

ELEKTROKIMYOVIY ENERGIYA SAQLOVCHI QURILMALAR UCHUN  
MAHALLIY MATERIALLARDAN SUPERKONDENSATORLAR ISHLAB  
CHIQRISH

*Xo'jamqulova Muazzam Bahridin qizi*

*Termiz Davlat universiteti kimyo yo'nalishi 1-kurs talabasi*

*Ilmiy rahbar: Turdimurodov Otabek*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada elektrokimyoviy energiya saqlash tizimlari orasida tez zaryadlanish, yuqori quvvat zichligi va juda katta sikl resursi bilan ajralib turadigan superkondensatorlarni mahalliy xomashyolar asosida ishlab chiqarish masalasi tahlil qilinadi.

**Kalit so'zlar:** superkondensator, elektrokimyoviy energiya saqlash, mahalliy xomashyo, faollashtirilgan uglerod, biomassa, elektrod materiali, EDLC, g'ovak uglerod, paxta poyasi, meva danaklari, O'zbekiston.

**Kirish.** Zamonaviy energetikaning eng qattiq muammosi elektr energiyasini ishlab chiqarish emas, uni boshqarishdir. Quyosh va shamol kabi qayta tiklanuvchi manbalar ko'paygani sari elektr tarmog'ida barqarorlik, chastota nazorati, qisqa muddatli rezerv quvvat, pik yuklama kompensatsiyasi va impulsi energiya uzatish vazifalari oldingi davrlarga qaraganda ancha murakkablashmoqda. Ana shu joyda superkondensatorlar oddiy laboratoriya obyekti emas, balki elektrotransport, sanoat avtomatikasi, qayta tiklanuvchi energiya tizimlari, tibbiy texnika, telekommunikatsiya, temiryo'l va mikrogridlar uchun amaliy qurilma sifatida maydonga chiqadi. Ularning kuchi shundaki, ular sekundlar ichida zaryadlanadi, yuqori quvvat beradi, millionlab sikllarga chidashi mumkin va ko'p takrorlanuvchi tezkor zaryad–razryad rejimlarida batareyalardan barqarorroq ishlaydi.

Lignin, sellulyoza va gemisellyuloza nisbatlari, kul miqdori, uchuvchan modda ulushi, zichlik, mikroyoriqlar hosil qilish qobiliyati, KOH yoki  $H_3PO_4$  bilan faollashtirganda g'ovak arxitektura berish xususiyati — bularning bari elektrod sifati uchun muhim. Superkondensator sohasidagi xalqaro tadqiqotlar biomassa asosidagi uglerodlar arzon, ekologik barqaror va keng sirtli g'ovak tuzilma berishi sabab elektrod materiali sifatida katta qiziqish uyg'otayotganini ko'rsatadi. Masalan, biomassa asosidagi uglerodlar bilan olingan ayrim tajriba natijalarida 479,23 F/g gacha maxsus sig'im ko'rsatilgan. Albatta, bu ko'rsatkichni to'g'ridan-to'g'ri O'zbekiston xomashyosiga ko'chirib bo'lmaydi, lekin printsip aniq: to'g'ri karbonizatsiya va faollashtirish rejimi tanlansa, mahalliy resurslardan ham raqobatbardosh elektrod materiali olish mumkin.

Mavzuning yana bir qirrası importga qaramlikni kamaytirishdir. Yuqori sifatli faollashtirilgan uglerod, maxsus elektrodlash reagentlari, separatorlar va elektrodlash texnologiyalari ko‘pincha tashqi bozordan olinadi. Bunday sharoitda tayyor mahsulot ishlab chiqarish emas, butun texnologik zanjirni bosqichma-bosqich lokallashtirish strategik vazifa bo‘ladi. Agar paxta poyasi yoki meva danaklaridan mahalliy faollashtirilgan uglerod ishlab chiqarish yo‘lga qo‘yilsa, kamida elektrodning bazaviy komponenti ichki resurs hisobidan ta‘minlanadi. Bu esa ikki tomonlama foyda beradi: birinchidan, chiqindi iqtisodiy resursga aylanadi; ikkinchidan, import qilinadigan materialning bir qismi o‘rnini bosadi. Bundan tashqari, uglerod materialini mahalliy sharoitga moslab optimallashtirish imkoniyati tug‘iladi. Masalan, yuqori quvvatli sanoat superkondensatori uchun bir xil g‘ovak tuzilma kerak bo‘lsa, past quvvatli sensor tizimi uchun boshqa turdagi uglerod ma‘qul bo‘lishi mumkin. Tayyor import material bunday nozik moslashuvni har doim bermaydi.

**Adabiyotlar tahlili.** Superkondensatorlar bo‘yicha jahon adabiyotida uchta asosiy yo‘nalish ko‘zga tashlanadi: birinchi yo‘nalish — elektr ikki qatlamli kondensatorlar uchun yuqori sirt maydonli g‘ovak uglerodlar; ikkinchisi — psevdoqoplama beruvchi o‘tish metallari oksidlari yoki gidroksidlari; uchinchisi — gibrid tizimlar, ya‘ni uglerod va redoks-faol komponentlarning kombinatsiyasi. Ommaviy tijoratda eng pishgan texnologiya EDLC bo‘lib, unda asosiy urg‘u elektrod sirtini maksimal darajada oshirish, ion diffuziyasi uchun ochiq transport kanallarini yaratish va ichki qarshilikni tushirishga qaratiladi.

Biomassa asosidagi uglerod materiallari bu muvozanatni yaxshilash uchun eng faol o‘rganilayotgan sinflardan biri bo‘lib qoldi. Sababi juda oddiy: biomassa tabiatan ko‘p bosqichli tuzilishga ega, karbonizatsiya va kimyoviy faollashtirish jarayonlarida esa mikro va mezog‘ovakli arxitektura shakllantirishga moyillik ko‘rsatadi. PMC da e‘lon qilingan tahliliy ishda banan poyasi, makkajo‘xori so‘tasi, kraxmal va boshqa biomassalardan olingan uglerodlarda superkondensator xossalari sinovdan o‘tkazilib, KOH faollashtirilgan namunada 479,23 F/g gacha maxsus sig‘im qayd etilgan. Bu, albatta, laboratoriya darajasidagi natija, lekin undagi asosiy ilmiy signal muhim: biomassa turini tanlash, faollashtirish reaktivi va issiqlik rejimi elektrod xossalari keskin o‘zgartiradi. Shuning uchun mahalliy xomashyo bilan ishlashda “bitta universal retsept” yo‘q; har bir prekursor uchun alohida termokimyoviy yo‘l topilishi kerak.

**Metodologiya.** Ushbu maqola eksperimental laboratoriya hisoboti emas, balki qiyosiy-tahliliy va texnologik modelga tayangan ilmiy maqoladir. Tahlil doirasida uchta manba guruhi birlashtirildi: birinchisi, energiya saqlash tizimlari bo‘yicha xalqaro institutsional manbalar; ikkinchisi, biomassa asosidagi superkondensator elektrodlariga oid ilmiy maqolalar; uchinchisi, mahalliy xomashyo va uglerod sorbentlari bo‘yicha O‘zbekiston olimlari ishlari. Shu asosda superkondensator uchun mahalliy material

tanlashning beshta mezoni ishlab chiqildi: xomashyoning barqaror mavjudligi, uglerod chiqimi, kul miqdori, g'ovak tuzilma hosil qilish salohiyati va lokallashtirish qiymati. Keyin texnologik zanjir quyidagicha modellandi: xomashyoni saralash → quritish → maydalash → karbonizatsiya → kimyoviy yoki fizik faollashtirish → yuvish va neytrallashtirish → quritish → elektrod pasta tayyorlash → tok kollektoriga qoplash → quritish va presslash → tangasimon yoki paket turidagi yacheykaga yig'ish → CV, GCD va EIS usullari bilan elektrokimyoviy sinash. Bu metodologiya real tajriba rejasini ham, sanoatga o'tish uchun dastlabki texnik yo'nalishni ham beradi.

Quyidagi jadval maqola doirasida taklif etilgan qiyosiy tanlov modelini ko'rsatadi.

Mahalliy xomashyo turi	Mavjudlik darajasi	Kutiladigan uglerodli karkas sifati	Ehtimoliy afzallik	Asosiy xavf	Superkondensator uchun baho
Paxta poyasi	Juda yuqori	O'rta-yuqori	Arzon, katta hajm, qishloq xo'jaligi chiqindisi ko'p	Kul miqdori va bir xil bo'lmagan tarkib	Juda istiqbolli
O'rik/shaftoli danagi	O'rta	Yuqori	Zich ligninli tuzilma, nisbatan mustahkam uglerod karkasi	Mavsumiylik, logistika	Istiqbolli
Yong'oq/bodom po'chog'i	O'rta	Yuqori	G'ovak tuzilma hosil qilishga yaxshi moyillik	Xomashyo hajmi hududiy cheklanishi mumkin	Juda istiqbolli
Qamish	Yuqori	O'rta	Ko'p biomassa oqimi, arzon yig'im	Mineral qo'shimchalar va namlik yuqori	Istiqbolli

Mahalliy xomashyo turi	Mavjudlik darajasi	Kutiladigan uglerodli karkas sifati	Ehtimoliy afzallik	Asosiy xavf	Superkondensator uchun baho
Meva-sabzavot chiqindilari	Yuqori	O'rta	Ekologik chiqindi muammosini kamaytiradi	Tarkib o'zgaruvchan, standartlash qiyin	Maqsadli saralash bilan istiqbolli

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, xomashyo tanlashda eng katta ustunlik paxta poyasi va yong'oqsimon qattiq po'choqlarga to'g'ri keladi. Birinchisi hajm jihatdan kuchli, ikkinchisi esa material sifati jihatidan qulay. Tezkor sanoatlashish uchun hajm va sifat o'rtasidagi kompromiss topilishi kerak.

**Tahlil va natijalar.** Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, superkondensator uchun mahalliy material tanlashda yagona eng muhim ko'rsatkich sirt maydoni emas. Agar material faqat mikrog'ovakli bo'lsa, ionlar kirib-chiqishi sekinlashadi; agar faqat mezog'ovaklar ko'p bo'lsa, sirt zaxirasi kamayadi. Eng maqbul yo'l — mikro va mezog'ovaklarning muvozanatli tizimini yaratish. Kimyoviy faollashtirish, ayniqsa KOH bilan ishlov berish, ko'pincha yuqori sirt maydoni beradi, ammo reagent sarfi, yuvish bosqichi va korroziya xavfi yuqori.  $H_3PO_4$  bilan faollashtirish ayrim biomassalarda yumshoqroq g'ovak tuzilma beradi, lekin qoldiq fosforli guruhlar elektrokimyoviy xulqni o'zgartirishi mumkin. Fizik faollashtirish esa ekologik jihatdan yumshoqroq, biroq ko'pincha ko'proq energiya va vaqt talab qiladi. Demak, texnologik yechim faqat "eng yaxshi natija" bilan emas, "eng maqbul iqtisodiy va ekologik balans" bilan tanlanishi kerak. Tahliliy modelga ko'ra, O'zbekiston sharoitida ikki bosqichli yo'l eng mantiqli ko'rinadi. Birinchi bosqich — mahalliy biomassa asosida arzon, barqaror va takrorlanuvchi sifatga ega faollashtirilgan uglerod ishlab chiqarish. Ikkinchi bosqich — ushbu uglerodni modifikatsiya qilish, masalan azot yoki kislorod funksional guruhlari bilan boyitish, grafitlash darajasini oshirish, o'tkazuvchan qo'shimchalar kiritish yoki gibrid tizim hosil qilish. Toza uglerodli EDLC sodda va ishonchli yechim beradi; gibridlashtirish esa sig'imni oshirishi mumkin, lekin sikl barqarorligi va tannarxni murakkablashtiradi. Shuning uchun boshlang'ich industrial yo'l sifatida mahalliy faollashtirilgan uglerodga asoslangan simmetrik EDLC maqsadga muvofiq. Bu eng sodda, risk darajasi past va sinovdan o'tkazilishi oson yo'ldir. Superkondensatorlarni ishlab chiqarishning iqtisodiy mantig'i ham ancha ravshan. DOE baholarida 1 MW, 45 soniyalik saqlashga mo'ljallangan EDLC tizimi uchun 2025 yil

bazaviy storage block cost ko'rsatkichi \$19 200/kWh sifatida berilgan. Bu raqam energiya birligi hisobida juda yuqori ko'rinadi va superkondensatorning nimaga uzoq muddatli saqlash uchun emasligini ko'rsatadi. Lekin shu raqamni noto'g'ri talqin qilish yaramaydi. Superkondensator "kWh qurilmasi" emas, "kW qurilmasi". U energiya emas, quvvat muammosini hal qiladi. Agar qurilma soniyalar ichida yuqori quvvat berib, million sikl ishlasa, unda uning iqtisodiy samaradorligi kWh bilan emas, tezkor xizmatlar va sikl soni bilan baholanadi. Bu nuqtani tushunmasdan turib, superkondensatorni batareya bilan bir xil mezonda solishtirish noto'g'ri xulosa beradi.

Mahalliy materiallar bo'yicha tahlil shuni ko'rsatdiki, paxta poyasi O'zbekiston uchun xomashyo hajmi jihatidan eng kuchli kandidat. Lekin u texnologik jihatdan ham eng oson emas. Paxta qoldig'ida mineral aralashmalar va tarkibiy notekislik bo'lishi mumkin, bu esa kul miqdorini oshirib, ichki qarshilikka salbiy ta'sir etadi.

Natijaviy konseptual model sifatida quyidagi ilmiy-texnologik yo'l taklif etiladi: 1) xomashyo oqimlarini hududlar kesimida xaritalash; 2) karbonizatsiya va faollashtirish rejimlarini DOE va jahon tajribasi asosida optimallashtirish; 3) har bir uglerod namunasining BET, SEM, Raman, XRD, EIS, CV va GCD ko'rsatkichlari bo'yicha pasportini yaratish; 4) simmetrik ikki elektrodli EDLC prototipini yig'ish; 5) 5 000–10 000 sikllik tezlashtirilgan sinov; 6) sanoat avtomatikasi, quyosh invertori va kichik transport tizimlari uchun maqsadli ilovalarni tanlash. Aynan "avval material, keyin qurilma, keyin ilova" ketma-ketligi ushlanmasa, loyiha laboratoriyada qolib ketadi. Bu yerda eng katta xatar — materialshunoslikdan bevosita mahsulotga sakrash. Sakrash emas, pog'onali o'tish kerak.

**Muhokama.** Mahalliy xomashyodan superkondensator ishlab chiqarish g'oyasi jozibali, lekin uni ishlatish uchun bir nechta qattiq savolga javob kerak. Birinchi savol: maqsad nima — ilmiy maqola chop etishmi yoki ishlaydigan texnologik platforma yaratishmi? Agar maqsad faqat maqola bo'lsa, 300–500 F/g diapazonidagi bir nechta laboratoriya natijasi yetishi mumkin. Agar maqsad mahsulot bo'lsa, unda sig'imdan tashqari sikl barqarorligi, ESR, elektrodlash massasi, binder tanlovi, separator mosligi, elektrolit xavfsizligi va seriyali takrorlanuvchanlik hal qiluvchi omilga aylanadi. Ikkinchi savol: qaysi bozor segmenti nishonga olinadi? Chunki maishiy elektronika uchun bir talab, sanoat rezerv quvvat moduli uchun boshqa talab bor. Uchinchisi: mahsulotning iqtisodiy afzalligi qayerdan keladi? Faqat xomashyo arzonligidan emas.

Demak, yashil texnologiya da'vosi avtomatik emas; u faqat LCA va texno-iqtisodiy tahlil bilan isbotlanadi. Kelgusida O'zbekiston sharoitida biomassa asosidagi superkondensator materiali bo'yicha tadqiqotlar faqat elektrokimyoviy natijalar emas, balki suv sarfi, reagent qayta aylanishi, bir kilogramm elektrod materialining tannarxi, chiqindi

koeffitsienti va karbon izini ham hisobga olishi zarur. Ana shunda ish haqiqiy ilmiy va amaliy qiymatga ega bo'ladi.

**Xulosa.** Ushbu maqola tahlili shuni ko'rsatdiki, elektrokimyoviy energiya saqlovchi qurilmalar uchun mahalliy materiallardan superkondensatorlar ishlab chiqarish O'zbekiston uchun shunchaki qiziqarli ilmiy mavzu emas, balki strategik texnologik yo'nalishdir. Buning uchta asosiy sababi bor. Birinchisi, global energetika tobora ko'proq moslashuvchan, tezkor va yuqori quvvatli saqlash vositalarini talab qilmoqda. Superkondensatorlar aynan shu segmentda kuchli: ular tez zaryadlanadi, juda katta sikl resursiga ega, 92% atrofidagi yuqori samaradorlik ko'rsatadi va soniyalar–daqiqalar oralig'idagi vazifalarda batareyalarga juda yaxshi hamkor bo'ladi. Ikkinchisi, O'zbekistonda bunday qurilmalar uchun elektrod materiali sifatida ishlatilishi mumkin bo'lgan paxta poyasi, yong'oq va bodom po'choqlari, o'rik va shaftoli danaklari, qamish va boshqa agrar-organik resurslar yetarli. Uchinchi sabab, mahalliy chiqindilarni yuqori qo'shilgan qiymatli uglerod materiallariga aylantirish ekologik, iqtisodiy va sanoat nuqtai nazaridan bir vaqtning o'zida foyda beradi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ubaydullayeva N.N., Salikhanova D.S., Karabayeva M.I. *Studying the sorption properties of adsorbents obtained on the basis of plant waste*. E3S Web of Conferences, 2023.
2. Karabayeva M.I., Mirsalimova S.R., Salikhanova D.S., Ubaydullayeva N.N. *Adsorption water treatment with adsorbents based on vegetable raw materials*. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya, 2023.
3. Salikhanova D.S., Savrieva D.D., Karabaeva M.I., Sagdullaeva D.S., Ubaydullayeva N.N., Usmanova Z.T. *Charcoal adsorbents for glycerin purification*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023.
4. Khayitov R.R., Narmetova G.R., Shermatov B.E. *Production of activated coal from the pits of apricots and peach for the adsorption purification of the waste diethanolamine*. 2016.
5. Khayitov R.R., Narmetova G.R., Shermatov B.E. *Regeneration of activated carbon used in adsorption purification of alkanolamines*. 2016.

