IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 21 Issue 2 May 2026

ISHLAB CHIQARISH SANOATI CHIQINDILARIDAN LITIY IONLARINI AJRATIB OLISHDA GIDROMETALLURGIK USULLARNING SAMARADORLIGINI TADQIQ QILISH

Komilov Botir Asqar o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti, assistent
Email**:** b.komilov@kstu.uz
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20224994

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot ishida ishlab chiqarish sanoati chiqindilari va foydalanish muddati tugagan litiy-ionli batareyalardan litiy ionlarini gidrometallurgik usullar yordamida ajratib olish samaradorligi o‘rganildi. Tadqiqot davomida batareya chiqindilariga dastlab termik ishlov berilib, keyinchalik sulfat kislotali eritmalarda eritish jarayonlari amalga oshirildi. Jarayon parametrlarining, jumladan, harorat, eritish davomiyligi, kislota konsentratsiyasi va qaytaruvchi reagentlarning litiy ionlarining eritmaga o‘tish darajasiga ta’siri tahlil qilindi. Natijalar termik ishlov berish metall oksidlarning faol yuzasini oshirishini va gidrometallurgik eritish samaradorligini yaxshilashini ko‘rsatdi. Vodorod peroksid qo‘llanilganda litiy bilan bir qatorda nikel, kobalt va marganes ionlarining eritmaga o‘tish darajasi ortishi aniqlandi. Olingan natijalar gidrometallurgik texnologiyalar energiya sarfining kamligi, ekologik xavfsizligi hamda qimmatbaho metall resurslarini qayta tiklash imkoniyati bilan istiqbolli usul ekanligini tasdiqladi.

Kalit so‘zlar: litiy-ionli batareya, gidrometallurgiya, sulfat kislota, termik ishlov, litiy ionlari, metall ajratib olish, sanoat chiqindilari

KIRISH

So‘nggi yillarda litiy-ionli akkumulyatorlar yuqori energiya sig‘imi, uzoq xizmat muddati, kam o‘z-o‘zidan razryadlanishi hamda ekologik jihatdan nisbatan samaradorligi sababli elektronika, elektrotransport va energiya saqlash tizimlarida keng qo‘llanilmoqda. Mobil qurilmalar, elektr avtomobillari va qayta tiklanuvchi energiya manbalarining jadal rivojlanishi litiy-ionli batareyalarga bo‘lgan talabning keskin ortishiga olib kelmoqda. Natijada foydalanish muddati tugagan akkumulyatorlar hajmi ham yil sayin ko‘payib, ularni qayta ishlash masalasi dolzarb ilmiy va texnologik muammolardan biriga aylanmoqda.

Ishlatilgan litiy-ionli batareyalar tarkibida litiy, kobalt, nikel, marganes, mis va alyuminiy kabi qimmatbaho metall komponentlar mavjud bo‘lib, ular sanoat uchun muhim ikkilamchi xomashyo hisoblanadi. Shu bilan birga, batareyalar tarkibidagi elektrolitlar va og‘ir metallar atrof-muhit hamda inson salomatligi uchun xavf tug‘dirishi mumkin. Agar bunday chiqindilar nazoratsiz ravishda utilizatsiya qilinsa, tuproq va suv resurslarining ifloslanishi, toksik moddalarning tarqalishi kabi salbiy ekologik oqibatlar yuzaga keladi. Shu sababli, ishlab chiqarish va texnogen chiqindilar tarkibidan foydali komponentlarni samarali ajratib olish nafaqat iqtisodiy, balki ekologik jihatdan ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozirgi kunda litiy-ionli batareyalarni qayta ishlashda pirometallurgik, gidrometallurgik va kombinatsiyalashgan texnologiyalar keng tadqiq qilinmoqda. Pirometallurgik usullar yuqori haroratlarda amalga oshirilishi va katta energiya sarfini talab qilishi bilan tavsiflansa, gidrometallurgik texnologiyalar nisbatan past haroratda olib borilishi, metallarning selektiv ajralishi hamda iqtisodiy samaradorligi bilan ajralib turadi. Ayniqsa, kislotalar yordamida eritmaga o‘tkazish, cho‘ktirish, ekstraksiya va ion almashinish jarayonlariga asoslangan gidrometallurgik usullar litiy va boshqa rangli metall ionlarini yuqori darajada ajratib olish imkonini beradi.

Gidrometallurgik qayta ishlash texnologiyalarining yana bir muhim afzalligi energiya sarfining kamligi va atmosferaga zararli gazlarning minimal miqdorda ajralishidir. Jarayon parametrlarini optimallashtirish orqali metallarning eritmaga o‘tish darajasi sezilarli oshiriladi hamda reagent sarfi kamaytiriladi. Shu bois, ishlab chiqarish sanoati chiqindilaridan litiy ionlarini ajratib olishda gidrometallurgik yondashuvlar istiqbolli yo‘nalishlardan biri sifatida qaralmoqda.

Mazkur tadqiqot ishining asosiy мақсади ishlab chiqarish sanoati chiqindilari tarkibidagi litiy ionlarini gidrometallurgik usullar asosida ajratib olish jarayonining samaradorligini o‘rganish, texnologik parametrlarning ta’sirini aniqlash hamda optimal sharoitlarni ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot natijalari ikkilamchi xomashyolardan oqilona foydalanish, qimmatbaho metall resurslarini qayta tiklash va ekologik xavfsizlikni ta’minlashga xizmat qiladi.

MATERIALLAR VA TADQIQOT USULLARI

Mazkur tadqiqot ishida ishlab chiqarish sanoati chiqindilari hamda foydalanish muddati tugagan litiy-ionli batareyalar asosiy tadqiqot obyekti sifatida tanlab olindi. Dastlab batareyalarning tashqi plastik qoplamalari ajratib olindi, so‘ngra elektrolit qoldiqlarini kamaytirish maqsadida quritish va bug‘latish ishlari amalga oshirildi. Batareyalarning anod va katod qismlari mexanik usulda ajratilib, elektrod materiallari maydalash hamda elash jarayonlaridan o‘tkazildi. Olingan namunalarning granulometrik tarkibini bir xillash maqsadida laboratoriya maydalagichlaridan foydalanildi. Tayyorlangan namunalar keyingi termik va gidrometallurgik tadqiqotlar uchun saqlandi.

Namunalarga dastlab termik ishlov berish jarayoni qo‘llanildi. Jarayon laboratoriya mufel pechida turli harorat rejimlarida olib borildi. Tadqiqot davomida namunalar 400–700 °C harorat oralig‘ida ma’lum vaqt davomida qizdirildi. Termik ishlov berishning asosiy мақсади elektrod tarkibidagi organik birikmalar, bog‘lovchi moddalar hamda elektrolit qoldiqlarini parchalanishga uchratish va metall oksidlarning keyingi eritish jarayonidagi faolligini oshirishdan iborat bo‘ldi. Qizdirish natijasida material tarkibidagi ayrim organik komponentlarning parchalanishi hamda faol metall fazalarning ochilishi kuzatildi.

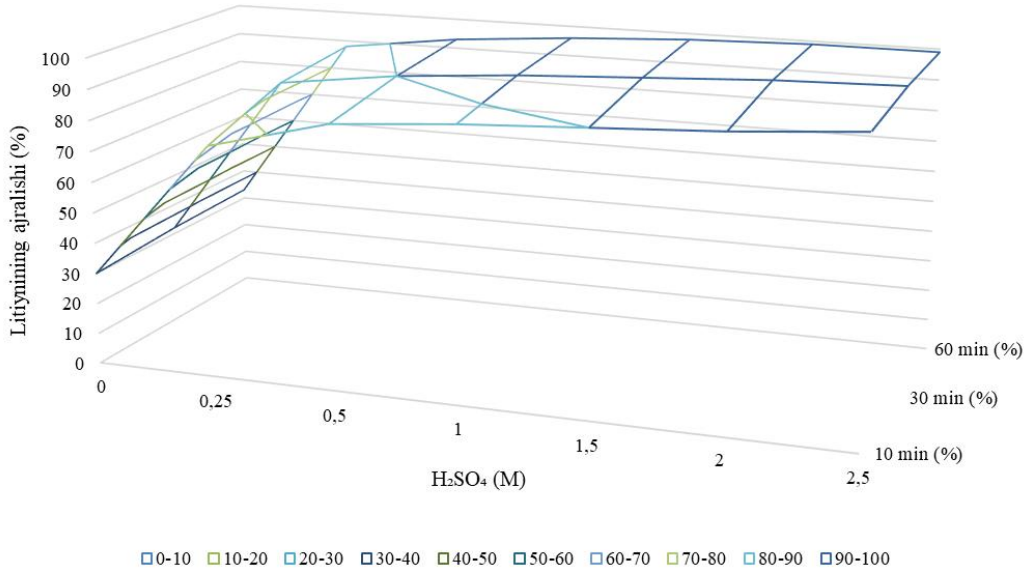
Litiy ionlarini eritmaga o‘tkazish gidrometallurgik usullar asosida amalga oshirildi. Eritish jarayonida sulfat kislotali eritmalardan foydalanildi va tajribalar aralashtirgich hamda haroratni nazorat qilish tizimi bilan jihozlangan laboratoriya reaktorida olib borildi. Jarayon davomida eritma konsentratsiyasi, harorat, qattiq va suyuq faza nisbati, aralashtirish tezligi hamda jarayon davomiyligining metallarning eritmaga o‘tish darajasiga ta’siri o‘rganildi. Ayrim tajribalarda qaytaruvchi reagent sifatida vodorod peroksid qo‘llanilib, uning metall oksidlarning parchalanishi va litiy ionlarining eritmaga ajralish samaradorligiga таъсири baholandi. Tajribalar asosan 50–90 °C harorat oralig‘ida olib borildi va ma’lum vaqt oralig‘ida eritmadan namunalar olinib kimyoviy tahlillar bajarildi.

Tadqiqot davomida olingan eritmalar tarkibidagi litiy va boshqa metall ionlarining miqdori zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullari yordamida aniqlandi. Qattiq qoldiqlarning fazaviy tarkibi rentgen-difraksion tahlil asosida o‘rganildi, namunalar yuzasining morfologik holati esa elektron mikroskop yordamida tahlil qilindi. Olingan natijalar asosida gidrometallurgik jarayon parametrlarining litiy ionlarini ajratib olish samaradorligiga ta’siri baholandi hamda texnologik jihatdan optimal sharoitlar aniqlandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tadqiqot davomida ishlab chiqarish sanoati chiqindilaridan litiy ionlarini gidrometallurgik usullar yordamida ajratib olish jarayonining asosiy texnologik parametrlari o‘rganildi. Olingan natijalar termik ishlov berish jarayoni metallarning eritmaga o‘tish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Namunalarni 500–700 °C harorat oralig‘ida qizdirish natijasida

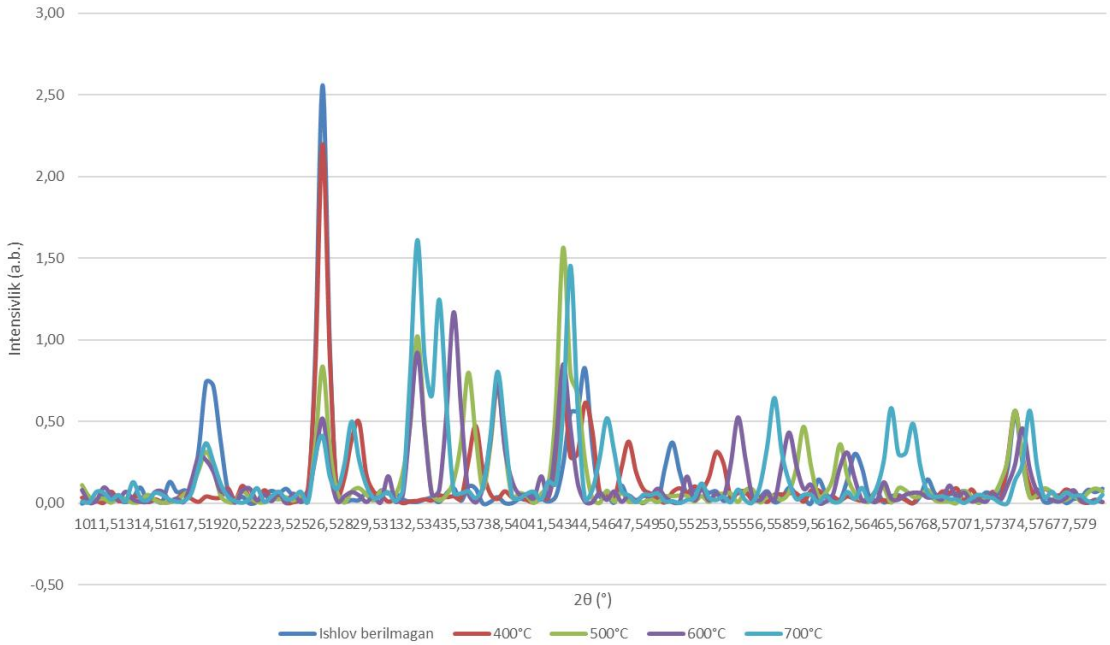
organik birikmalar va bog‘lovchi moddalar parchalanib, metall oksidlarning faol yuzasi ortgani kuzatildi. Ayniqsa, 600 °C atrofidagi termik ishlov berish sharoitida litiy ionlarining eritmaga o‘tish darajasi yuqori bo‘ldi.



1-rasm. Sulfat kislota konsentratsiyasi va eritish davomiyligining litiy ajralish samaradorligiga ta’siri

Gidrometallurgik eritish jarayonida sulfat kislotaning konsentratsiyasi va eritish davomiyligi litiy ajralish samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatdi. Tajribalar davomida kislota konsentratsiyasi ortishi bilan metallarning eritmaga o‘tish darajasi ham oshgani aniqlandi. Biroq juda yuqori konsentratsiyalarda reagent sarfining ortishi iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emasligi kuzatildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, 2 M gacha bo‘lgan sulfat kislota eritmalari litiy ionlarini samarali eritishga yetarli natija berdi.

Eritish haroratining oshirilishi ham jarayon kinetikasini tezlashtirdi. 50–90 °C oralig‘ida olib borilgan tajribalarda yuqori haroratlarda litiy ionlarining eritmaga o‘tish tezligi ortishi qayd etildi. Shu bilan birga, eritish vaqtining uzayishi dastlab ajralish samaradorligini oshirgan bo‘lsa-da, ma’lum vaqt o‘tgach jarayon barqarorlashgani kuzatildi. Bu holat eritmadagi faol ionlar konsentratsiyasining muvozanat holatiga yaqinlashishi bilan izohlanadi.



2-rasm. Termik ishlov haroratining namunalar fazaviy tarkibiga ta’sirini aks ettiruvchi rentgenogrammalar

Tadqiqot davomida vodorod peroksid qaytaruvchi reagent sifatida qo‘llanilganda metall oksidlarning parchalanishi tezlashgani va litiy ionlarining eritmaga o‘tish darajasi ortgani aniqlandi. Eritish jarayonida quyidagi reaksiyalar sodir bo‘lishi kuzatildi:

$$LiCoO_2 + 2H_2SO_4 + H_2O_2 \rightarrow Li_2SO_4 + CoSO_4 + 3H_2O + O_2$$

$$NiO + H_2SO_4 \rightarrow NiSO_4 + H_2O$$

$$MnO + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + H_2O$$

Mazkur reaksiyalar natijasida litiy, nikel, kobalt va marganes ionlari eritmaga sulfat tuzlari ko‘rinishida o‘tdi. Termik ishlov va gidrometallurgik eritish jarayonlarini birgalikda qo‘llash natijasida litiy ajralish ko‘rsatkichi sezilarli darajada oshdi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqarish sanoati chiqindilarini dastlab termik aktivlashtirish va undan keyin kislotali eritish asosida qayta ishlash litiy ionlarini samarali ajratib olish imkonini beradi. Mazkur usul energiya sarfini kamaytirish, qimmatbaho metall resurslarini qayta tiklash hamda ekologik xavfsizlikni ta’minlash nuqtai nazaridan istiqbolli texnologik yechim hisoblanadi.

XULOSA

Mazkur tadqiqotda ishlab chiqarish sanoati chiqindilari va foydalanish muddati tugagan litiy-ionli batareyalardan litiy ionlarini gidrometallurgik usullar asosida ajratib olish samaradorligi o‘rganildi. Tadqiqot natijalari termik ishlov berish va kislotali eritish jarayonlarini birgalikda qo‘llash metallarning eritmaga o‘tish darajasini oshirishini ko‘rsatdi. Ayniqsa, 500–700 °C harorat oralig‘idagi termik ishlov hamda 2 M gacha bo‘lgan H_2SO_4 eritmalari litiy ionlarini samarali ajratib olish uchun maqbul sharoit ekanligi aniqlandi. Tadqiqot davomida vodorod peroksid qo‘llanilganda litiy, nikel, kobalt va marganes ionlarining eritmaga o‘tish darajasi oshgani kuzatildi. Olingan natijalar gidrometallurgik texnologiyalar energiya sarfining kamligi, ekologik xavfsizligi va qimmatbaho metall resurslarini qayta tiklash imkoniyati bilan istiqbolli usul ekanligini tasdiqladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Chen, X., Chen, Y., Zhou, T., Liu, D., Hu, H., & Fan, S. (2015). Hydrometallurgical recovery of metal values from sulfuric acid leaching liquor of spent lithium-ion batteries. Waste Management, 38, 349–356. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.023
2. Contestabile, M., Panero, S., & Scrosati, B. (2001). A laboratory-scale lithium-ion battery recycling process. Journal of Power Sources, 92(1–2), 65–69. https://doi.org/10.1016/S0378-7753(00)00523-1
3. Demarco, J., Innocenti, V., Ippolito, N. M., De Michelis, I., Medici, F., & Vegliò, F. (2019). Chemical and biological treatment of spent lithium-ion batteries. Waste Management, 87, 318–326. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.008
4. Хужакулов, Н. Б., Рузиев, У. М., & Насирова, Н. Р. (2021). Исследования влияния качества биокека на показатели сорбционного выщелачивания. Universum: технические науки, (5-2 (86)), 20-23.
5. Li, L., Bian, Y., Zhang, X., Guan, Y., Fan, E., Wu, F., & Chen, R. (2018). Economical recycling process for spent lithium-ion batteries and macro- and micro-scale mechanistic study. Journal of Power Sources, 377, 70–79. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.11.080
6. Liu, C., Lin, J., Cao, H., Zhang, Y., & Sun, Z. (2019). Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review. Journal of Cleaner Production, 228, 801–813. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.304
7. Abdisamievich, S. A., Mamarasulovich, R. U., & Azamatugli, K. O. (2025). DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING ALUMINA FROM LOCAL RAW MATERIALS. Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности, 3(2), 105-111.
8. Meshram, P., Pandey, B. D., & Mankhand, T. R. (2014). Hydrometallurgical processing of spent lithium-ion batteries: A review. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2(1), 8–20. https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.11.001
9. Ruziev, U. M. (2025). Enhancing Solid–Liquid Separation In Nitric Acid Leaching Of Low-Grade Alumina Ores.
10. Ordoñez, J., Gago, E. J., & Girard, A. (2016). Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 195–205. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.363
11. Scrosati, B., Hassoun, J., & Sun, Y. K. (2011). Lithium-ion batteries. A look into the future. Energy & Environmental Science, 4(9), 3287–3295. https://doi.org/10.1039/C1EE01388B
12. Sun, L., & Qiu, K. (2011). Vacuum pyrolysis and hydrometallurgical process for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries. Journal of Hazardous Materials, 194, 378–384. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.114
13. Wang, X., Gaustad, G., Babbitt, C. W., & Richa, K. (2014). Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure. Resources, Conservation and Recycling, 83, 53–62. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.009
14. Yang, Y., Huang, G., Xu, S., He, Y., & Liu, X. (2016). Thermal treatment process for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries. Hydrometallurgy, 165, 390–396. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.09.026
15. Zhang, P., Yokoyama, T., Itabashi, O., Suzuki, T. M., & Inoue, K. (1998). Hydrometallurgical process for recovery of metal values from spent lithium-ion secondary batteries. Hydrometallurgy, 47(2–3), 259–271. https://doi.org/10.1016/S0304-386X(97)00050-9