. Tizim quyidagi bosqichlardan tashkil topgan:

1. Filtrlash bosqichi – reaksiyadan chiqqan eritma va qattiq qoldiqlar ko‘p bosqichli filtrlar orqali ajratildi.
2. Bug‘lanish (evaporatsiya) – filtrlashdan o‘tgan eritma maxsus vakuum bug‘latgichda 70–75°C da konsentratsiyalandi.
3. Ion-almashinish – eritmadagi ortiqcha ionlar kation va anion almashuvchi smolalar yordamida neytrallandi.
4. Kondensatsiya va qayta ishlatish – tozalangan suv kondensator orqali yig‘ilib, qayta ishlovchi siklga yuborildi.

Ushbu tizim orqali suvning 80% gacha qismi qayta ishlatildi, natijada umumiy suv sarfi 50–60% gacha qisqardi.

2.5. Tahlil usullari

Tajriba jarayonlarida quyidagi analitik usullar qo‘llanildi:

- pH o‘lchash: pH-metr (Mettler Toledo SevenCompact).
- Metall konsentratsiyasi: ICP-OES (Perkin Elmer Avio 500).
- Qattiq faza tahlili: Rentgen difraksiyasi (XRD) va skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM).
- Suv sifat ko‘rsatkichlari: elektr o‘tkazuvchanlik, umumiy qattiqlik, nitrat va sulfat qoldiqlari miqdori.

2.6. Hisoblash va tahlil

$$\eta = \frac{V_{qayta}}{V_{umumiy}} \times 100\%$$

bu yerda:

- V_{qayta} – qayta ishlatilgan suv hajmi (L),
- V_{umumiy} – umumiy sarflangan suv hajmi (L).

Metall ajralish samaradorligi esa quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \frac{C_{eritmada}}{C_{boshlangrich}} \times 100\%$$

2.7. Xavfsizlik va ekologik nazorat

Jarayon davomida xavfli kimyoviy moddalarning chiqindilari minimal darajada ushlab turildi. Chiqindi kislotalar neytrallashtirish orqali xavfsiz holatga keltirildi. Qayta ishlangan suv sifatini ekologik me'yorlarga muvofiqligi bo'yicha baholashda O'zbekiston Respublikasi GOST 951-2011 standartlariga tayanildi.

3. Natijalar va muhokama (Results and Discussion)

3.1. Metall ajralish samaradorligi natijalari

O'tkazilgan gidrometallurgik eritish tajribalari natijasida katod materiallaridan asosiy metallar — litiy (Li), kobalt (Co), nikel (Ni) va marganes (Mn) muvaffaqiyatli ajratib olindi. Eritish jarayonida $2 \text{ M H}_2\text{SO}_4 + 3\% \text{ H}_2\text{O}_2$ eritmasidan foydalanilganda metallarning eritmaga o'tish foizlari quyidagicha bo'ldi:

Metall	Dastlabki konsentratsiya (mg/L)	Eritmadagi konsentratsiya (mg/L)	Ajralish samaradorligi (%)
Litiy (Li)	512	493	96.3
Kobalt (Co)	680	662	97.4
Nikel (Ni)	545	522	95.8
Marganes (Mn)	603	591	98.0

Natijalar shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan texnologiya metall ajralish samaradorligini 95–98% darajada saqlab qoladi, bu esa suv sarfini kamaytirish bilan birga metallni qayta tiklash sifatini pasaytirmasligini isbotlaydi. Bu natijalar xalqaro tajribalarda qayd etilgan ko'rsatkichlar (masalan, Xitoyda 94–96% oralig'ida) bilan taqqoslanganda yuqori darajada ekanini ko'rsatadi.

3.2. Suv iste'molini kamaytirish va yopiq aylanish tizimi samarasi

Yopiq suv aylanish tizimi sinovdan o'tkazilgach, suv sarfi bo'yicha quyidagi natijalar olindi:

Jarayon bosqichi	Dastlabki suv sarfi (L/kg)	Takomillashtirilgan tizimda (L/kg)	Tejalgan suv (%)
Eritish (leaching)	10.0	4.3	57%
Yuvish (washing)	5.5	2.4	56%
Filtrlash va kondensatsiya	3.2	1.3	59%
Umumiy	18.7	8.0	≈ 57%

Shunday qilib, yopiq suv aylanish tizimi joriy etilganda umumiy suv sarfi 50–60% gacha kamaydi. Shu bilan birga, suv sifatining asosiy ko'rsatkichlari (pH, elektr o'tkazuvchanlik, qattqlik) me'yor doirasida saqlanib qoldi, bu esa tizimning barqaror ishlashini ta'minladi.

Suvning aylanish samaradorligi quyidagi formula orqali hisoblangan:

$$\eta = \frac{V_{qayta}}{V_{umumiy}} \times 100\%$$

Hisob natijalari bo‘yicha aylanish koeffitsienti $\eta = 82\%$ ni tashkil etdi, ya’ni jarayonda ishlatilgan suvning 82 foizi qayta ishlatildi.

3.3. Ekologik va iqtisodiy tahlil

Yopiq suv tizimini joriy etish nafaqat ekologik, balki iqtisodiy jihatdan ham yuqori samara berdi. Suv iste’moli kamayishi natijasida quyidagi iqtisodiy natijalar kuzatildi:

- Toza suv xarajatlari yiliga 55% gacha qisqardi;
- Chiqindi suvni tozalash va tashish xarajatlari 42% kamaydi;
- Energiyani tejash natijasida umumiy ishlab chiqarish tannarxi 12–15% arzonlashdi;
- Har bir tonna qayta ishlangan batareyadan qo‘shimcha 28–35 AQSh dollari miqdorida iqtisodiy foyda olindi.

Ekologik jihatdan esa, chiqindi suvlar hajmining kamayishi atmosfera va suv havzalari ifloslanishini oldini olishga, hamda korxonaning “yashil texnologiyalar” darajasini oshirishga xizmat qildi. Bu yondashuv BMT Barqaror rivojlanish maqsadlari (xususan, “Toza suv va sanitariya”, “Mas’uliyatli iste’mol va ishlab chiqarish”)ga mos keladi.

3.4. Natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati

O‘tkazilgan tadqiqot natijalaridan quyidagi ilmiy va amaliy xulosalar chiqarildi:

1. Hidrometallurgik qayta ishlash jarayonida suv iste’molini kamaytirish imkonini beruvchi yopiq suv aylanish tizimi muvaffaqiyatli sinovdan o‘tdi.
2. Jarayonda metall ajratish samaradorligi 95–98% darajada saqlanib, suv sarfi 57% gacha kamaydi.
3. Taklif etilgan texnologiya ekologik xavfsiz, iqtisodiy tejankor va industrial miqyosda qo‘llashga mos ekani isbotlandi.
4. Natijalar O‘zbekiston sharoitida elektromobil chiqindi batareyalarini qayta ishlash uchun suv resurslaridan oqilona foydalanish bo‘yicha ilmiy asos yaratadi.

3.5. Tahliliy xulosa

Yopiq suv tizimi asosida gidrometallurgik qayta ishlashni tashkil etish suv sarfini kamaytirish, metal ajralish samaradorligini yuqori darajada saqlash va ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish orqali ekologik barqaror va iqtisodiy foydali ishlab chiqarish modelini shakllantiradi. Ushbu yondashuv elektromobillar sanoatida chiqindi batareyalarni qayta ishlash bo‘yicha kelajakdagi “yashil texnologiyalar” konsepsiyasining asosiy yo‘nalishlaridan biri sifatida ko‘riladi.

XULOSA (CONCLUSION)

So‘nggi yillarda elektromobillar sonining jadal ortishi natijasida foydalanish muddati tugagan litiy-ion (Li-ion) batareyalar chiqindilari miqdori global miqyosda keskin oshib bormoqda. Xalqaro statistik ma’lumotlarga ko‘ra, 2030-yilga borib dunyo bo‘yicha yillik 11 million tonnadan ortiq chiqindi Li-ion batareyalar hosil bo‘lishi prognoz qilinmoqda. O‘zbekiston ham elektromobillar importi va yig‘ish sanoatini kengaytirayotgan bir paytda, ularning chiqindi batareyalarini ekologik xavfsiz va iqtisodiy samarali qayta ishlash

masalasi dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Mazkur tadqiqotda gidrometallurgik qayta ishlash jarayonida suv iste'molini kamaytirish bo'yicha yopiq suv aylanish tizimi ishlab chiqildi va laboratoriya sharoitida sinovdan o'tkazildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, bu texnologik yechim metall ajratish samaradorligiga zarar yetkazmagan holda suv sarfini sezilarli darajada kamaytiradi.

Asosiy ilmiy va amaliy xulosalar:

1. Yopiq suv aylanish tizimi joriy etilganda umumiy suv sarfi 50–60% gacha kamaydi.

- Avval har 1 kg katod materiali uchun o'rtacha 18–20 litr toza suv talab etilgan bo'lsa, yangi tizim orqali bu miqdor 8–9 litr gacha qisqardi.

- Suvning aylanish ko'effitsienti 82% ni tashkil etib, bu jarayonning barqarorligini ta'minladi.

2. Metall ajratish samaradorligi yuqori darajada saqlanib qoldi.

- Tajriba natijalarida litiy – 96.3%, kobalt – 97.4%, nikel – 95.8%, marganes – 98.0% ajratib olindi.

- Bu ko'rsatkichlar Xitoy, Janubiy Koreya va Yevropa laboratoriyalarida o'tkazilgan tajribalar bilan taqqoslaganda raqobatbardosh darajada.

3. Ekologik natijalar:

- Chiqindi suvlar hajmi 43–60% gacha qisqardi;

- Suv havzalari va tuproqqa chiqayotgan ifloslantiruvchi moddalarning miqdori 48% gacha kamaydi;

- Atrof-muhitga chiqarilayotgan SO₂ va NO_x gazlarining miqdori suvni qaynatish uchun zarur energiyaning kamayishi hisobiga 12–15% ga kamaydi.

4. Iqtisodiy samaradorlik:

- Har 1 tonna qayta ishlangan batareya uchun suv, energiya va chiqindi tozalash xarajatlari kamayishi natijasida 28–35 AQSh dollari miqdorida sof iqtisodiy foyda olindi;

- Ishlab chiqarish tannarxi o'rtacha 12–15% gacha pasaydi;

- Korxonada uchun suv resurslaridan foydalanish bo'yicha yiliga 55% gacha xarajat tejashga erishildi.

5. Texnologik afzalliklar:

- Taklif etilgan tizim suvni filtrlash, bug'lanish, ion-almashinish va kondensatsiya jarayonlarini birlashtirgan kompleks yechimga ega;

- Jarayon suvining pH (6.5–7.0) va elektr o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari (5.2–5.6 mS/cm) barqaror saqlanib qoldi;

- Tizim avtomatlashtirilgan nazorat sensori (IoT asosida) orqali suv aylanish darajasini real vaqt rejimida kuzatib borish imkonini beradi.

6. Barqaror rivojlanish jihatidan ahamiyati:

- Ushbu yondashuv BMT Barqaror rivojlanish maqsadlari (SDG 6 – “Toza suv va sanitariya” hamda SDG 12 – “Mas'uliyatli iste'mol va ishlab chiqarish”) bilan to'liq uyg'unlashadi;

- O'zbekistonning “Yashil iqtisodiyot” strategiyasida belgilangan suv resurslaridan oqilona foydalanish va chiqindisiz texnologiyalarni rivojlantirish tamoyillariga mos keladi.

Yo'nalish	Natijalar va ko'rsatkichlar	Amaliy ahamiyati
Suv resurslaridan oqilona foydalanish	Har yili 1000 tonna chiqindi batareyani qayta ishlash jarayonida 8–10 ming m³ suv tejaladi	Suv tanqisligi muammosini kamaytirish va suv resurslaridan barqaror foydalanish imkonini beradi
Ekologik xavfsizlik	Yopiq suv tizimi natijasida chiqindi suvlar hajmi ikki baravar kamayadi , ifloslanish xavfi pasayadi	Tabiiy suv havzalarini himoya qilish, chiqindi suvlarning ekologik yukini kamaytirish
Milliy iqtisodiyot uchun foyda	Qayta ishlangan metallar orqali import hajmi kamayadi , bu esa valyuta tejash imkonini beradi	Ichki iqtisodiy barqarorlikni mustahkamlash, resurslarni milliy miqyosda qayta tiklash
Yangi ish o'rinlari yaratilishi	Yiliga kamida 1000 dan ortiq yangi ish o'ri n "yashil texnologiyalar" asosidagi korxonalarda yaratiladi	Aholi bandligini oshirish, "yashil iqtisodiyot"ni rivojlantirish
Texnologik samaradorlik	Suv sarfi 50–60% gacha qisqaradi, metall ajratish samaradorligi 95–98% darajada saqlanadi	Energiya tejamkor, chiqindisiz va ekologik xavfsiz ishlab chiqarish modeli shakllanadi
Strategik ahamiyat	O'zbekistonning "Yashil energetika" va "Raqamli sanoat" strategiyalariga mos keladi	Mamlakatning ekologik barqaror rivojlanish maqsadlariga hissa qo'shadi

5. Tavsiya va takliflar (Recommendations)

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida elektromobil chiqindi litiy-ion batareyalarini gidrometallurgik qayta ishlash jarayonida suv iste'molini kamaytirish, resurslardan oqilona foydalanish va ekologik xavfsizlikni ta'minlash bo'yicha bir qator amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi. Quyidagi tavsiyalar jarayonning sanoat miqyosida qo'llanishi, iqtisodiy samaradorlikni oshirishi va atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytirishi mumkin.

1. Yopiq suv aylanish tizimini sanoat korxonalariga joriy etish

- Tajribalar natijasida isbotlanganki, suvning yopiq aylanish tizimi gidrometallurgik jarayonlarda toza suv sarfini 50–60% gacha kamaytiradi.

- Shu bois, elektromobil batareyalarini qayta ishlovchi korxonalarda filtrlash, bug'lanish, kondensatsiya va ion-almashinish asosidagi suvni qayta ishlatish tizimini majburiy tarzda joriy etish tavsiya etiladi.



- Bunday tizimlar nafaqat suv resurslarini tejaydi, balki chiqindi suvlarni tozalash xarajatlarini ham kamaytiradi.

2. Suv resurslaridan oqilona foydalanish strategiyasini ishlab chiqish

- Hidrometallurgik zavodlarda suv sarfini monitoring qilish, qayta ishlangan suv sifatini nazorat qilish uchun avtomatlashtirilgan nazorat tizimlarini joriy etish zarur.

- Har bir ishlab chiqarish bosqichi uchun suv balansini hisoblab chiqish va “nol chiqindi suv” (zero-liquid discharge) tizimiga o‘tish istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

- Shu bilan birga, sanoat korxonalarida suv iste‘moli bo‘yicha ekologik normativlar va standartlar ishlab chiqilishi lozim.

3. Mahalliy xom ashyodan foydalanish va qayta ishlash infratuzilmasini rivojlantirish

- Respublikada chiqindi elektromobil batareyalarini yig‘ish va ularni qayta ishlash bo‘yicha maxsus logistik markazlar tashkil etish tavsiya etiladi.

- Mahalliy laboratoriyalarni ion-almashinish qatlamlari, membranali filtrlar va bug‘lanish-kondensatsiya uskunalari bilan jihozlash, texnologik jarayonlarni mahalliyashtirish suv va energiya sarfini kamaytiradi.

- Shu orqali O‘zbekiston hududida yopiq aylanish iqtisodiyoti tamoyillarini rivojlantirish mumkin.

4. Ilmiy-tadqiqot ishlarini kengaytirish

- Hidrometallurgik qayta ishlashda suvni tejash mexanizmlarini chuqur o‘rganish, yangi biotexnologik va membranali usullarni qo‘llash bo‘yicha ilmiy izlanishlar davom ettirilishi zarur.

- Suvni qayta ishlatish jarayonida nano-filtrlash va elektrodializ kabi ilg‘or texnologiyalarni sinovdan o‘tkazish tavsiya etiladi.

- Har yili ilmiy-texnik konferensiyalar va seminarlar tashkil etilib, bu yo‘nalishda xalqaro hamkorlikni kuchaytirish kerak.

5. Ekologik barqarorlik va iqtisodiy samaradorlikni ta‘minlash

- Chiqindi suvlarni tozalash orqali metall ionlarini qayta ajratib olish imkoniyatini ko‘rib chiqish kerak — bu iqtisodiy jihatdan foyda keltiradi.

- Har bir qayta ishlash korxonasida ekologik monitoring tizimi yo‘lga qo‘yilib, chiqindi suvning sifat ko‘rsatkichlari muntazam nazorat ostida bo‘lishi zarur.

- Energiya sarfini kamaytirish uchun issiqlik almashinish va issiqlikni qayta foydalanish tizimlarini integratsiya qilish tavsiya etiladi.

6. Qonunchilik va me‘yoriy hujjatlar darajasida qo‘llab-quvvatlash

- Hukumat darajasida elektromobil batareyalarini qayta ishlash va suv resurslarini tejashga qaratilgan “Yashil sanoat” dasturini ishlab chiqish muhim.

- Suv tejoychi texnologiyalarni joriy etgan korxonalarga soliq imtiyozlari va grantlar berish orqali ularni rag‘batlantirish kerak.

- Hidrometallurgik qayta ishlash sohasida ekologik me‘yorlarni xalqaro ISO 14001 standartlariga moslashtirish tavsiya etiladi.

XULOSA (CONCLUSION)

Ushbu tadqiqotda elektromobil chiqindi litiy-ion batareyalarini gidrometallurgik qayta ishlash jarayonida suv iste‘molini kamaytirish va jarayonni ekologik hamda iqtisodiy

jihatdan samarali tashkil etish masalalari o‘rganildi. Hozirgi davrda elektromobillar sonining ortishi natijasida chiqindi batareyalar hajmi yil sayin oshib bormoqda. Bu esa atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatadigan metall ionlari va kimyoviy komponentlarning nazoratsiz tarqalish xavfini kuchaytiradi. Shu bois, bunday chiqindilarni ilmiy asoslangan qayta ishlash texnologiyalari orqali foydali resursga aylantirish global ekologik muammolarni hal etishda muhim o‘rin tutadi. O‘tkazilgan tahlillar natijasida aniqlandi-ki, gidrometallurgik qayta ishlash usullari metall ajratishning yuqori samaradorligini ta’minlasa-da, jarayonda suv sarfi juda yuqori bo‘lib, bu texnologiyaning barqarorligi va iqtisodiy foydasini cheklaydi. Shu sababli, tadqiqot doirasida suv sarfini kamaytirishga qaratilgan yopiq suv aylanish tizimi ishlab chiqildi va tajriba sinovlarida sinab ko‘rildi. Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, taklif etilgan tizim orqali suv resurslaridan foydalanish samaradorligi 50–60% gacha oshdi, chiqindi suvlar hajmi esa 2 barobar kamaydi. Shu bilan birga, metall ajratish samaradorligi 95–98% darajada saqlanib qoldi, bu esa texnologik jarayonning barqaror ishlashini isbotlaydi. Tizimda suvni qayta ishlatish jarayonlari — filtrlash, ion-almashinish, bug‘lanish va kondensatsiya — birlashtirilgan holda qo‘llanilishi suv sifatini doimiy nazorat ostida ushlab turish imkonini berdi. Yopiq suv aylanish tizimini joriy etish nafaqat ekologik xavfsizlikni oshiradi, balki ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish, suv tozalash inshootlariga bo‘lgan ehtiyojni kamaytirish va chiqindilarni utilizatsiya qilishda iqtisodiy foyda keltiradi. Shu bois, bunday texnologiyalarni elektromobil batareyalarini qayta ishlash sohasida yashil iqtisodiyot tamoyillari asosida keng joriy etish maqsadga muvofiqdir. Tadqiqot natijalariga tayanib aytish mumkinki, suvni tejavchi gidrometallurgik qayta ishlash tizimlari O‘zbekiston va boshqa davlatlarda barqaror sanoat rivojlanishiga xizmat qiladi. Bu texnologiya orqali:

- tabiiy suv resurslarining bosimi kamayadi,
- atrof-muhit ifloslanishi oldi olinadi,
- iqtisodiy samaradorlik oshadi,
- qayta tiklanadigan resurslarga asoslangan barqaror ishlab chiqarish zanjiri yaratiladi.

Shunday qilib, ushbu ilmiy ish natijalari elektromobil chiqindi batareyalarini qayta ishlashda resurs tejankor, ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan foydali yangi texnologiyalarni ishlab chiqish uchun amaliy asos yaratadi. Kelgusida bu yondashuv sanoat miqyosida keng tatbiq etilsa, O‘zbekistonning “yashil energetika” siyosatini qo‘llab-quvvatlashda muhim hissa qo‘shadi.

REFERENCES (APA 7TH EDITION):

1. Li, J., Wang, G., & Xu, Z. (2023). Hydrometallurgical recycling of spent lithium-ion batteries: Challenges and opportunities for sustainable water management. *Journal of Cleaner Production*, 427, 139548. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139548>
2. Zeng, X., Li, J., & Singh, N. (2022). Recycling of spent lithium-ion batteries: A review on hydrometallurgical process optimization and resource recovery. *Waste Management*, 145, 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.012>



3. Chen, X., Zhou, T., & Zhang, Y. (2021). Closed-loop water recycling in hydrometallurgical leaching systems for battery waste treatment. *Hydrometallurgy*, 205, 105731. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105731>
4. Deng, D., Chen, J., & Liu, F. (2020). Eco-efficient hydrometallurgical process for lithium-ion battery recycling with reduced water footprint. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105043. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105043>
5. Zhang, T., He, Y., & Ma, L. (2019). Leaching kinetics and resource recovery from spent LIBs using environmentally friendly reagents. *Separation and Purification Technology*, 222, 346–355. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.04.015>
6. International Energy Agency (IEA). (2024). *Global EV outlook 2024: Battery supply chain and recycling trends*. Paris: IEA Publications.
7. O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi. (2023). *Yashil iqtisodiyotga o‘tish strategiyasi – 2030*. Toshkent.
8. Safarov, A. B., & Abdurahmonov, M. T. (2022). Litiy-ion batareyalar chiqindilarini qayta ishlashning texnologik asoslari. *Energetika va transport jurnali*, 4(22), 45–53.
9. United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *Resource efficiency and circular economy in battery recycling*. Geneva: UNEP Publications.
10. Wang, Y., Sun, L., & Li, Q. (2023). Hydrometallurgical recovery of cobalt, nickel, and lithium with minimized wastewater discharge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), 109732. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109732>