

**НАМАНГАН МУХАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
PhD.03/30.12.2019.К/Т.66.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**НАМАНГАН МУХАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ**

**ШОДМАНОВ ЖАСУР АБДУМУХАММАДОВИЧ**

**«МОСЛАШУВЧАН СУПЕРКОНДЕНСАТОРЛАР УЧУН ИККИ  
ТАРМОҚЛИ ГЕЛ ПОЛИМЕР ЭЛЕКТРОЛИТЛАР ОЛИШ  
ТЕХНОЛОГИЯСИ»**

**02.00.14 – Органик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Наманган–2022**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора  
философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of  
philosophy (PhD) on technical sciences**

**Шодманов Жасур Абдумухаммадович**

Мослашувчан суперконденсаторлар учун икки тармоқли гел полимер  
электролитлар олиш технологияси.....3

**Шодманов Жасур Абдумухаммадович**

Технология производства двухсетевого гель-полимерного электролита для  
гибких суперконденсаторов.....22

**Shodmanov Jasur Abdumukhammadovich**

Technology for the production of double network gel-polymer electrolyte for flexible  
supercapacitors. ....42

**Эълон қилинган илмий ишлар рўйхати**

**Список опубликованных работ**

**List of published works.....45**

**НАМАНГАН МУХАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМЙЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
PhD.03/30.12.2019.К/Т.66.02 РАҚАМЛИ ИЛМЙЙ КЕНГАШ**

---

**НАМАНГАН МУХАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ**

**ШОДМАНОВ ЖАСУР АБДУМУХАММАДОВИЧ**

**«МОСЛАШУВЧАН СУПЕРКОНДЕНСАТОРЛАР УЧУН ИККИ  
ТАРМОҚЛИ ГЕЛ ПОЛИМЕР ЭЛЕКТРОЛИТЛАР ОЛИШ  
ТЕХНОЛОГИЯСИ»**

**02.00.14 – Органик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси (техника  
фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Наманган–2022**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.3.PhD/Т2357 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Наманган муҳандислик-технология институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.nammti.uz](http://www.nammti.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Боймирзаев Азамат Солиевич**  
кимё фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Эшқурбонов Фурқат Бозорович**  
кимё фанлари доктори, доцент

**Соттиқулов Элёр Сотимбоевич**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), катта илмий ходим

**Етакчи ташкилот:**

**Фарғона политехника институти**

Диссертация ҳимояси Наманган муҳандислик-технология институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи PhD.03/30.12.2019.К/Т.66.02 рақамли илмий кенгашнинг 2022 йил «5» февраль соат 13<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 160115, Наманган ш., Косонсой кўчаси 7. Тел.: (+99869) 228-76-71, факс: (+99869) 228-76-75, e-mail: [niei\\_info@edu.uz](mailto:niei_info@edu.uz)).

Диссертация билан Наманган муҳандислик-технология институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (446-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 160115, Наманган ш., Косонсой кўчаси 7. Тел.: (+99869) 228-76-71, факс: (+99869) 228-76-75.

Диссертация автореферати 2022 йил «24» январь куни тарқатилди.  
(2022 йил «24» январдаги № 1-рақамли реестр баённомаси)

**О.К. Эргашев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
раиси, к.ф.д., профессор

**Д.Ш.Шерқўзиёв**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
илмий котиби, т.ф.н., профессор

**Х.С. Бекназаров**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги  
илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертация аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда электр энергияси инсоният тараққиёти ва иқтисодиётининг ўсиши учун муҳим омил бўлиб, уни сақлаш ва ундан оқилона фойдаланиш долзарб муаммолардан бири ҳисобланади. Бугунги кунда халқ хўжалигида ва саноат электроникасида, шу жумладан транспорт соҳаларида электр энергияси манбалари сифатида аккумуляторлардан кенг фойдаланиб келинмоқда. Электр манбалари сифатида автомобил саноатида ва электротранспортда аккумуляторларга нисбатан юқори механик хоссаларга ва самарадорликка эга бўлган суперконденсаторларни яратиш, катта энергия зичлиги ва қувватига эга бўлган энергия сақловчи манбаларни электр хусусиятларини ошириш бўйича тадқиқот ишларини олиб бориш ва олинган натижалар асосида илмий ва амалий янгиликларга эришиш муҳим аҳамиятга эга.

Бугунги кунда жаҳонда юқори самарали энергия сақловчи қурилмаларни яратиш учун қуйидаги илмий ечимларни асослаш, жумладан: механик мустаҳкамлиги юқори, эгилувчан ва ўзини қайта тикловчи суперконденсаторларни яратиш учун полимер-гель электролитларни танлаш; суперконденсаторларда ишлатиш мақсадида маҳаллий ва арзон полимер асосидаги электролитларни электрокимёвий хусусиятларни аниқлаш; паст ҳароратларда эгилувчан ва мослашувчан суперконденсаторларни механик мустаҳкамлигини, чўзилиш ва сиқилиш деформацияларига чидамлилигини ўрганиш; полимер-гель электролитларни ўзини-ўзи қайта тиклаш қонуниятларини очиб бериш лозим.

Республикамизда электр энергия манбаларини самарадорлигини ошириш ва такомиллаштириш бўйича маълум назарий ва амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида, “миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, принципиал жиҳатдан янги маҳсулот ва технология турларини ўзлаштириш” вазифалари белгилаб берилган. Бу борада, жумладан янги турдаги керакли технологик ва конструкцион параметрларга эга бўлган, юқори сифатли ва паст таннархдаги энергия сақловчи қурилмаларни яратиш ва ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқотлар муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида» ги ва «2020-2030 йилларда Ўзбекистон Республикасини электр энергия билан таъминлаш концепцияси» Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга мазкур диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

---

Ўзбекистон Республикаси Президентининг ПФ-4947 «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишлари бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги фармони.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурсларни тежаш», III ва IV: «Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлигини ривожланиши» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Энергия сақловчи воситалар, суперконденсаторлар ва гель полимер электролит (ГПЭ) лар, уларнинг физик механик хусусиятлари ҳамда хоссаларини ўрганиш борасида янги электролит яратиш, мавжуд ва арзон хом ашёдан оқилона фойдаланган ҳолда маҳсулот турларини кўпайтириш ва сифатини яхшилашга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, чет эл олимлари, шу жумладан Christian Weber, R. Zhang, Gautham Prasad G Koh Sing Ngai1 & S. Ramesh, C. Subramani, Q. Chen, Qin Gang, N.F. Abdul Halim, G.-P. Kim, Girum Ayalneh Tiruye, Thangavel, R., Singh, P. K, Choudhury N, Lemercier A., Gong, J. P, Giavasis I., Hassan C. M, Агибаева Л.Э. Табаров Фаррух Саадиевич, Измайлова, Марианна Юрьевна, Минаев Константин Мадестович, Антипов Е.В ва бошқалар бу соҳада самарали изланишлар олиб борганлар. Дунё миқёсида СКлар учун турли хил гидрогеллардан фойдаланиб электролит олиш технологияси бўйича муайян тажриба ва илмий ишланмалар мавжуд. Лекин, геллан полисахариди электролит сифатида кам ўрганилиб, унинг механик хусусиятларини такомиллаштириш ва суперконденсаторларда қўллаш борасида тадқиқотлар кам учрайди.

Республикада Ўз.ФА академиги А.Т.Джалиловнинг илмий жамоаси томонидан фаоллашган кўмирни суперконденсаторларда электрод сифатида ишлатиш мумкинлиги бўйича бир қатор изланишлар олиб борилган ва бу борада салмоқли ишлар амалга оширилган, лекин гель полимерлардан суперконденсаторлар учун каттик электролит сифатида фойдаланиш бўйича илмий изланишлар олиб борилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Наманган муҳандислик-технология институти ва Хенан политехника университети (Хенан, Хитой) илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ Ўзбекистон Республикаси ҳамда Хитой Халқ Республикаси ҳукуматлари ўртасида 01.11.2019 йилда имзоланган фан ва технологиялар соҳасидаги ҳамкорлик шартномаси асосида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** мослашувчан суперконденсаторлар учун икки тармоқли гел полимер электролитлар олиш технологияси яратишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

иккиланган тармоқ структурасини ўрганиш ва таҳлил қилиш орқали гель полимер электролитнинг механик хусусиятларини ошириш йўллари тадқиқ қилиш;

СКлар учун мавжуд электролитларни адабиётлардан ўрганиш ва фойдаланишда дуч келадиган муаммо ҳамда камчиликларни тадқиқ қилиш;

маҳаллий ва арзон хом ашёлардан фойдаланган ҳолда СКлар учун ГПЭ яратиш;

яратилган ГПЭнинг электрохимёвий ҳамда механик кўрсаткичларини синовдан ўтказиш ва тавсифлаш;

яратилган ГПЭнинг СКларда стандарт шароитларда фойдаланиш имкониятларини тадқиқ қилиш ва синовдан ўтказиш;

янги ГПЭ асосли СКнинг турли хил механик шароитларда паст ҳароратларда синовдан ўтказиш ва натижаларни илмий асослаш;

янги ГПЭ асосли СКнинг ўзини-ўзи қайта тиклаш хусусиятини шакллантириш ва синовдан ўтказиш;

ўтказилган синов натижаларини таҳлил қилиш, жамлаш, чоп этиш ва ишлаб чиқаришга тавсиялар бериш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида суперконденсаторлар учун гель полимер электролитлардан поливинил спирти (ПВС), геллан гум (ГГ), полиакриламид (ПАК) ва бошқа полимерлар тажрибалар асосида танлаб олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** суперконденсаторлар, гель полимер электролитлар ва уларнинг механик хусусиятларини ошириш усуллари ва аниқлаш технологияси ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишида қўйилган вазифаларни бажаришда назарий таҳлил ва амалий-экспериментал усуллардан Фурье инфрақизил спектроскопия (Bruker IFS-25), Рентген фотоэлектрон спектроскопия (Axis Ultra, Kratos Analytik LTD, Англия), намуналарнинг механик хусусияти WSM-10kN синов ускунаси (Changchun Intelligent Instrument Equipment Co. Ltd. Хитой), сканерловчи электрон микроскоп (FESEM, FEI Quanta 250, Brock AG, Германия), намуналарни ион ўтказувчанлигини аниқлашда электрохимёвий импеданс спектроскопия усуллари (electrochemical workstation, Parstat 2273, Princeton Applied Research Co., USA) фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

илк бор гель полимер электролитларнинг физик-механик хусусиятлари асосида мослашувчан суперконденсаторлар учун янги қаттиқ ва мустаҳкам гель полимер электролит яратилган;

геллан полисахаридини қаттиқ электролит сифатида фойдаланиш имконияти асосланган;

икки тармоқли гидрогеллар олиш усули асосида гель полимер электролит (ГПЭ) олинган ва унинг механик хусусиятларининг оширилгани аниқланган;

геллан/поливинил спирт, геллан/полиакриламид ўртасидаги боғланиш ва тармоқ тузилиши синов усуллари ёрдамида аниқланган;

янги ГПЭ асосли суперконденсатор (СК) нинг турли хил механик таъсир шароитида ва паст ҳароратларда фойдаланиш имконияти яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

табiiй гидрогеллардан СКлар учун полимер электролит сифатида фойдаланиш имконияти яратилган;

икки тармоқли боғланиш орқали ГПЭ ларнинг механик хусусиятлари ортиши синов усуллари ёрдамида исботланган;

геллан ва полимерлар аралашмаси натижасида ГПЭ олиш технологияси ва усули ишлаб чиқилган;

геллан/поливинил спирт, геллан/полиакриламидлар ўртасидаги ўзаро тармоқ боғланиш мавжудлиги ва уларнинг намуна таркибидаги оптимал улушлари ҳисобланган;

янги ГПЭни СКларда фойдаланиш имкониятлари тажрибалар орқали исботланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги янги гель полимер электролитни тайёрлаш ва унинг барча хоссаларини синови, уларнинг мавжуд ва амал қилаётган фундаментал назарияга мантқан мувофиқ келиши, ҳисобiiй ишларда стандартлаштирилган усул ва воситалардан фойдаланилганлиги, олинган натижаларни реал иқтисодiiй самара билан ишлаб чиқаришга жорий қилиниши билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмiiй ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқотнинг илмiiй аҳамияти унинг мамлакат иқтисодиёти учун муҳим бўлган маҳсулотлар-суперконденсаторлар учун мустаҳкам гель полимер электролит олиш учун илмiiй асос яратганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти мослашувчан, эгилувчан ва кийиб юришга мўлжалланган (wearable electronic) электротехника воситаларида қўлланиладиган суперконденсаторлар учун янги қаттиқ гел полимер электролит яратиш натижасида замонавий энергия сақловчи воситаларига бўлган талабни қондириш, электролитлар ассортиментини ошириш, таннархни камайтириш техник воситаларнинг хавфсиз ва барқарор ишлашини таъминлашга ҳизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Гель полимер электролитларнинг механик хусусиятлари бўйича олинган илмiiй натижалар асосида:

суперконденсатор учун икки тармоқли гел полимер электролит олиш усулида олинган юққа қатламли гел полимер электролит олиш технологияси «Extra Premier ВАТ» МЧЖ да амалиётга жорий этилган («Ўзэлтехсаноат» ассоциациясининг 2021 йил 13 октябрдаги 04-3/2121-сон маълумотномаси). Натижада, мослашувчан, эгилувчан, паст ҳароратларда ва ўзини-ўзи тикловчи хусусиятга эга қаттиқ гель полимер электролит аосидаги суперконденсаторлар олиш имконини берган;

гел полимер электролитнинг физик-механик, электрофизикавий ва электрохимёвий хоссаларини аниқлаш усуллари гибрид электр манбаларида аниқлаш усули «Фотон» АЖда амалиётга жорий этилган («Ўзэлтехсаноат» ассоциациясининг 2021 йил 13 октябрдаги 04-3/2121-сон маълумотномаси).



Натижада, янги полимер-гель махсулотини гибрид электр токи манбаларида қўллаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари бўйича жами 2 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза ва муҳокама қилинган.

Диссертация мавзуси бўйича жами 12 та илмий иш, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация Комиссиясининг диссертациялар асосий илмий ишларини чоп этишга тавсия қилинган илмий нашрларда 7 та мақола, шундан 3 та мақола халқаро журналларда чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, 115 номдаги фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат бўлиб ҳажми 100 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

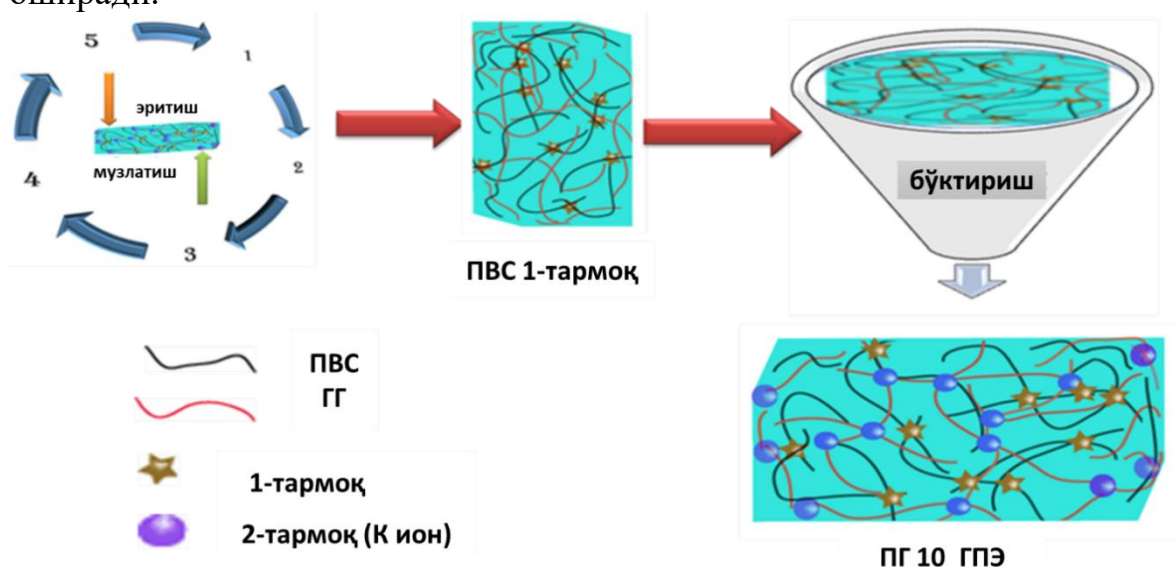
**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурийлиги, мақсад ва вазифалари, шунингдек, муаммонинг ўрганилганлик даражаси, тадқиқот усуллари, объекти ва предмети, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларни ривожлантириш йўналишига мувофиқлиги, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш рўйхати келтирилган, чоп этилган ишлар ва диссертациянинг ҳажми, тузилиши бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг «**Суперконденсаторлар ва уларнинг амалий аҳамияти**» деб номланган биринчи бобида, суперконденсаторлар, уларнинг тузилиши, ишлаш принципи, афзалликлари, саноатда ва кенг истеъмол махсулотларига тадбиқ этиш, суперконденсаторларнинг турлари ва амалий аҳамияти, электрод ва электролитлар, уларнинг турлари, камчилиги ва мавжуд муаммолар, гель полимер электролитлар, уларнинг физик-механик хусусиятлари ва бошқа турдаги электролитлардан устун жихатлари атрофлича ёритилган.

Диссертациянинг «**Тадқиқот объектлари ва усулларини танлаш ва уларни асослаш**» деб номланган иккинчи бобида суперконденсатор учун қаттиқ ГПЭни тайёрлаш техника-технологияси, гель полимер электролитлар учун материаллар танлаш ва уларни асослаш, намуналарнинг физик-кимёвий, механик хоссаларини аниқлаш жиҳозлари, жараёнда бевосита ишлатилган қурилмалар ва уларни ишлатилиш хусусиятлари, тажриба ўтказиш босқичлари ва уларни юқори аниқликда ўтказиш шарт шароитлари, методикаси, тажрибаларнинг назарий таҳлили, афзаллиги ва унда ўтказилган тадқиқот ишларидан олинган натижаларни формулалар асосида ҳисоблаш бўйича назарий маълумотлар берилган.

Диссертациянинг «**Поливинил спирт ва геллан гум асосида янги гель полимер электролит яратиш**» деб номланган учинчи бобида поливинил спирт ва геллан гум табиий полисахариди билан биргаликда гель полимер

электролит олиш, олинган намуналарнинг стандарт талабларига жавоб бериши, уларнинг физик кимёвий хусусиятлари, синов натижалари ҳамда энг асосийси қўшимча равишда ушбу ишда таклиф қилинаётган янги гель полимер электролит асосида тайёрланган суперконденсаторни турли эгилиш бурчаклари ва паст ҳароратларда синовдан ўтказиш натижалари батафсил ёритилган. Ушбу бобдаги ПВС ва ГГ асосида олинган гель полимер электролит мураккаб бўлмаган “музлатиш-эритиш” ва “бўктириш” технологик жараёнлари асосида “икки тармоқли гидрогеллар олиш” усулида тайёрланди (1-расм). Бу усулларнинг асосий аҳамияти шундаки, ушбу жараён табиий ҳолатда юз беради, элементлар бир-бирига физик (молекулалараро) жиҳатдан боғланади ва ушбу жараёнда кимёвий энергия (иссиқлик) ажралмайди ёки ютилмайди. Молекуляр боғларнинг мустаҳкам, барқарор ва стабил бўлиши ўз навбатида ГПЭнинг ташқи таъсирларга чидамлилигини оширади.

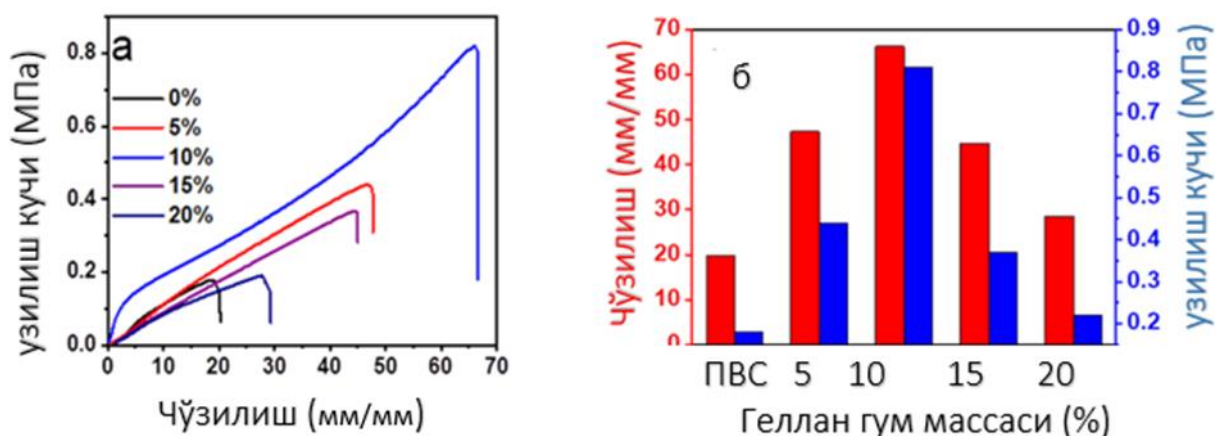


**1-расм.** Икки тармоқли ўзаро боғланган поливинил спирт ва геллан гель полимер электролитнинг олиниши

Дастлаб икки тармоқли гидрогелларнинг биринчи тармоғи, яъни ПВС тармоқ шакллантириш музлатиш эритиш усули орқали амалга оширилди. Бунда музлатиш-эритиш цикллариининг сони ГПЭ нинг мустаҳкамлик кўрсаткичига ижобий таъсир кўрсатди. Аксарият адабиётларда ушбу цикл 5-7 марта такрорланганда механик кўрсаткичлар билан биргаликда ПВС структурасида аморф худудларнинг ортиши кўрсатиб ўтилган. Шу боисдан ушбу тажрибада музлатиш-эритиш цикллари сони 5 марта олиб борилди, бунда музлатиш даври 20 соат  $-20^{\circ}\text{C}$  ҳароратда ва эритиш цикли 4 соат мобайнида хона ҳароратида амалга оширилди. Музлатиш жараёни мобайнида ПВС молекулаларининг ҳаракат тезлиги кескин пасаяди, натижада молекулалар бир-бири билан яқинлашиб ўзаро боғланади ва микрокристаллар ўзаро боғланиш нуқталари сифатида шаклланади. Эритиш жараёнида ПВС молекулалари яна ҳаракатлана бошлайди ва бу кристалларнинг ўсишига олиб

келади ҳамда гидрогель тармоғи шаклланади. Ушбу усулнинг такрорланиши натижасида тармоқ боғланиши янада мустаҳкамланади.

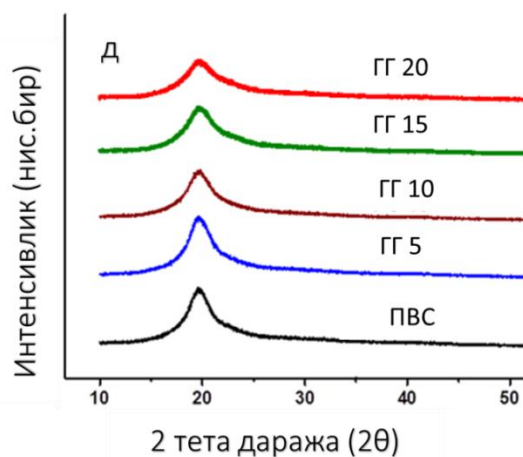
Иккинчи тармоқ ГГ тармоғи, музлатиш-эритиш усулидан сўнг намуналарни калий гидроксид (KOH) нинг сувли эритмасига бўктириш орқали шакллантирилди. Бу жараёнда  $K^+$  ионлари ГГни бир-бирига боғлаш ва ион ўтказувчанликни таъминлашга хизмат қилади. Шу боисдан  $K^+$  муҳим рол ўйнаб, у бир вақтнинг ўзида иккита вазифани, боғловчи ва ўтказувчи вазифасини бажаради ва ГПЭнинг мустаҳкамлигини оширишни таъминлайди. Тажрибаларда асосий объект сифатида ГГ танланганлиги сабабли унинг концентрациясини ўзгартириб ГПЭ таркибида оптимал улушини аниқлаш учун (ПВС/ГГ= 100:0%, 95:5%, 90:10%, 85:15% , 80:20%) нисбатларда намуналар тайёрланди. Намуналарни мос равишда ПВС, ПГ-5, ПГ-10, ПГ-15, ПГ-20 деб номлаб уларни физик-механик ва электрохимий кўрсаткичлари аниқланди. 4-расмда ПГ ГПЭ механик хусусиятларининг синов натижалари келтирилган. Графикдан кўриш мумкинки, ГГнинг массаси ортиши билан ГПЭ нинг механик хусусиятлари ҳам мос равишда ортиб борганини ва ГГ концентрацияси 10% га етганда тажрибалар энг яхши натижани қайд этганини кўриш мумкин. Жумладан, намунанинг чўзишдаги узилиш кучи (tensile stress) дастлаб 0.17 МПа дан 0.8МПа гача, узилишдаги узайиш кўрсаткичи (чўзилиш, elongation break) 20 мм/мм дан 66.3 мм/мм эканлиги қайд этилди (2-расм).



**2-расм. ГГ концентрациясининг ГПЭ механик хусусиятларига таъсири: а) чўзилиш ва узилиш кучи ўртасидаги боғланиш, б) чўзилишни геллан массасига боғлиқлиги.**

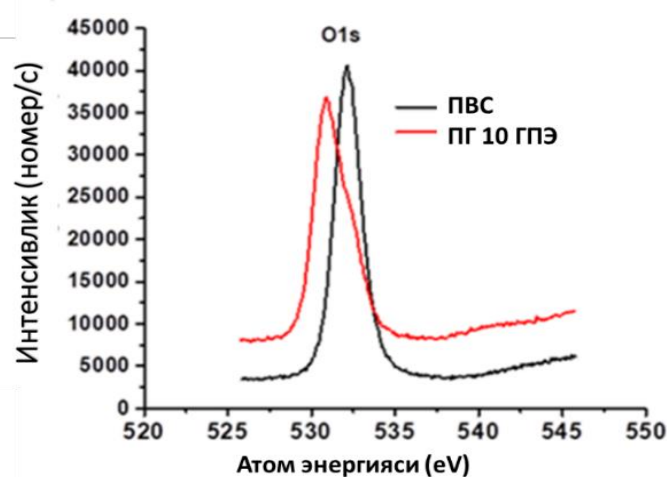
Бунинг сабаби шундан иборатки, геллан ва соф ПВС занжирлари ўртасида ўзаро электростатик кучлар таъсирида боғлар ҳосил бўлиши натижасида қаттиқ гидрогель ҳосил бўлади ва унинг механик мустаҳкамлиги соф ПВСга нисбатан 4 марта юқори кўрсаткичга эришар экан. Геллан зажиридаги карбоксил ва ПВС занжиридаги гидроксил гуруҳлар ўртасида водород боғлар ҳосил бўлиши натижасида макропорали тўрли қаттиқ ва эгилувчан гидрогель ҳосил бўлади. Намунада ГГ улушининг 10%дан ортиши натижасида унинг механик хусусиятларини камайиб бориши кузатилди, шу боисдан механик кўрсаткичлардан келиб чиққан холда ПГ 10 ни энг мақбул нисбат сифатида

танлаб олинди. Тажрибаларнинг юқори аниқлигини таъминлаш, олдинга сурилаётган фаразларни илмий тасдиқлаш ва ГПЭ таркибидаги элементларнинг боғланиш характерларини ўрганиш учун бир неча структура ҳамда морфологик тадқиқот синовлари амалга оширилди. Жумладан ГПЭ структурасининг аморф тузилишга эга бўлиши унинг ион ўтказиши ҳамда сувни шимиши жуда муҳимдир ва шу боисдан турли хил концентрациядаги ПГ ГПЭ бўктириш усулидан сўнг рентген дифрактометр ёрдамида синовдан ўтказилди (3-расм). Соф ПВС ярим кристалл табиатга эга бўлиб,  $2\theta=19.8^\circ$  ва (101) кристалл текисликда аниқ дифракция пикларига эга. 3-расмда намуна таркибида ГГ нинг улуши ортиши билан ПВС пикларининг интенсивлиги камайиб боришини яққол кўришимиз мумкин, бу ПВС ва ГГ ўртасидаги водород боғланиш мавжудлигини ва ПВС ГПЭ таркибида кристалланиш натижасида аморф худудларнинг кенгайишини ва натижада боғланиш ҳисобига механик хусусиятларни, аморф худуд кенгайиши ҳисобига ион ўтказувчанликнинг ортишига олиб келади.



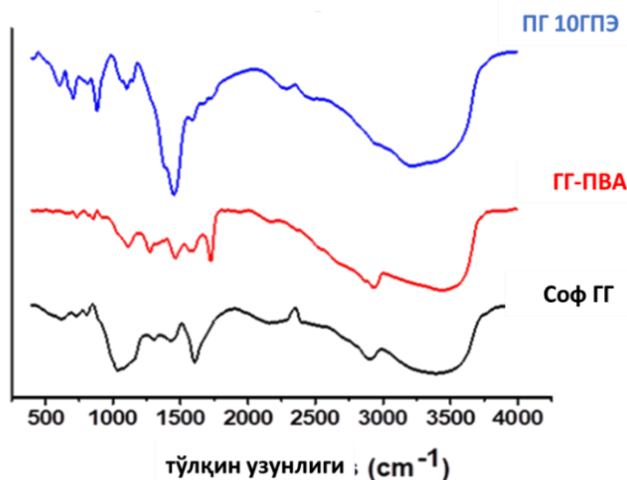
### 3- расм. Намуналарнинг рентген дифрактомерда олинган спектрлари

ГПЭ намунанинг таркибидаги ГГ ва ПВС ўртасидаги кимёвий боғланишни аниқлаш учун рентген фотоэлектрон спектроскопия (РФС) усули ёрдамида тажрибалар ўтказилди. Бунда энг яхши кўрсаткичга эга ПГ 10 ГПЭ ва соф ПВС пиклари график тасвирларда солиштирилди (4-расм). Натижалар 531.4 ва 532.1 эВ оралиқда O1s спектрида ПГ 10 ГПЭ ва соф ПВС деконволюциялангандан сўнг, C-O (алифатик углеродга алоҳида боғланган кислород), C=O (ароматик углеродга икки марта боғланган кислород) C-O, C-OH ва C = O гуруҳлар билан боғларнинг мавжудлиги O1s пикларда таҳлиллар билан тасдиқланган. ПГ10 ГПЭ да C=O чўққисининг ПВСга нисбаттан анча кичиклигини ГГ таркибидаги карбонил гуруҳларда чиқадиган чўққи билан изоҳлаш мумкин, C-OH боғланишлар эса ҳар иккала элементлар ПВС ва ГГ да ҳам мавжуд.



**4- расм. Намуналарнинг Рентген спектроскопия натижалари**

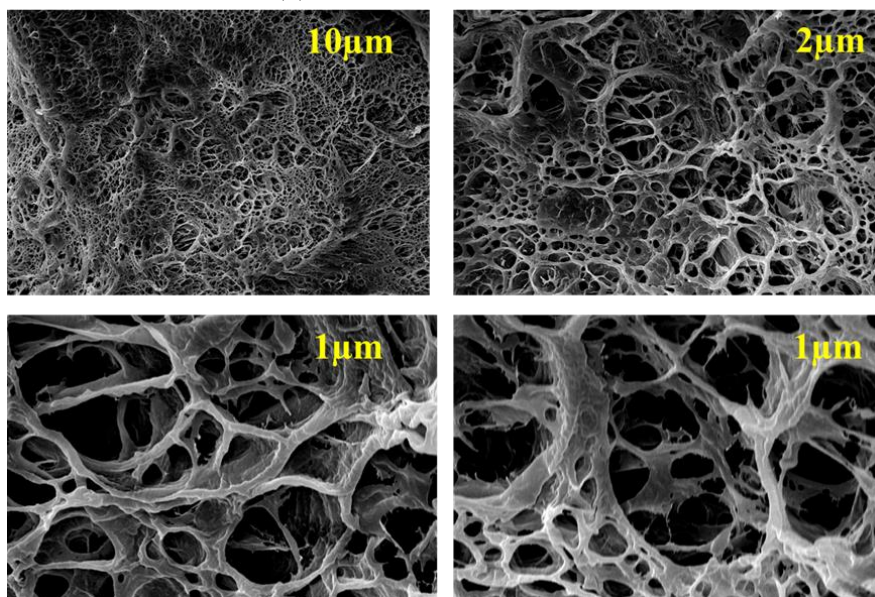
Кейинги босқичда ПВХ, ГГ ва уларга  $K^+$  иони таъсир эттирилгандан кейинги ўзгариш орқали улар ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш учун Фурье спектроскопия усулида тажрибалар ўтказилди (5-расм). Кўп тадқиқотларда соф ГГ  $3273\text{ см}^{-1}$  тўлқин узунлигида абсорбцион пикларни олингани келтирилади,  $3433\text{ см}^{-1}$  да гидроксил гуруҳларни ўз ичига олган глюкопираноз халқаларини намоён қилди.  $1612\text{ см}^{-1}$  ва  $1411\text{ см}^{-1}$  хуудлардаги интенсив пиклар карбоксилат гуруҳларнинг асимметрик ва симметрик чўзилишига тегишли.



**5-расм. Намуналарнинг Фурье инфрақизил спектроскопия спектрлари**

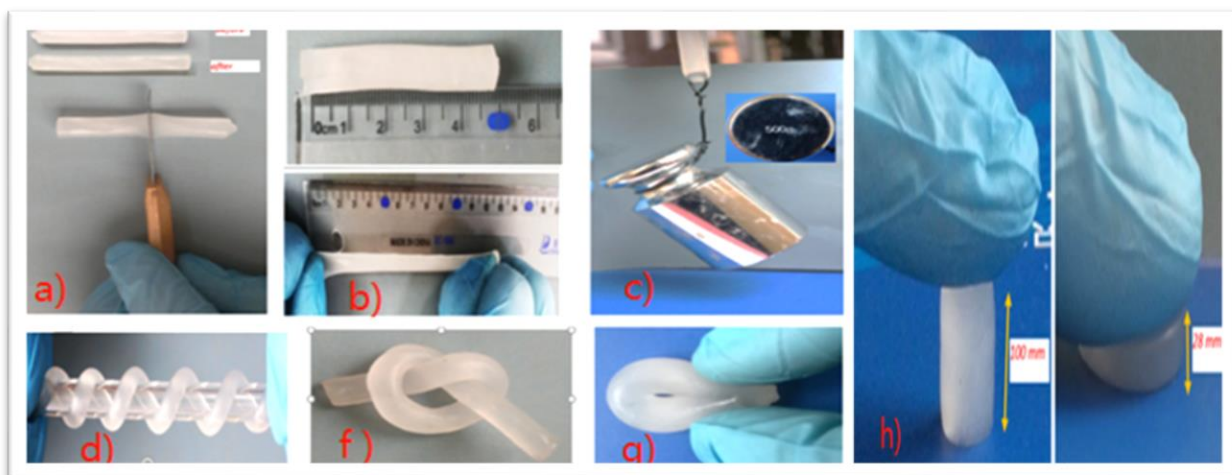
Иккинчи спектр ГГни КОНга бўктирилгандан кейинги ҳолатдаги намунага тегишли бўлиб, пикларда катта ўзгариш кузатилмади. Фақатгина карбоксил гуруҳларнинг чўққилари бироз силжиб  $1643\text{ см}^{-1}$  ва  $1442\text{ см}^{-1}$  га ўзгарди,  $1411\text{ см}^{-1}$  даги кичик чўққилар ОН гуруҳларга тегишлилиги аниқланди. Сўнгги спектрда оптимал вариант ПГ 10 ГПЭ намунага тегишли бўлиб, бунда ПВХ характерига мос келадиган янги чўққиларнинг пайдо бўлганини аниқ кўришимиз мумкин. ГГ/ПВС полимерлари  $3500\text{ см}^{-1}$  дан  $3273\text{ см}^{-1}$  гача,  $1611\text{ см}^{-1}$  дан  $1263\text{ см}^{-1}$  гача бўлган оралиқда ўзига хос абсорбцион боғларни намоён қилди. Гидроксил гуруҳларнинг кенг ва юқори интенсивликдаги  $3273\text{ см}^{-1}$  да

жойлашган чўққилари геллан ва ПВС полимер ўртасидаги водород боғланиш мавжудлигини исботлайди. Намуналарнинг сирт морфологияси сканерловчи электрон микроскоп ёрдамида тадқиқ қилинди. 6-расмда ПГ10 ГПЭ намунасида кичик поралар, ғовакликлар ва туннеллар борлигини намоён қилувчи графиклар келтирилган. Юқорида таъкидланганидек ушбу поралар намунада КОН ионларининг жойлашувига ва ион ўтказувчанликнинг ортишига сабаб бўлади. Соф геллан гум структурасида қалин деворлар ва силлиқ тешиклар ковакларга нисбатан текис юзага эга бўлиб, ПГ 10 ГПЭ тешиклари ингичка ва ўргимчак тўрига ўхшаш толали тармоқлардан ташкил топган бўлиб, сирт юзаси ҳам нотекис бўлади. Бундан ташқари расмлардан ПВС ва ГГ жойлашувини юза бўйлаб текис тақсимланганини, улар ўртасида ўзаро боғлиқлик борлигини кўриш мумкин. Бу тақсимланиш тармоқларнинг боғлиқлигини ва иккала тармоқ намунанинг механик хусусиятларини яхшилайти, бундай тузилиш туфайли ГПЭнинг сувни қабул қилиши яхшиланади. Бу жараён намунанинг ион ўтказувчанлиги учун фойдали бўлиб ГПЭ таркибига КОН ни сўрилишини ва унда сақланишини таъминлайди.



**6- расм. Намуналарнинг сирт морфологияси**

ГПЭ амалиётда СК лар билан биргаликда қўлланишида турли хилдаги механик таъсирларга дуч келиши мумкин. Бундай таъсирлар сарасига букилиш, оғирлик кучларининг таъсир этиши, деформациялар, шикастланиш, чўзилиш ва сиқилиш кабилар киради. Шу сабабли ПГ-10 ГПЭ цилиндрик шаклда таёрланган намуна юқорида санаб ўтилган механик таъсирлар остида ўткир тигни эркин ҳолатда кесиш (а), чўзиш(б) дастлабки узунлигидан икки маротаба кўп, 500 гр оғирлик тоши осиб қўйиб (с), спирал кўринишда ғалтакка ўраб (д), тугиб (е), букиб (ф) ва пресслаб (ж) синовдан ўтказилди (7-расм). Бу турдаги синовлар СК ни турли хилдаги шароитларда кафолатли ишлашини аниқлаш учун хизмат қилади.



7-расм. ГПЭнинг турли хилдаги механик таъсирлар остида синовдан ўтказиш: кесиш (а), чўзиш (б) оғирлик кучи таъсири (с), спирал (д), тугиш (е), букиш (ф) ва преслаш (ж) натижалари.

Намуналарнинг механик ва ион ўтказувчанлик хусусиятларини солиштириш

1-жадвал.

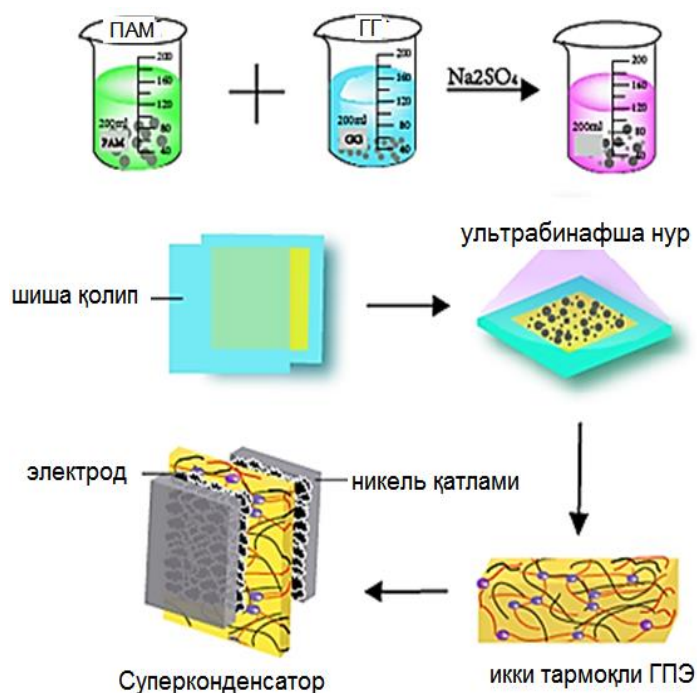
КОН концентрацияси (М)	Чўзиш босими(МПа)	Чўзилиш(мм)	Ион ўтказувчанлик (См/см)
0	0.17	19	0.003
0.2	0.23	22	0.2
0.4	0.28	33.9	0.21
0.6	0.54	58.5	0.21
<b>0.8</b>	<b>0.81</b>	<b>66.3</b>	<b>0.21</b>
1	0.56	49.2	0.23

Хулоса сифатида, биз ушбу бобда бажарилган илмий тадқиқот иши орқали СКлар учун янги турдаги композит ПГ 10 ГПЭ яратишга эришдик. Синов натижалари ушбу электролитнинг механик хусусиятлари ва ион ўтказувчанлигини юқори эканлигини, паст таннарх ва заҳарсиз эканлигини кўрсатди. Фойдаланилган геллан гум табиий полисахарид бўлиб, ундан тайёрланган каттик полимер электролит хавфсизлиги, оқмаслиги, портламаслиги, емирилишга чидамлилиги, электрод билан яхши мослашувчан эканлиги каби жуда кўп афзалликларга эга. Ишнинг амалий аҳамияти гелландан электролит сифатида фойдаланиш туфайли гел полимер электролитларнинг механик хусусиятларини оширишдан иборат.

Ўтказилган синов натижаларига кўра ПГ 10 ГПЭ энг юқори механик кўрсаткичларидан узиш кучи 0.81 МПа ва чўзилиш 66.3 мм/мм га, энг яхши ион ўтказувчанлиги 0.21См/см га тенг бўлди; электрод билан биргаликда солиштирма энергия сиғими 198 Ф/г ва 40°C ҳароратда барқарор ишлаши, 230° гача эгилиш бурчакларида ҳам фаол ишлаши мумкинлиги аниқланди.

Ушбу натижаларга кўра биз таклиф этаётган СК модели турли хилдаги деформация шароитларида ва паст ҳароратда ишловчи электрон қурилмаларда фойдаланиш имконини беради.

Диссертациянинг ўзини ўзи қайта тикловчи янги гел полимер электролит яратиш деб номланган бўлимида полимер матрица сифатида полиакриламид (ПАМ) дан фойдаланиб ва унинг геллан билан мураккаб боғланиши натижасида гел полимер электролит олиш, олинган янги гел полимер электролитни ўзини-ўзи қайта тиклаш ва турли хилдаги деформация шароитларида синовдан ўтказиш ва электролитнинг мослашувчан суперконденсаторларда фойдаланиш имконияти ўрганилган. Намуналар 8-расмда келтирилган кетма-кетлик асосида тайёрланиб уларнинг барча физик-механик хоссалари стандарт талаблар асосида синовдан ўтказилди. Олинган натижалар таҳлил қилиниб электролитнинг хоссаларини синов усуллари ёрдамида аниқланган.

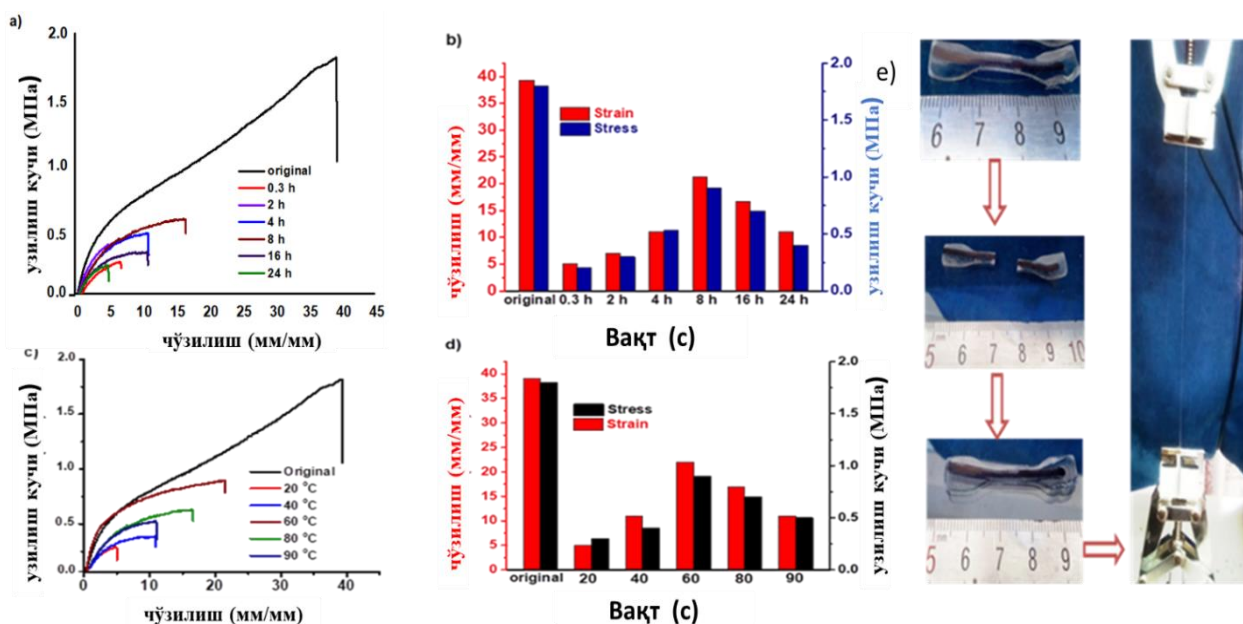


**8- расм. ПАМ/ГГ гел полимер элктролит олиш технологияси**

Амалиётда ГПЭлардан турли хилдаги деформация шароитларда фойдаланиш натижасида ташқи ва ички таъсирларга учраб электрон қурилмаларга ёки СКларга шикаст етиши кўплаб кузатилмоқда. Натижада бутун бошли қурилма ёки СК фаолияти ишдан чиқиб муаммолар ва иқтисодий зарарлар келиб чиқмоқда. Бундай муаммоларни олдини олиш учун ижобий ечимлардан бири СКни ёки унинг таркибидаги электрод ва электролитларнинг ўзини ўзи қайта тиклаш хусусиятини шакллантиришдан иборат. Бу усул натижасида СК маълум вақт давомида ҳеч қандай ташқи таъсирлар ва аралашувларсиз ўзининг дастлабки хусусиятини тиклаши мумкин. Шу боисдан ушбу тадқиқот ишимиздан кўзланган асосий мақсадлардан бири биз таклиф



этаётган ГПЭни ўзини ўзи қайта тиклаш қобиятини ошириш ва синовдан ўтказишдан иборат. ПаГ-3 ГПЭ худди шундай хусусиятга эга бўлиб ташқи таъсирларсиз дастлабки ҳолатини қайта тиклай олади. Бу ерда гелининг узилган водород боғлари бир бири билан такроран таъсирлашиб, яна қайтадан водород боғлар ҳосил қилади. Бу ходисани исботлаш учун ПаГ-3 ГПЭ намуналар тайёрланди ва уларнинг ўртасидан тиғли пичоқ ёрдамида иккига ажратилди. Тажрибаларни икки босқичда: турли хил вақт ва ҳарорат таъсирида ўтказилди ва ўзини ўзи қайта тиклаш хусусиятлари аниқланди (9-расм). Дастлаб икки қисмга ажратилган

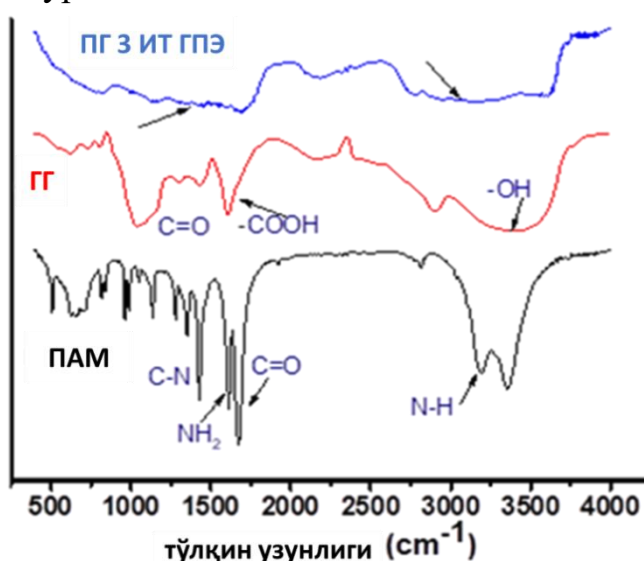


**9-расм. Намуналарнинг ўзини ўзи қайта тиклаш хусусиятларини механик усулда баҳолаш: а- б) турли вақт таъсирида, с-д) турли хил температураларда е) жараёнлар кетма кетлиги фотосуратларда келтирилган.**

намуналарни яна бир бирига теккизиб ўзгармас ҳарорат (60°C) таъсирида вақтни ўзгартириб (0.3, 2, 4, 8, 16 ва 24 соат) механик параметрларини қайта тиклаш хусусиятини синовдан ўтказдик (11а ва б расмлар). Иккинчи босқичда вақтни ўзгармас деб олиб (8 соат) турли ҳарорат остида 0, 20, 40, 60, 80 ва 90°C ПаГ ГПЭ намуналарнинг ўзини ўзи қайта тиклаш хоссалари механик тест тажрибалар йўли билан аниқланди (11с ва д расмлар). 11е расмда ўтказилган синов жараёнининг босқичлари фотосуратларда келтирилган бўлиб, намуналар икки қисмга ажратилган ва механик синов ускунаси ёрдамида узиш кучи ҳамда чўзилиш кўрсаткичлари аниқланган. Бунда узилишдан олдинги ва кейинги натижалар ўзаро солиштирилган бўлиб, шу йўл билан ПаГ-3 ГПЭнинг ўзини ўзи қайта тиклаш имконияти тасдиқланган. Ўтказилган тажрибалар натижасида олинган графиклардан кўришимиз мумкинки энг яхши натижа 8 соат 60°C сўнг қайд этилиб, узиш кучи 0.92 МПа, чўзилиш дастлабки ҳолатга нисбатан 45% ни

ташқил этди. Бундай натижа гелъ полимер элктролитлар учун яхши кўрсаткич бўлиб, улардан узоқ вақт самарали фойдаланиш имконини беради.

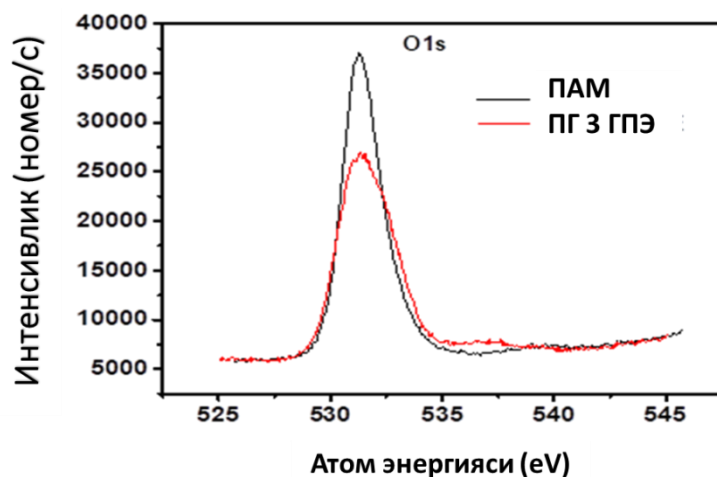
10-расмда соф ПАМ, ГГ ва ПаГ-3 ГПЭ намуналарининг Фурье спектрлари графикларда солиштирилган бўлиб, чўққи интенсивликлари юқори аниқликда тасвирланиши учун барча намуналарга калий бромид (KBr) билан ишлов берилган, у элементлар билан реакцияга киришмайди ва унинг чўққилари графикда тасвирланмайди. Тажрибаларда соф ПАМ 3420 ва 3194  $\text{см}^{-1}$  тўлқин узунлигида N-H боғланишни, 1653 ва 1616  $\text{см}^{-1}$  да C=O ва NH<sub>2</sub> боғланишни, 1420  $\text{см}^{-1}$  да C-N боғланишига тегишли бўлган юқори интенсивликдаги чўққиларни намоён қилди. Фурье спектрларида ГГ 3500 ва 3200  $\text{см}^{-1}$  тўлқин узунлигида кенг ёйилган O-H боғланиш чўққиларини, 1715 ва 1614  $\text{см}^{-1}$  узунликлари мос равишда C=O карбонил гуруҳ ва носимметрик COO- боғланиш чўққилари мавжудлигини кўрсатди.



**10-расм. Намуналарнинг Фурье спектроскопия натижалари**

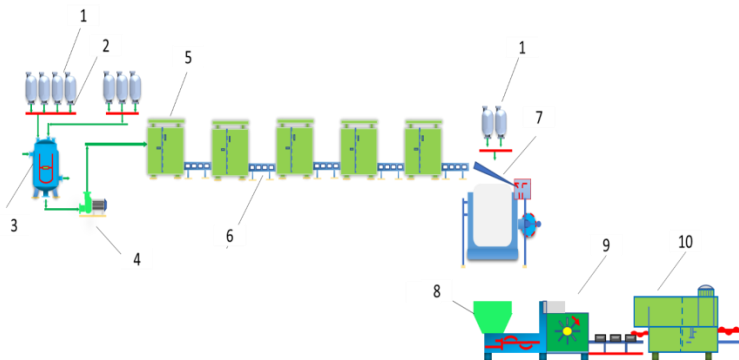
ПаГ-3 ГПЭ намуна эса 3414  $\text{см}^{-1}$  да кенг ёйилган -OH гуруҳга тегишли пикларни, 2923  $\text{см}^{-1}$  ва 2853  $\text{см}^{-1}$  оралиқда носимметрик ва ассиметрик паст интенсивликка эга мэтилен гуруҳ боғланишини, C=O ва -COOH боғланишни эса 1708  $\text{см}^{-1}$  тўлқин узунликларида намоёиш қилди. ПаГ-3 ГПЭ намунанинг C-OH боғланишдаги чўққи интенсивлиги соф ПАМ ва ГГ га нисбатан анча камайган, аксинча C-O-C структурадаги носимметрик C-O боғнинг пик интенсивликлари ортган. Бу ГГ нинг гидроксил гуруҳлари ПАМ асосидаги акриламид маномерларининг C-N гуруҳлари билан реакцияга киришиб улар ўртасида водород боғланиш ҳосил бўлишини кўрсатди. ГГ ўз навбатида ПАМ нинг полимерланишига ҳисса қўшади ва кейинги полимерланишини таъминлайди.

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> тузларининг қўшилиши натижасида ҳар икки ПАМ ва ГГ га тегишли чўққиларнинг интенсивлиги камайган. Хулоса қилишимиз мумкинки, Na ионлари ГГ тармоқларини шакллантириш билан биргалиқда ПАМ ва ГГ ўртасида кўприк вазифасини ҳам бажариши мумкин.



**11-расм. Намуналарнинг Рентген фотоэлектроскопия спектри**

Диссертациянинг гел полимер электролит олишнинг технологик схемаси ва техник-иқтисодий самарадорлиги бобида олиб борилган тажрибалар асосида шуни хулоса қилиш мукинки, ПАМ ва ГГ ўзаро боғланиб мустаҳкам ГПЭни ҳосил қилади. Ушбу тадқиқот иши натижасида олинган янги табиий гидрогелдан олинган ГПЭ бошқа турдаги электролитлардан ўзининг хавфсиз ва барқарор ишлаши, эгилувчан ва паст ҳароратларда ҳам фойдаланиш мумкинлиги ва энг муҳими механик таъсирлар натижасида шикаст етгандан кейин ўзини-ўзи қайта тиклаш хусусиятига эгаллиги билан устунлик қилади. Тажрибалар ёрдамида ва лаборатория шароитида тайёрланган янги гел полимер электролитни ишлаб чиқаришга тавсия этиш учун жараённинг технологик схемаси тузилди. Ушбу технологик схемани ва ускуналарни танлашда ишлаб чиқарувчилар манфаатлари ва фикрларини инобатга олинди. Технологик схемани нисбатан содда ва мавжуд технологияларда амалга ошириш инобатга олинган. Технологик жараённинг тўлиқ bosқичлари 12- расмда келтирилган.



**12-Расм. Гель полимер электролитларни ишлаб чиқаришнинг технологик схемаси.**

1-сиғимли идишлар, 2-дозаторлар, 3-якорли реакторлар, 4-насос (плунжерли), 5-музлатгичлар, 6- лентали конвейерлар, 7- эритмаларни бўктириш ускунаси (КЭА-250), 8 ва 9 - қолиплаш ва пичоқлар ёрдамида кесиш, 10- қадоқлаш ускунаси (ВЭМУ ёки РЭУ)

Гель полимер электролит олиш учун 12-расм 1-да кўрсатилган сиғимли идишларга рецепт асосида мос равишда поливинил спирт, полиакриламид, геллан ва КОН, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> лар массани назорат қилувчи 2-дозаторлар ёрдамида 3-якорли реакторга туширилади, реакторда сувнинг ҳарорати аста секин 90°C ҳароратгача кўтарилиб 2-соатгача аралаштиргич ёрдамида аралаштириб турилади. Тайёр ҳолатга келтирилган аралашма кейинги босқичда -4 °С музлатгичда сақланади, сўнгра эса лентали конвейерларга узатилиб хона ҳароратида (23°C) муздан эритилади.

Музлатиш-эритиш даври амалий тажрибаларимизда 1-дан 7-гача амалга оширилди ва энг яхши натижалар ушбу давр 5 марта такрорланганда қайд этилди. Шу боисдан ҳам биз ишлаб чиқариш жараёнларида музлатиш-эритиш жараёнини 5-марта такрорлашни тавсия этдик. Музлатиб эритилгандан сўнг кейинги босқичда намуналар КОН эритмаси солинган 7-бўктириш қозонига (КЭА-250) туширилади ва 24 соат давомида сақланади. Ушбу ускуна ёрдамида намунани кейинги босқичга автоматик тарзда узатилади ва намуналар 8-9 ускуналар ёрдамида талаб қилинган ўлчамларда кесиб берилади. Охириги босқичда 10-ускуна ёрдамида намуналар қадоқланиб тайёр гел полимер электролит сақлаш омборига ўтказилади.

### ХУЛОСАЛАР:

1. Табиий геллан полисахаридининг хоссалари ўрганилди ва синов натижаларига кўра улардан энергия сақловчи қурилмалар учун электролит сифатида фойдаланиш мумкинлиги исботланди.
2. Тажрибалар ёрдамида ПВС+Геллан ва ПАК+Гелланнинг ўзаро нисбатлари аниқланди ва улардан музлатиш-эритиш ҳамда бўктириш усуллари орқали гел полимер электролит олиш технологияси ишлаб чиқаришга таклиф қилинди.
3. ПВС+Геллан ва ПАК+Геллан гел полимер электролитнинг физик-механик ва электрохимий хоссалари электрон микроскопия, рентген фазавий таҳлил, техник синов ускунаси ҳамда электрохимий тест методлари ёрдамида назарий ва амалий таҳлил қилинди. Натижалар қийёсланди ва оптимал вариантлар ишлаб чиқилди.
4. Икки тармоқли гидрогел олиш усули гел полимерэлектролитлар олиш учун тадбиқ қилинди ва гел полимер электролитларнинг мустаҳкамлигини оширишга эришилди.
5. Таклиф қилинаётган ПАК+Геллан гел полимер электролити ташқи таъсирларсиз ўзини-ўзи қайта тиклаш имконияти мавжудлиги тажрибалар орқали исботланди.
6. ПВС+Геллан ва ПАК+Геллан гел полимер электролитлари паст ҳарорат ва турли хилдаги эгиш бурчаклари остида ҳам, суперконденсаторларда ҳам барқарор ишлаши синов усуллари ёрдамида исботланди.
7. Тадқиқот иши орқали мослашувчан суперконденсаторлар учун янги қаттиқ гел полимер электролит олишга эришилди ва ишлаб чиқаришга тавсия этилди.



**НАУЧНЫЙ СОВЕТ РнД.03/30.12.2019.К/ Т.66.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАМАНГАНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**НАМАНГАНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ШОДМАНОВ ЖАСУР АБДУМУХАММАДОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДВУХСЕТЕВЫХ ГЕЛЬ ПОЛИМЕРНЫХ  
ЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ СОВМЕСТИМЫХ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**

**02.00.14 – Технология органических веществ и материалов на их основе**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (РнД) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Наманган–2022**

**Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) по техническим наукам зарегистрировано в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2021.3.PhD/Т2357.**

Диссертация выполнена в Наманганском инженерно-технологическом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)) размещен на веб-страница по адресу: [www.nammti.uz](http://www.nammti.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:**

**Боймирзаев Азамат Солиевич**  
доктор химических наук, доцент

**Официальные оппоненты:**

**Эшкурбонов Фуркат Бозорович**  
доктор химических наук, доцент

**Соттикулов Элёр Сотимбоевич**  
PhD. старший научный сотрудник

**Ведущая организация:**

**Ферганский политехнический институт**

Защита диссертации состоится «5» февраль 2022 года в 13<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.12.2019.К/Т.66.01 при Наманганском инженерно-технологическом институте по адресу: 160115, г. Наманган, ул. Касансайская-7, Административное здание Наманганского инженерно-технологического института, 1-й этаж, малый зал совещаний, тел: (+99869) 228-76-68, 225-10-07, факс: (+99869) 228-76-75, e-mail: [niei\\_nfo@edi.uz](mailto:niei_nfo@edi.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Наманганского инженерно-технологического института (зарегистрирована под № 446). Адрес: 160115, г. Наманган, ул. Касансайская-7. Тел.: (+99869) 228-76-68, факс: (+99869) 228-76-75, e-mail: [niei\\_nfo@edi.uz](mailto:niei_nfo@edi.uz).

Автореферат диссертации разослан «24» января 2022 года  
(Протокол рассылки № 1 от «24» января 2022 года)

**О.К. Эргашев**  
Председатель научного совета по присуждению  
ученой степени, д.х.н., профессор

**Д.Ш.Шеркузиев**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученой степени, к.т.н., профессор

**Х.С. Бекназаров**  
Председатель научного семинара при научном совете  
по присуждению ученой степени, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации (PhD) доктора философии)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире электроэнергия является важным фактором развития человечества и экономического роста, а ее сохранение и рациональное использование является одной из самых актуальных проблем. Сегодня аккумуляторы широко используются в качестве источников электроэнергии в экономике и промышленной электронике, в том числе на транспорте. В качестве источников электроэнергии важно создание суперконденсаторов с высокими механическими свойствами и КПД по сравнению с аккумуляторами в автомобильной промышленности и электромобилях, проведение исследований по улучшению электрических свойств энергосберегающих источников с высокой удельной энергией и мощностью, достижение научных и практические инновации.

Обосновать следующие научные решения по созданию высокоэффективных энергосберегающих устройств в современном мире, в том числе: выбор полимерно-гелевых электролитов для создания высокопрочных, гибких и самовосстанавливающихся суперконденсаторов; определение электрохимических свойств местных и дешевых электролитов на полимерной основе для использования в суперконденсаторах; исследование механической прочности, сопротивления деформациям растяжения и сжатия гибких суперконденсаторов при низких температурах; должны быть раскрыты закономерности самовосстановления полимерно-гелевых электролитов.

В стране достигаются определенные теоретические и практические результаты по повышению эффективности источников электроэнергии. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан поставлены задачи «повышения конкурентоспособности национальной экономики, снижения энерго- и ресурсоемкости в экономике, разработки принципиально новых продуктов и технологий». В связи с этим важны научные исследования, в том числе создание и разработка новых видов качественных и недорогих энергосберегающих устройств с необходимыми технологическими и конструктивными параметрами.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в указах Президента Республики Узбекистан № УП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мероприятий по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, энергоэффективности в экономике и социальной сфере на 2017-2021 годы» и «Концепция электроснабжения Республики Узбекистан в 2020-2030 годах», также исследование данной диссертации в определенной степени способствует реализации задач в других нормативно-правовых актах, касающихся данной деятельности.

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан ПК-4947 «О стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы»



**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники в Республике.** Настоящее исследование выполнено в рамках приоритетных направлений развития науки и техники республики II. «Энергетика, энергия и ресурсосбережение», III и IV: “Энергетика, экономия энергоресурсов, транспорт, машины и приборостроение, современная электроника, микроэлектроника, фотоника и развитие электронного приборостроения”.

**Степень изученности проблемы.** Ряд зарубежных ученых, в том числе Christian Weber, R. Zhang, Gautham Prasad G Koh Sing Ngai1 & S. Ramesh, C. Subramani, Q. Chen, Qin Gang, N.F. Abdul Halim, G.-P. Kim, Girum Ayalneh Tiruye, Thangavel, R., Singh, P. K, Choudhury N, Lemercier A., Gong, J. P, Giavasis I., Hassan C. M, Агибаева Л.Э, Табаров Фаррух Саадиевич, Измайлова Марианна Юрьевна, Минаев Константин Мадестович, Антипов Е.В и другие занимались и проводили эффективные исследования в области изучения энергосберегающих средств, суперконденсаторов и гелевых полимерных электролитов (ГПЭ), их физико-механических свойств, созданием новых электролитов, увеличением ассортимента и направлениями улучшения качества изделий на основе разумного использования существующего и дешёвого сырья. Во всём мире имеется некоторый опыт и научные разработки по технологии производства электролитов с использованием различных гидрогелей для СК. Полисахарид геллана плохо изучен как электролит, и исследования по улучшению его механических свойств и применению в суперконденсаторах встречаются редко.

В нашей стране в научной школе академика АН Р.Уз.А.Т.Джалилова выполнены работы по использованию активированного угля как электрода в суперконденсаторах и проделана значительная работа в этом направлении, однако до настоящего времени использование гелевых полимеров в качестве твердого электролита для суперконденсаторов не изучено.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательской деятельности вуза, где выполнена диссертация.** Диссертационные исследования проводились в Наманганском инженерно-технологическом институте и в Хенанском политехническом университете (г.Хенан, Китай) соответствии с соглашением между правительством Республики Узбекистан и правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в области науки и технологий от 01.11.2019 г.

**Целью исследования** является создание технологию получения двухсетевых гель-полимерных электролитов для совместимых суперконденсаторов

**Задачи исследования:**

исследование способов улучшения механических свойств гелевого полимерного электролита путем изучения и анализа структуры бинарной сетки;  
проведение литературного обзора о существующих электролитах для СК и анализ проблем и недостатков встречающихся при их использовании;  
создание ГПЭ для СК используя местное и дешевое сырьё;

проведение испытаний и характеризовать электрохимические и механические свойства созданного ГПЭ ;

исследование и проведение испытаний возможности использования созданного ГПЭ в СК в стандартных условиях;

испытание нового ГПЭ с основой СК в различных механических условиях при низких температурах и научное обоснование результатов;

формирование и самовосстановления свойств нового ГПЭ с основой СК и проведение испытаний;

анализ результатов проведенных испытаний, обобщение, публикация и рекомендация в производство.

**Объектами исследования** являются гель-полимерные электролиты такие как поливиниловый спирт (ПВС), геллан гум (ГГ), полиакриламид (ПАМ) и подобраны другие полимеры на основе экспериментов.

**Предмет исследования** считаются суперконденсаторы, гелевые полимерные электролиты и методы улучшения механических свойств и технологии их определения.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в диссертации задач использовались теоретический анализ и практические экспериментальные методы, такие как инфракрасная спектроскопия Фурье (Bruker IFS-25), Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (Axis Ultra, Kratos Analytik LTD, Англия), также механические свойства образцов измерены на механическом анализаторе WSM-10kN (Changchun Intelligent Instrument Equipment Co. Ltd. China), сканирующий электронный микроскоп (FESEM, FEI Quanta 250, Brock AG, Германия), ионная проводимость образцов была измерена на электрохимической импеданс спектроскопии (electrochemical workstation, Parstat 2273, Princeton Applied Research Co., USA).

**Научная новизна исследования** состоит из следующих:

впервые на основе физико-механических свойств гель-полимерных электролитов создан новый твердый и прочный гелевый полимерный электролит для совместимых суперконденсаторов;

обоснован возможность использования полисахарида геллана в качестве твердого электролита;

на основе метода получения двухсетевых гидрогелей получен гель-полимерный электролит (ГПЭ) и определены повышения его механических свойств;

определены связь и структура между геллан/поливинил спирт, геллан/полиакриламид с помощью методами испытания;

создана возможность использования суперконденсатора (СК) на основе нового ГПЭ при различных механических воздействиях и в низких температурах.

**Практические результаты исследования** состоят из следующих:

создана возможность использование природных гидрогелей в качестве полимерного электролита для СК;

с помощью методов испытаний доказано повышение механических свойств ГПЭ за счет двухсеточного соединения;

разработаны технология и способ получения ГПЭ в результате смешивания геллана и полимеров;

определено наличие поперечных связей между гелланом/ поливиниловым спиртом, гелланом/полиакриламидами и рассчитаны их оптимальные пропорции в составе образца;

экспериментально доказана возможность использования вновь созданного ГПЭ в СК;

**Достоверность результатов исследований** объясняется приготовлением нового гелевого полимерного электролита и проверкой всех его свойств, их логическим соответствием существующей и действующей фундаментальной теории, использованием стандартизированных методов и средств в вычислительной работе, внедрением результатов в производство с реальной экономической эффективностью.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость исследования объясняется тем, что используемые технологии и методы испытаний для получения гелевых полимерных электролитов, использованное оборудование и формулы соответствуют действующим стандартам, техническим условиям и требованиям, математическим законам и их результатам.

Практическое значение этого исследования заключается в создании нового твердого гелевого полимерного электролита для суперконденсаторов, используемых в совместимых, гибких и предназначенных для ношения (wearable electronic) электронных устройствах, достигнуто обеспечение требований удовлетворения спроса на современные энергосберегающие устройства, увеличения ассортимента электролитов, снижения затрат и обеспечения безопасности и надежной стабильной работы оборудования.

#### **Внедрение результатов исследований.**

На основании полученных научных результатов о механических свойствах гелевых полимерных электролитов:

В ООО «Экстра Премьер БАТ» внедрена технология получения тонкослойного гелевого полимерного электролита, созданной методом получения двухцепочечного гелевого полимерного электролита для суперконденсаторов (справка № 04-3 /2121 ассоциации «Узэлтехсаноат» от 13.10.2021). В результате, получена возможность создания совместимых гибких суперконденсаторов на основе жесткого гелевого полимерного электролита, обладающих низкотемпературными и самовосстанавливающимися свойствами;

Метод определения физико-механических, электрофизических и электрохимических свойств гелевых полимерных электролитов в гибридных источниках электроэнергии внедрен в АО «Фотон» (справка № 04-3 /2121 ассоциации «Узэлтехсаноат» от 13.10.2021). В результате, это дало возможность использования нового гелево-полимерного продукта в гибридных источниках питания.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждались на 3 международных и 2 республиканских научных конференциях.

**Публикация результатов исследования.** Всего по теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 7 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 3 из них зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 115 и объемом диссертации из 100 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и необходимость темы диссертации, цели и задачи, а также уровень изученности проблемы, методы исследования, объект и предмет, показано соответствие приоритетных направлений развития науки и техники республики Узбекистан, представлены научная новизна и практические результаты, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость, дан перечень внедрения результатов исследований в практику, приведены объем и структура опубликованных работ и диссертаций.

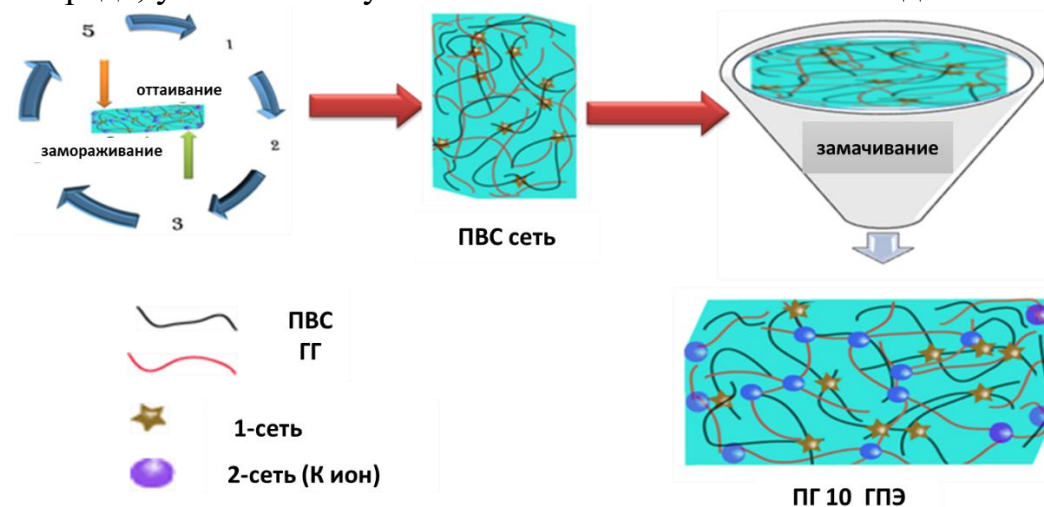
В первой главе диссертации, озаглавленной **«Суперконденсаторы и их практическое значение»**, подробно описаны суперконденсаторы, их устройство и принцип действия, преимущества, применение в промышленности и потребительских товарах, типы и практическое значение суперконденсаторов, электродов и электролитов и их типы, недостатки. и существующие проблемы, Гелевые полимерные электролиты, их физико-механические свойства и превосходящие особенности над другими типами электролитов.

Во второй главе диссертации озаглавленной **«Выбор и обоснование объектов и методов исследования»** даны научные сведения методики и технология приготовления твердого гель-полимерного электролита для суперконденсатора, выбор и обоснование материалов для гелевых полимерных электролитов, оборудование для определения физико-химических и механических свойств образцов, приборы и их свойства непосредственно участвующие в процессе исследования, условия и методы проведения экспериментов с высокой точностью, теоретический анализ экспериментов, преимущества и расчет результатов научно-исследовательских работ с помощью формул.

В третьей главе диссертации озаглавленной **«Создание нового гелеполимерного электролита на основе поливинилового спирта и геллан гум»** подробно описаны получение гелевого полимерного электролита в сочетании с поливиниловым спиртом и природным полисахаридом геллан гум, соответствие требованиям стандарта результатов испытаний полученных

образцов, результаты испытаний его физико-химических свойств, самое главное, подробно описаны результаты испытаний предлагаемого нами нового суперконденсатора приготовленного на основе гель-полимерного электролита, проведенных при различных углах изгиба и низких температурах.

В этой главе изложено приготовление гель полимерного электролита ПВС и ГГ (называемый ПГ и ГПЭ) на основе использования технологических процессов «замораживание-оттаивание» и «набухание» методом «двухсетчатых гидрогелей» (рис.1). Главное значение этих методов заключается в том, что процесс естественный, образуются межмолекулярные связи и не подвергаются воздействию каких-либо химических реакций. Это, в свою очередь, увеличивает устойчивость ГПЭ к внешним воздействиям.

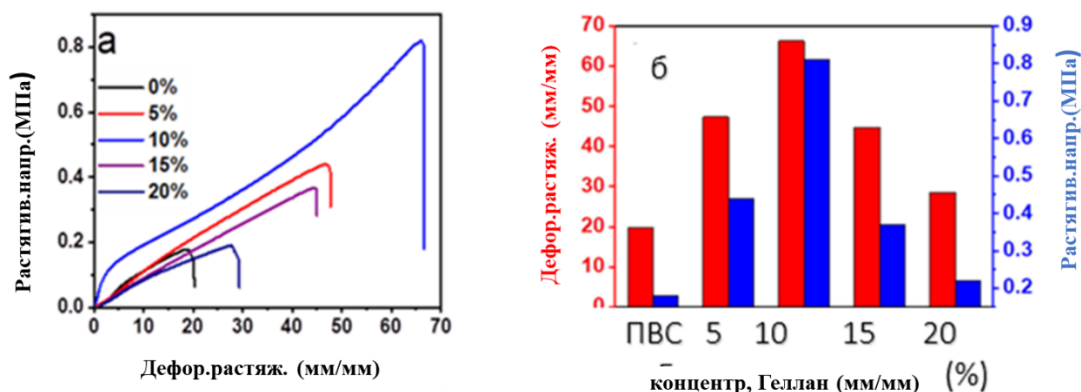


**Рис.1. Получение двухсетового гелевого полимерного электролита молекулярно связанных поливинилового спирта и геллана**

Первоначально формировалась первая сетка двухсеточных гидрогелей, т.е. формирование сетки ПВС проводилось методом замораживания-оттаивания. В этом случае количество циклов замораживания-оттаивания положительно влияло на показатель прочности ГПЭ. В ряде работ показаны, что при повторении этого цикла 5-7 раз наряду с механическими характеристиками происходит расширение аморфных областей в структуре ПВС. Поэтому количество циклов замораживания-оттаивания для этого эксперимента было установлено равным 5 раз, при этом период замораживания составлял 20 часов при  $-20^{\circ}\text{C}$ , а цикл оттаивания составлял 4 часа при комнатной температуре.

В процессе замораживания скорость движения молекул ПВС резко уменьшается, в результате чего молекулы приближаются друг к другу и взаимосвязываются, и микрокристаллы формируются в качестве точек взаимосвязи. В процессе плавления молекулы ПВС снова начинают двигаться, что приводит к росту кристаллов и формированию сетки гидрогеля. В результате повторения этого метода сетевое соединение еще больше упрочняется. Вторая сетка, сетка ГГ, была сформирована методом погружения

образцов в водный раствор КОН после метода замораживания-оттаивания. В этом процессе ионы  $K^+$  служат для связывания ГГ друг с другом и обеспечения ионной проницаемости. Таким образом,  $K^+$  играет важную роль, он одновременно выполняет две функции, связывающую и проводящую, и обеспечивает прочность ГПЭ. Поскольку в качестве основного объекта наших экспериментов был выбран ГГ, для определения оптимальной пропорции его содержания в ГПЭ мы приготовили образцы путем изменения его концентрации в соотношениях, (ПВС / ГГ = 100: 0%, 95: 5%, 90: 10%, 85: 15%, 80: 20%). Образцы соответственно наименовали ПВС, ПГ-5, ПГ-10, ПГ-15, ПГ-20, и провели испытания его физико-механических и электрохимических показателей. На рисунке 4 показаны результаты испытаний механических свойств ПГ ГПЭ. Из графика видно, что с увеличением массы ГГ механические свойства ГПЭ также соответственно увеличиваются и при достижении концентрации ГГ 10% можно наблюдать наилучшие результаты. В частности, можно отметить, что разрывная сила при вытягивании (tensile stress) образца изначально составляла от 0,17 МПа до 0,8 МПа, а удлинение при разрыве составило от 20 мм / мм до 66,3 мм / мм (Рис 2). Причина этого заключается в том, что под действием взаимных электростатических сил между цепями геллана и чистого ПВС и в результате образования связей образуется твердый гидрогель, и его механическая прочность в 4 раза выше, чем у чистого ПВС.



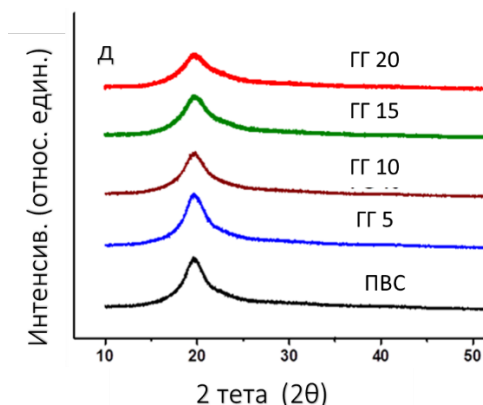
**Рис.2. Влияние концентрации ГГ на механические свойства ГПЭ:**

- графические результаты испытаний на вытягивание / разрыв,
- сравнение результатов испытаний в виде гистограммы

Образование водородных связей между карбоксильными группами в цепи Геллана и гидроксильными группами в цепи ПВС приводит к образованию жесткого и гибкого гидрогеля с макропористой решеткой. Увеличение доли ГГ в образце более чем на 10% привело к снижению его механических свойств, поэтому исходя из механических свойств ПГ 10 был признан наиболее оптимальным соотношением.

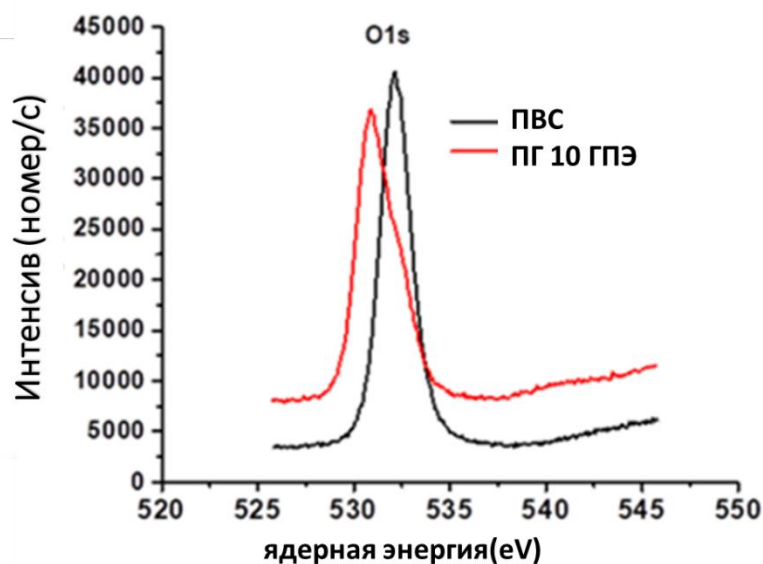
Для обеспечения высокой точности экспериментов, для научного подтверждения выдвинутых гипотез и для изучения связывающих свойств элементов в ГПЭ были выполнены несколько структурных и морфологических исследований. В частности, имение ГПЭ аморфной структуры очень важна для

ее ионной проницаемости и водопоглощения, поэтому при различных концентрациях ПГ ГПЭ после метода набухания (замачивания) были проведены испытания с помощью Фурье дифрактометра (рис. 3). Чистый ПВС является полукристаллическим по своей природе  $2\theta = 19.8^\circ$  ( $2\theta = 19.8^\circ$ ) во 2-й =  $19,8^\circ$  и (101) кристаллических плоскостях имеет четкие дифракционные пики. Из рисунка 3 мы можем ясно видеть, что интенсивность пиков ПВС уменьшается с увеличением доли ГГ в образце, что указывает на наличие водородной связи между ПВС и ГГ и расширение аморфных областей в результате кристаллизации в ПВС в составе ГПЭ, что приводит к увеличению ионной проводимости за счет расширения аморфной области и механических свойств за счет связывания.



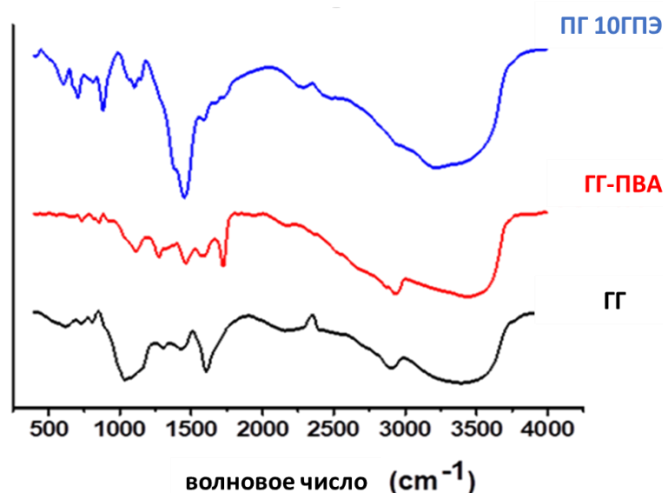
**Рис.3. Рентгеновские спектры образцов**

Были проведены испытания с помощью Рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФС) для определения природы химических связей между ГГ и ПВС в составе образца ГПЭ. При этом лучшие характеристики ПГ 10 ГПЭ и пики чистого ПВС сравнивались на графических изображениях (рис. 4). После деконволюции ПГ 10 ГПЭ и чистого ПВС в спектре O1s между результатами 531,4 и 532,1 эВ, анализом подтверждено наличие связи в O1s пиках с С-О (кислород, связанный отдельно с алифатическим углеродом), С = О (кислород, дважды связанный с ароматическим углеродом) С-О, С-ОН и С = О группами. Тот факт, что пик С = О в ПГ10 ГПЭ намного меньше, чем у ПВС, можно объяснить этим пиком, который возникает в карбонильных группах ГГ, а связи С-ОН присутствуют в обоих элементах ПВС и ГГ.



**Рис.4. Рентгеновские спектры образца**

На следующем этапе были проведены испытания Фурье-спектроскопии для определения взаимосвязи между ПВС, ГГ изменениями, вызванными после воздействия ионов  $K^+$  (рис. 5). В литературах чистый ГГ демонстрировал абсорбционные пики при длинах волн  $3273\text{ см}^{-1}$ , а при  $3433\text{ см}^{-1}$  демонстрировал глюкопиранозные кольца, содержащие гидроксильные группы. Интенсивные пики в областях  $1612\text{ см}^{-1}$  и  $1411\text{ см}^{-1}$  соответствуют асимметричному и симметричному удлинению карбоксилатных групп. Второй спектр принадлежал образцу после набухания (замачивания) ГГ в КОН, значительного изменения пиков при этом не наблюдалось.



**Рис.5. Графические изображения Фурье спектроскопии образцов**

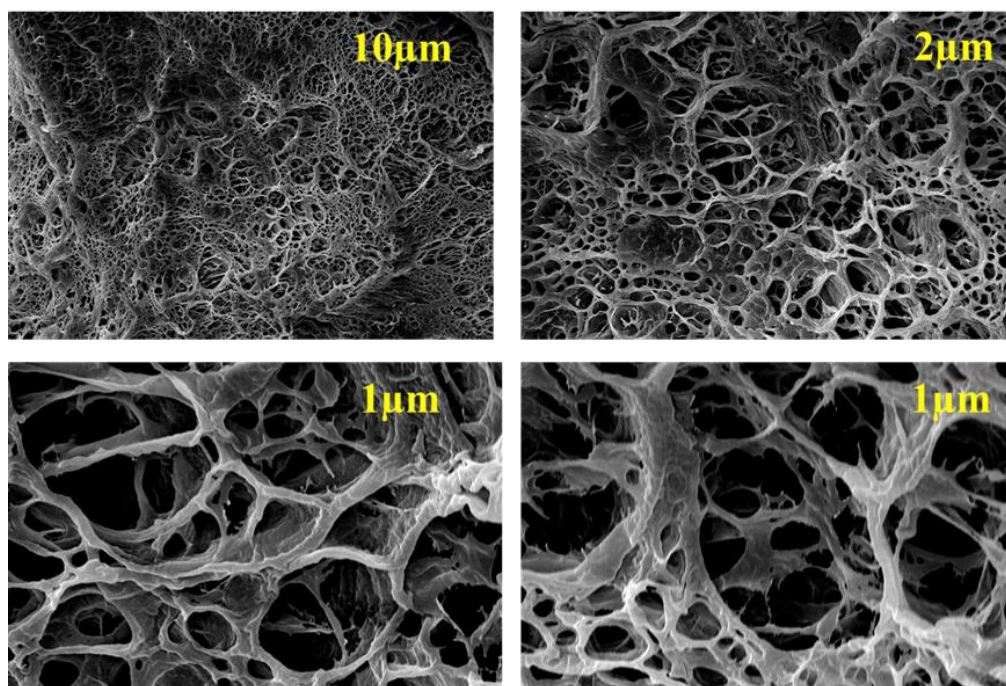
Только пики карбоксильных групп слегка сдвинулись и изменились на  $1643\text{ см}^{-1}$  и  $1442\text{ см}^{-1}$ , небольшие пики при  $1411\text{ см}^{-1}$  характеризуются принадлежностью к группам ОН. В последнем спектре оптимальный вариант относится образцу ГГЭ ПГ 10, в котором отчетливо видно появление новых пиков, соответствующих характеру ПВС. Полимеры ГГ / ПВС проявляют



специфические адсорбционные связи в диапазоне от  $3500\text{ см}^{-1}$  до  $3273\text{ см}^{-1}$  и от  $1611\text{ см}^{-1}$  до  $1263\text{ см}^{-1}$ .

Широкие и высокоинтенсивные пики гидроксильных групп при  $3273\text{ см}^{-1}$  доказывают наличие водородной связи между гелланом и полимером ПВС.

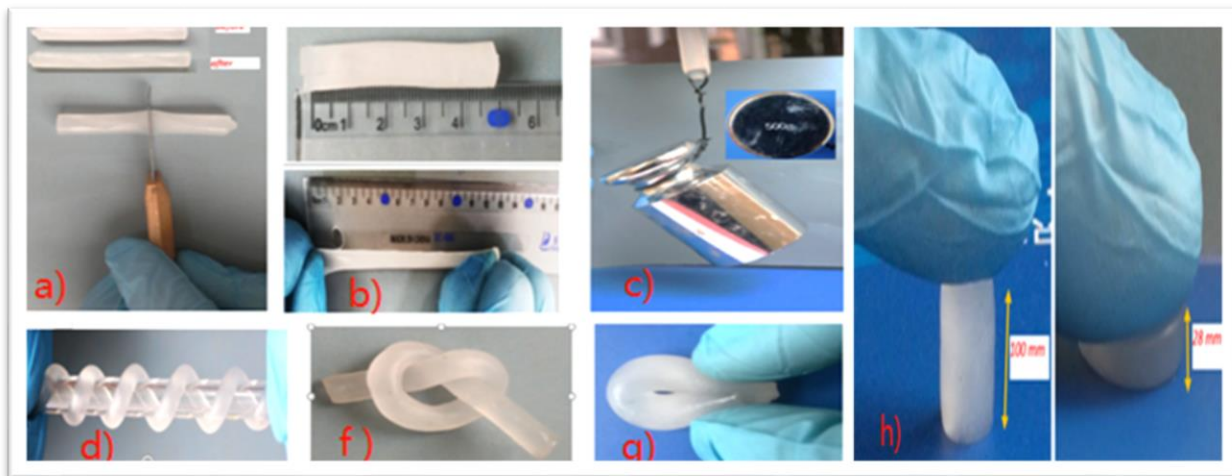
Морфологию поверхности образцов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа. На рисунке 6 показаны небольшие поры, поры и туннели образца ПГ10 ГПЭ. Как отмечалось выше, эти поры влияют на расположение ионов  $\text{KOH}$  в образце и увеличение ионной проницаемости. В структуре чистого гелланового гума толстые стенки и гладкие отверстия имеют плоскую поверхность относительно пор, отверстия ПГ 10 ГПЭ состоят из тонких и похожих на паутинку волокнистых сетей, а поверхность также неровная. Также из рисунков видно, что расположение ПВС и ГГ равномерно распределено по поверхности, и взаимосвязаны между собой. Такое распределение улучшает взаимозависимость сетей, обе сети улучшают механические свойства образца, такая структура улучшает водопоглощение и полезна для большей ионной проводимости образца. А также обеспечивает поглощение и накопление  $\text{KOH}$  в составе ГПЭ.



**Рис.6. Морфология поверхности образца**

При использовании на практике ГПЭ вместе с СК оно может подвергаться множеству механических воздействий. К таким воздействиям относятся изгиб, влияние сил тяжести, деформация, повреждение, удлинение и сжатие. Поэтому подготовленный цилиндрический образец ПГ-10 ГПЭ подвергался следующим механическим воздействиям: разрезанию в свободном состоянии острым лезвием (а), вытягиванию (б) в два раза большей начальной длины, подвешиванию тяжести весом  $500\text{ г}$  (с), наматыванию на катушку в

виде спирали (d), завязыванию (e), изгибу (f) и прессованию (j) (рис.7). Эти виды испытаний служат для гарантийной работы СК в различных условиях.



**Рис.7. Испытания ПГ 10 ГПЭ при различных механических воздействиях: (а)-разрезание, (б)-вытягивание, (с)- подвешивание тяжести весом 500 г, (d)- наматывание на катушку в виде спирали, (е)- завязывание, (f)- изгиб, (j)-прессование**

**таблица-1**

**Сравнение свойств механической и ионной проводимости образцов**

<b>Концентрация КОН (М)</b>	<b>Растягивающее напряжение (МПа)</b>	<b>Деформация растяжения (мм)</b>	<b>Ионная проводимость (См/см)</b>
<b>0</b>	0.17	19	0.003
<b>0.2</b>	0.23	22	0.2
<b>0.4</b>	0.28	33.9	0.21
<b>0.6</b>	0.54	58.5	0.21
<b>0.8</b>	<b>0.81</b>	<b>66.3</b>	<b>0.21</b>
<b>1</b>	0.56	49.2	0.23

В качестве вывода, благодаря исследовательской работе, проведенной в этом разделе, мы смогли создать новый тип композитного ПГ 10 ГПЭ для СК. Результаты испытаний показали, что этот электролит имеет высокие механические свойства и ионную проницаемость, невысокую стоимость и нетоксичность (безвреден). Используемый геллан гум представляет собой натуральный полисахарид, изготовленный из него твердый полимерный электролит имеет множество преимуществ, таких как безопасность, отсутствие утечек, невзрывоопасность, стойкость к истиранию, хороший контакт с электродом. Практическое значение работы заключается в использовании геля в качестве электролита и улучшение механических свойств гелевых полимерных

электролитов. Полученные результаты можно сформулировать следующими выводами:

- методом замораживания-оттаивания сформулирована полимерная цепь ПВС;
- достигнуто свободное движение ионов аморфных структурных матрицах;
- повышены электрохимические свойства ГПЭ в результате погружением в солевые растворы;
- обнаружено, что для геллана ионы  $K^+$  в образце действуют как переносчики ионов и связывающие вещества;
- использованием методов расчета и проверки с помощью экспериментов были определены оптимальные доли геллана и ПВС в составе пробы;
- эксперименты и испытания показали, что ПВС / геллановый ГПЭ можно использовать при различных деформациях, механических воздействиях и низких температурах.

По результатам проведенных испытаний ПГ 10 ГПЭ получены результаты:

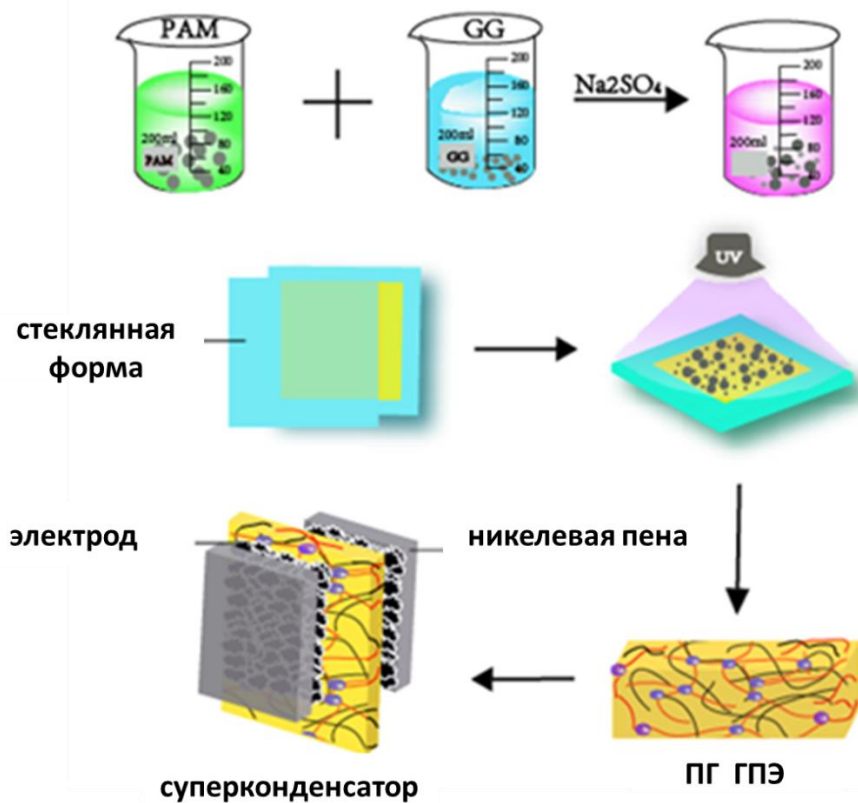
-наивысшие механические характеристики – разрывная нагрузка 0,81 МПа и удлинение 66,3 мм / мм;

-наилучшая ионная проницаемость - 0,21 см / см.

Вместе с электродом: Удельная энергоемкость 198 Ф/г, стабильная работа при  $-40^{\circ}C$ , активная работа при углах изгиба до  $230^{\circ}$ .

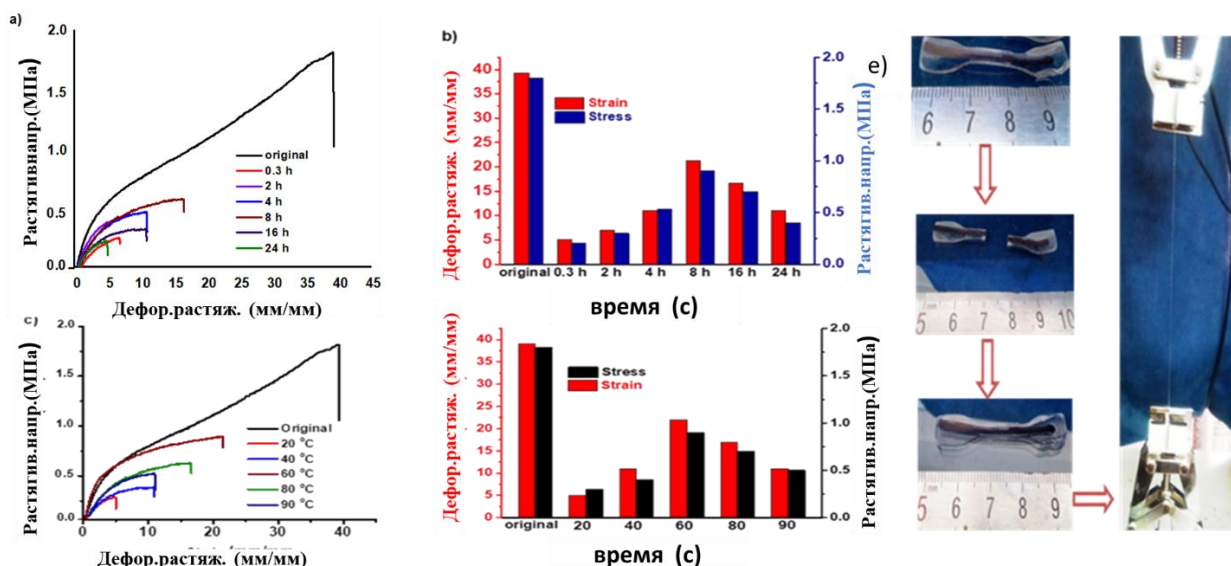
Основываясь на этих результатах, предлагаемая нами модель СК позволяет использовать ее в электронных устройствах, работающих в различных условиях деформации и при низких температурах.

В следующий раздел диссертации, озаглавленной «создание нового самовосстанавливающегося гелевого полимерного электролита» изучена возможность использования полиакриламида (ПАМ) в качестве полимерной матрицы и в результате его сложного связывания с гелем получение гелевого полимерного электролита, самовосстановление полученного нового гелевого полимерного электролита и проведение различных испытаний в условиях различного вида деформаций и возможность использования электролита в гибких (совместимых) суперконденсаторах. Образцы были приготовлены в соответствии с последовательностью, показанной на рисунке 8, и все их физико-механические свойства были испытаны в соответствии со стандартными требованиями. Полученные результаты были проанализированы, свойства электролита были определены с использованием методов испытаний. На практике в результате использования ГПЭ при различных условиях деформации вследствие внешних и внутренних воздействий наблюдаются множество случаев выхода из строя электронных устройств или СК. В результате происходит сбой в работе всего устройства или СК, что приводит к проблемам и экономическим потерям. Одним из положительных решений для предотвращения таких неприятностей является формирование СК или свойств самовосстановления электрода и электролитов входящих в его состав.



**Рис.8. Структурная схема получения ПАМ/ГГ ГПЭ**

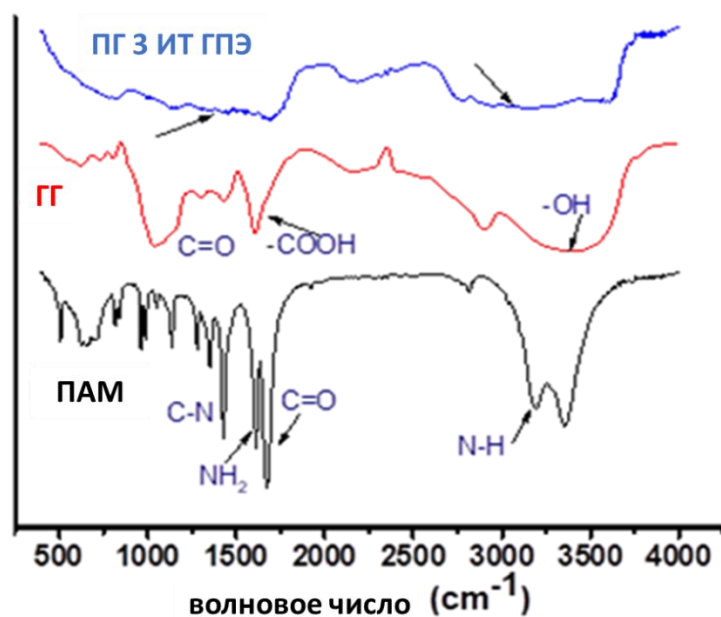
В результате этого метода СК может восстанавливать свои первоначальные свойства на определенный период времени без каких-либо внешних воздействий и вмешательств. Поэтому одним из основных целей нашего исследования является увеличение и проверка способности к самовосстановлению предлагаемого нами ГПЭ. ПАГ-3 ГПЭ обладает именно такими свойствами и может восстанавливать исходное состояние без внешних воздействий. Здесь между макромолекулами ПАМ и ГГ образуются водородные связи. На этом этапе были приготовлены образцы ГПЭ ПаГ-3, которые разрезались пополам с помощью острого ножа, и эксперименты проводились в два этапа: оценка свойств самовосстановление под воздействием разного времени и температуры (рис. 9). Сначала мы проверили способность двух разделенных образцов восстанавливать свои механические параметры, для этого мы соединяли разделенные две части изменяя под воздействием постоянной температуры ( $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) изменяя время (0,3, 2, 4, 8, 16 и 24 часа) (рис 9а и 9б). На втором этапе свойства самовосстановления образцов ПаГ ГПЭ определялись с помощью механических испытательных экспериментов при различных температурах  $0, 20, 40, 60, 80$  и  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 9с и 9д), предполагая, что время остается постоянным ( 8 ч). на рисунке 11е показаны фотографии этапов процесса испытания, образцы разделены на две части, и с помощью использования оборудования для механических испытаний были определены разрывная сила и удлинение.



**Рис.9. Оценка самовосстановления образцов механическим методом: (а-б) под воздействием разного времени, (с-д) в результате различной температуры, (е) последовательность технологического процесса представлена на фотографиях.**

При этом сравнивались результаты до обрыва и после самовосстановления, и этим подтверждена возможность самовосстановления ПаГ-3 ГПЭ. Из графиков, полученных в результате экспериментов, видно, что лучший результат был зафиксирован через 8 часов при 60°C, разрывная сила составила 0,92 МПа, предварительное удлинение составило 45% по сравнению с исходным состоянием. Такой результат является хорошим показателем для гелевых полимерных электролитов и позволяет эффективно использовать их в течение длительного времени.

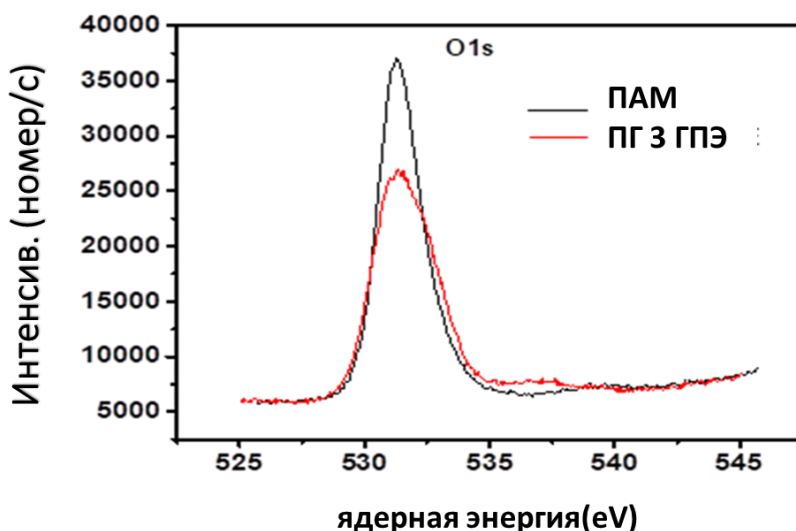
На рисунке 10 ФТ-ИК-спектры образцов чистого ПАМ, ГГ и ПаГ-3 ГПЭ сравнивались на графиках, и для высокоточного отображения пиковых интенсивностей все образцы были обработаны бромидом калия (KBr), который не вступает в реакцию с элементами и его пики не отражаются в графиках. В экспериментах чистый ПАМ показал N-H связи на длинах волн 3420 и 3194 см<sup>-1</sup>, C = O и NH<sub>2</sub> связи соответственно на 1653 и 1616 см<sup>-1</sup>, а также пики высокой интенсивности, соответствующие C-N связи на 1420 см<sup>-1</sup>. В ФТИР-спектрах ГГ показал наличие широко разбросанных пиков связей O-H на длинах волн 3500 и 3200 см<sup>-1</sup>, пиков карбонильной группы C=O и несимметричных связей COO- на длинах 1715 и 1614 см<sup>-1</sup>. Образец ПаГ-3 ГПЭ показал пики широко распространенной -OH группы при 3414 см<sup>-1</sup>, симметричную и асимметричную низкоинтенсивную связь метиленовой группы между 2923 см<sup>-1</sup> и 2853 см<sup>-1</sup> и продемонстрирована связь C = O и -COOH в длинах волны 1708см<sup>-1</sup>. Интенсивности пиков на связи



**Рис.10. Спектры Фурье инфракрасной спектроскопии образцов**

COOH образца ПаГ-3 ГПЭ были значительно уменьшены по сравнению с чистым ПАМ и ГГ, тогда как интенсивности пиков носимметричной связи С-О в структуре С-О-С были увеличены. Это показало, что гидроксильные группы ГГ реагируют с С-Н группами мономеров акриламида в ПАМ с образованием водородной связи между ними. ГГ в свою очередь, способствует образованию полимерной сетки с ГГ.

В результате добавления солей  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  интенсивность пиков, соответствующих как ПАМ, так и ГГ, уменьшилась. Можно сделать вывод, что ионы Na наряду с образованием сетей ГГ могут действовать как мост между ПАМ и ГГ.

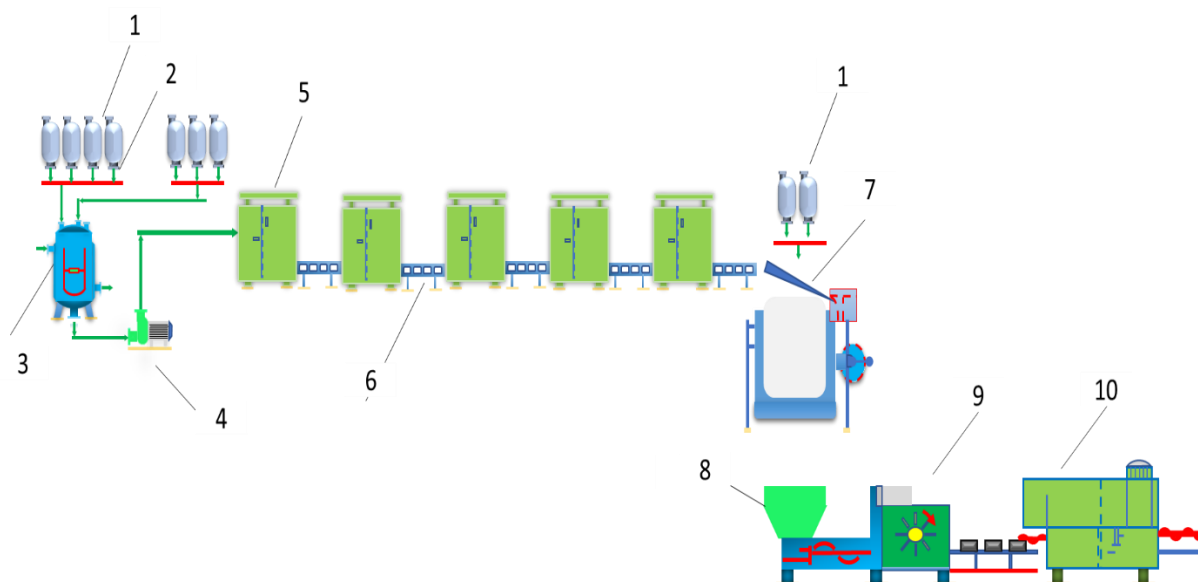


**Рис.11. Спектры Рентгеновской фотоэлектроскопии образцов**

На основании проведенных в диссертации экспериментов в области технологической схемы и возможности получения гелевого полимерного электролита можно сделать вывод, что ПАМ и ГГ объединяются, образуя стабильный ГПЭ.

Гель полимерный электролит полученный из нового природного гидрогеля, разработанного в результате из проведенных исследований, превосходит другие типы электролитов по своей безопасной и стабильной работе, гибкости и способности использоваться при низких температурах и, что наиболее важное, имеет возможность самовосстановлению от полученных механических повреждений.

Разработана технологическая схема последовательности технологических процессов на производство нового гелевого полимерного электролита, приготовленного экспериментально в лабораторных условиях. При выборе данной технологической схемы и оборудования были учтены интересы и мнения производителей. Рассмотрена реализация технологической схемы основанных на относительно простых и существующих технологиях. Полные этапы технологического процесса показаны на рисунке 12



**Рис.12. Технологическая схема производства гелевых полимерных электролитов: 1-емкости, 2-дозаторы, 3-реактор якоря, 4-насос (плунжеры), 5- холодильники, 6-конвейеры ленточные, 7-оборудование для плавления (КЭА 250), 8 и 9 - формовка и резка ножами, 10- упаковочное оборудование (ВЭМУ или РЭУ)**

Чтобы получить гелевый полимерный электролит, поливиниловый спирт, полиакриламид, геллан и КОН,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  опускают в реактор с 3 горелками, используя дозатор с 2 горелками, соответственно, согласно рецепту в емкостных сосудах, показанных на рисунке 4-1, чтобы поднять до комнатной температуры и перемешивать миксером до 2 часов. Приготовленная смесь на следующем этапе хранится в холодильнике при  $-4^\circ\text{C}$ , затем переносится на ленточные конвейеры и размораживается при комнатной температуре ( $23^\circ\text{C}$ ). В наших

практических экспериментах период замораживания-оттаивания был увеличен с 1 до 7, и наилучшие результаты были зафиксированы при повторении этого цикла 5 раз. Поэтому мы рекомендуем проводить замораживание-оттаивание в производственном процессе на 5 этапе. На следующем этапе после замораживания образцы помещают в 7-ю кипящую емкость (КЕА-250), наполненную раствором КОН, и хранят в течение 24 часов. Это оборудование автоматически передает образец на следующий этап, и образцы нарезаются до требуемых размеров с помощью инструментов 8-9. На заключительном этапе с помощью оборудования 10 образцы упаковываются и передаются в хранилище готового гель-полимерного электролита.



## **ВЫВОДЫ:**

1. Изучены свойства природных гелевых полисахаридов и результаты испытаний показали, что они могут использоваться в качестве электролитов для устройств хранения энергии.
2. Экспериментально определены соотношения ПВС + Геллан и ПАК + Геллан и предложена технология получения гелевого полимерного электролита методами замораживания-оттаивания и замачивания.
3. Физико-механические и электрохимические свойства гелевых полимерных электролитов ПВС + геллан и ПАК + геллан были теоретически и практически проанализированы с использованием электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, оборудования для технических испытаний и электрохимических методов испытаний. Сравнивались результаты и разрабатывались оптимальные варианты.
4. Для получения гелевых полимерных электролитов был применен метод получения двухсетового гидрогеля, и была достигнута достаточная прочность гелевых полимерных электролитов.
5. Экспериментально доказано, что предлагаемый гелевый полимерный электролит ПАК + геллан самовосстанавливается без внешних воздействий.
6. Стабильная работа гелевых полимерных электролитов ПВС + геллан и ПАК + геллан при низких температурах и различных углах изгиба, а также в суперконденсаторах была подтверждена методами испытаний.
7. Благодаря исследованиям был получен и рекомендован к производству новый твердый гелевый полимерный электролит для гибких суперконденсаторов.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREE  
PhD.03/30.12.2019.K/T.66.02 NAMANGAN INSTITUTE OF ENGINEERING  
AND TECHNOLOGY**

---

**NAMANGAN INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY**

**SHODMANOV JASUR ABDUMUKHAMADOVICH**

**TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF DOUBLE NETWORK GEL-POLYMER  
ELECTROLYTE FOR FLEXIBLE SUPERCAPACITORS**

**02.00.14 - Technology of organic substances and materials based on them**

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Namangan - 2022**

**The dissertation subject of Doctor of Philosophy (PhD) is registered at Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2021.3.PhD/T2357**

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at Namangan institute of engineering and technology

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the scientific website [www.ionx.uz](http://www.ionx.uz) and on the website of «ZiyoNet» Information and educational portal [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)

**Research supervisor:** **Boymirzaev Azamat Soliyevich**  
doctor of Chemical Sciences, docent

**Official Opponents:** **Eshkurbonov Furqat Bozorovich**  
Doctor of Chemical Sciences, docent

**Sottikulov Elyor Sotimbaevich**  
PhD. Senior Researcher

**Leading organization:** **Fergana polytechnic institute**

The defense of the dissertation will be held at 13<sup>00</sup> on «05» February 2022 year at the scientific council meeting No. PhD.03/30.12.2019.K/T.66.02 at the Namangan institute of engineering and technology (at the address: 160100. Namangan city, Kasansay Str. 7, administrative building, small conference hall, tell: (+99869) 228-76-68, 225-10-07, a fax: (+99869) 228-76-75, e-mail: [niei\\_nfo@edi.uz](mailto:niei_nfo@edi.uz)).

The dissertation is available at the Information-resource center of the Namangan institute of engineering and technology (registration number 446). Address: 160100. Namangan city, Kasansay Str. 7 tell: (+99869) 228-76-68; Fax: (+99869)228-76-68, e-mail: [niei\\_nfo@edi.uz](mailto:niei_nfo@edi.uz)).

The abstract from the thesis is distributed «24» January 2022.

(Mailing protocol No.1 on «24» January, 2022).

**O.K. Ergashev**

Chairman of the scientific council for awarding of scientific degree, doctor of chemical sciences, professor

**D.Sh. Sherkuziyev**

Scientific secretary of scientific council awarding scientific degree, candidate of technical science, professor

**Kh.S. Beknazarov**

Chairman of the scientific seminar under the scientific council awarding scientific degree, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work.** Development of a cheap, mechanically strong, harmless small size, but with a high power supercapacitor based on the study of the possibilities of creating a new gel polymer electrolyte for supercapacitors and improving its physical and mechanical properties, increasing the range of electrolytes for supercapacitors.

**The subject of the research work** is gel for supercapacitors from polymer electrolytes, including polyvinyl alcohol, gellan gum, polyacrylamide

**The scientific novelty of the research work is the following:**

for the first time a new solid and durable gel polymer electrolyte was created for flexible supercapacitors based on hydrophilic polymers;

based on the possibility of using gellan polysaccharide as a solid electrolyte in supercapacitors for the first time;

two-band hydrogels were applied to obtain gel-polymer electrolytes (GPE) and an increase in the mechanical properties of GPE was achieved;

formation of molecular bonds between gellan and polyvinyl alcohol, gellan and polyacrylamide, and the structure of the network was determined using experimental methods;

the new GPE-based supercapacitor has been proven to be suitable for various mechanical deformations and low temperatures.

**Implementation of research results.** Based on the scientific results obtained on the mechanical properties of gel polymer electrolytes:

The new gel polymer electrolyte production technology is included in the list of promising developments for further implementation in 2021-2022 in "Extra Premier BAT" LLC (Act No. 17 of "Extra Premier BAT" dated September 13, 2021). As a result, the gel-polymer electrolyte has been used in conjunction with power sources to increase energy storage efficiency;

The technology of using the new gel polymer electrolyte in hybrid electric sources is included in the list of promising developments to be implemented in JSC "Foton" in 2021-2022. No 3 / 2121). As a result, the use of supercapacitors in conjunction with energy sources leads to an increase in the quantitative and qualitative performance of energy-saving devices.

**The structure and volume of the thesis.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, a list of references and an appendix. The volume of the dissertation is 100 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН НАШРЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Shodmanov, J.A. and Boymirzaev, Azamat. "Electrophysical properties of supercapacitor on the basis of new gel polymer electrolyte // Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research, 2021. V. 3, № 1. p. 35-41. (02.00.00; №13)
2. SHodmanov J., Boymirzaev A. Mechanical and structural properties of gel polymer electrolytes for flexible supercapacitors // Universum: технические науки. 2021, выпуск 8(89), С. 108-111 (02.00.00; № 1)
3. J. Shodmanov, Self-healing double network gel polymer electrolytes for flexible supercapacitors, Scientific and technical journal of Namangan Institute of Engineering and Technology, 2021.V. 6, Issue 3, P. 150-156 (05.00.00. №33)
4. Ж.А. Шодманов, А.С. Боймирзаев. Суперконденсаторлар учун полимер гидрогелларни физик-механик хоссаларини тадқиқ қилиш // НамДУ илмий ахборотномаси - 2021 йил 6-сон. 30-34 б (02.00.00; № 18)
5. J. Shodmanov., A Boymirzayev, A new multifunctional double network solid gel polymer electrolytes // Scientific and technical journal of Namangan Institute of Engineering and Technology, 2021.V. 6, Issue 3. P. 141-149 (05.00.00. № 33)
6. SHodmanov J., Boymirzaev A. Ion cross-linked double network gellan gum gel polymer electrolyte for flexible supercapacitors // Sciences of Europe. 2021. V. 1, issue 69. P.32-44 (№16, №20)
7. SHodmanov J., Boymirzaev A. Compressible and bendable highly flexible double network gel polymer electrolytes for supercapacitors //International scientific journal theoretical and applied science. 2021, V. 99, issue 07. P. 134-142 ( №5, № 16)

**II бўлим (II часть; II part)**

8. Ж.А. Шодманов, А.С. Боймирзаев. Ўта юпқа қатламли суперконденсаторлар яратиш учун полимер гелъ электролитларни механик хусусият-ларини ўрганиш// “Oriental renessans: innovative, educational, natural and social sciences” илмий журнали 1-sonli ko’p tarmoqli, ilmiy konferensiya. 01.2021 у, 94-97 б.
9. Ж.А. Шодманов, А.С. Боймирзаев Суперконденсаторлар ва уларнинг амалий ахамияти//“Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон миллий университети” “Кимёнинг долзарб муамолари” мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани. 2021, 4-5 феврал.143-145 б.
10. Ж.А. Шодманов, А.С. Боймирзаев. Юқори самарали электр энергия манбаларининг истиқболли йўналишлари. «Science and education in the modern world: challenges of the XXI century» материалы VIII- Международной науч-прак. конф., Нур-Султан, Казахстан, Апрель, 2021, стр. 43-45.
11. Ж.А. Шодманов, А.С. Боймирзаев. Суперконденсаторлар учун қаттиқ ёки ярим қаттиқ гел полимер электролитлар хоссалари // Тошкент кимё технология институтини “Kimyo, neft-gazni qayta ishlash hamda oziq-ovqat sanoatlari innovatsion

texnologiyalarining dolzarb muammolari” xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya tezislar to‘plami, 2021, 25-26 may. 95-96 б .

12. Ж.А. Шодманов, А.С. Боймирзаев. Использование гель-полимерных суперконденсаторов в гибридных аккумуляторах электрической энергии. “Зол-Гел 2020”, Халқаро илмий амалий конференция материаллари., Самарқанд давлат унверситети 11-октябр, 2021 й.79-80 б.







Автореферат «Наманган муҳандислик-технология институти илмий –техника  
журнали» таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги мантлари  
мослиги текширилди (21.01.2022 й).

Босишга рухсат этилди 21.01.2022 й.  
Бичими 60×841/16, “Times New Roman”  
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 4. Адади: 80. Буюртма: № 120  
НамМТИ босмаҳонасида чоп этилди  
Наманган шаҳри, кўча, 7-уй