

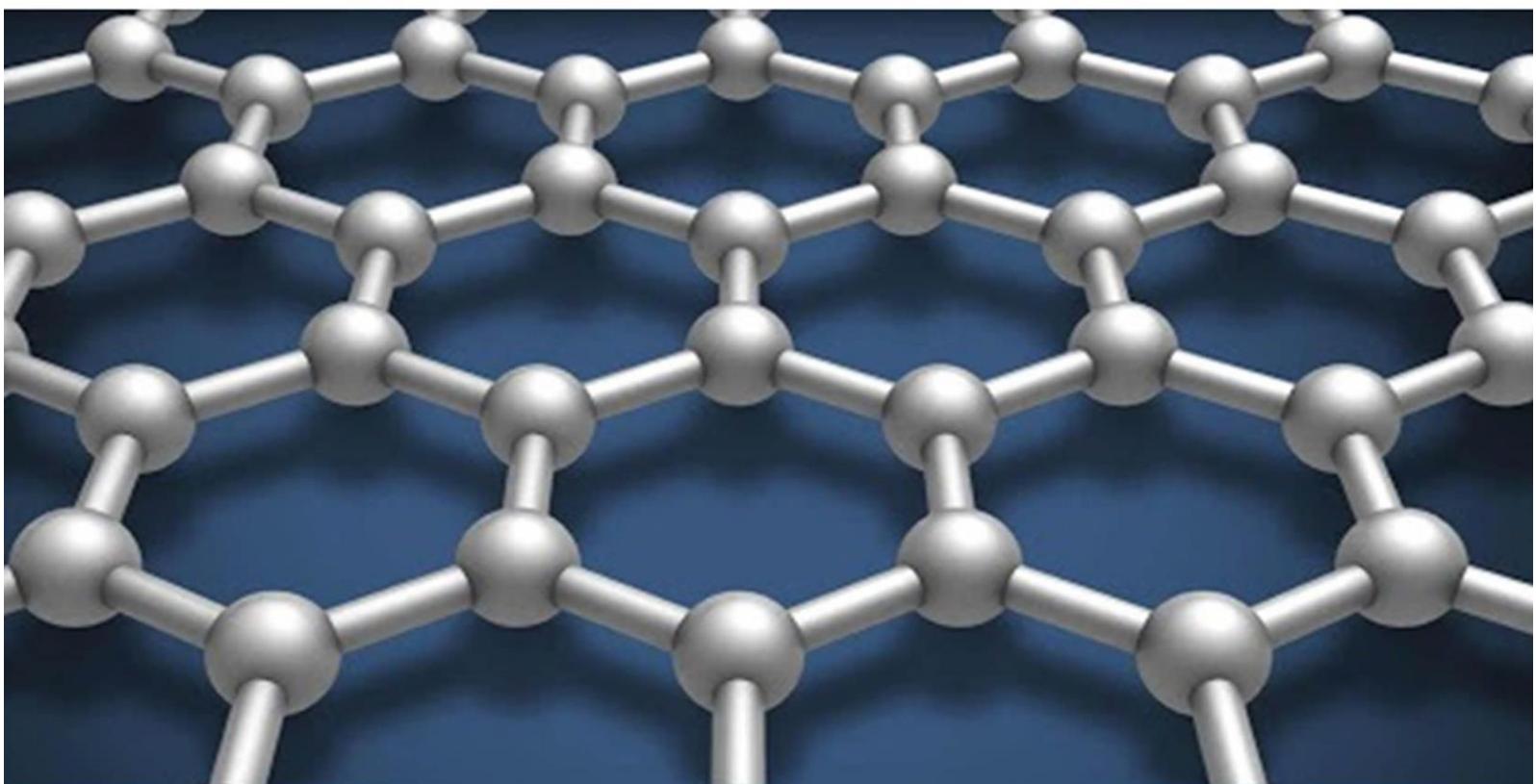
ISSN 2091-5527

№ 1/2025

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт»
при Ташкентском государственном техническом университете
имени Ислама Каримова

O‘zbekiston

KOMPOZITSION MATERIALLAR

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali

№1/2025

Узбекский Научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

Ташкент - 2025

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Набиев М.Н., Беглов Б.М., Здукос А.Т. Конденсированные фосфаты и удобрения на их основе (Удобрения, т. III). – Ташкент, 1974. 240 с.
2. Улугбердиева З., Хужамбердиев Ш., Мирзакулов Х. Исследование процесса получения полифосфатов аммония на основе экстракционной фосфорной кислоты из фосфоритов Центральных Кызылкумов. Журнал «Вестник НУУз». Ташкент-2024. №5. -С. 456-459.
3. Zhang T., Tao Y., Zhou F., Sheng H., Qiu S., Ma C., Hu Y. Synthesis of a novel hyperbranched phosphorus-containing polyurethane as char forming agent combined with ammonium polyphosphate for reducing fire hazard of polypropylene. Polym. Degrad. Stabil. 2019, 165, pp. 207-219.
4. Ma C.J., Xiao Y., Puig-Bargués J., Shukla M.K., Tang X.L., Hou P., Li Y.K. Using phosphate fertilizer to reduce emitter clogging of drip fertigation process with high salinity water. J. Environ. Manage. 2020, 263, 110366 10.1016/j.jenvman.2020.110366.

Xujamberdiyev Sherzod Musurmanovich - *Toshkent kimyo-texnologiya instituti doktoranti, f.d.(PhD) t.f.*
Arifdjanova Kamola Sayfullayevna - *Toshkent kimyo-texnologiya instituti dotsenti, t.f.d.(DSc)*
Mirzaqulov Xoltura Choriyeovich - *Toshkent kimyo-texnologiya instituti huzuridagi «Pedagogik kadrlarni qayta tayyorlash va ularning malakasini oshirish» tarmoq markazi direktori, t.f.d., professor*

УДК 621.791.35: 539.3. 661.2

ПОЛИМЕР МАКРОИОНЛАРИНИНГ ГРАДИЕНТЛИ ВА ЭЛЕКТР МАЙДОНИ ТАЪСИРИДА СИЛЖИШИ

Хаққулов Ж.М., Темиров З.Ш., Бурхонова Ш.Б.

М. Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, e-mail: jmkhakkulov@mail.ru

Аннотация. Тадқиқотда электр майдони таъсирида эритмалардаги хитозан ва фиброин намуналарининг силжиши ва электрохимий қайтарилиш жараёнлари таҳлил қилинди. Ионли полимерлар, жумладан, макроионлар билан ўзаро таъсирга алоҳида эътибор қаратилиб, ушбу материаллар асосида турли қалинликдаги қопламалар ҳосил қилиш имкониятлари баҳоланди. Тадқиқотларни амалга оширишда реологик ва электролиз усуллари қўлланилган.

Калит сўзлар. макроион, градиентли майдон, электролиз, эффектив ковшоқлик

Кириш. Ионоген полимерлар бу табиий ёки сунъий полимерлар бўлиб, уларнинг молекуляр тузилишида ионлашувчан гуруҳлар мавжуд [1]. Бу гуруҳлар кислота ёки асос ҳолатида бўлиши мумкин ва улар ион алмашинув, зарядли қопламалар ҳосил қилиш ёки электр хосилотларини бошқариш каби жараёнларда муҳим роль ўйнайди [2].

Полимер макроионларнинг электр майдони таъсирида эритмаларда силжиши ҳақида физик-химий қонуниятлар асосида шуни айтиш мумкинки, полимер макромолекулаларининг зарядланган компонентлари электр майдонида ҳаракатланишини ўрганадиган жараёнлар [3]. Бу жараён ионларнинг тарқалиши, миграцияси, ҳамда эритмадаги фазавий ва молекуляр ўзгаришларни таҳлил қилиш учун муҳим аҳамиятга эга [4].

Ионоген биополимерлар замонавий технологияларда муҳим ўрин тутди, чунки уларнинг ионлашувчан хусусиятлари турли соҳаларда кенг қўлланиш имкониятини беради [5]. Полимер макроионларнинг электр майдонидаги силжиши, уларнинг заряд, масса ва муҳит шароитига қараб, турли хил

хусусиятларни намоён этади. Бу жараён турли тадқиқот ва саноат соҳаларида инновацион маҳсулотлар яратиш учун кенг қўлланилади. Сўнгги пайтларда биополимерларнинг анъанавий пластик полимерларга нисбатан афзалликлари [6] мисли кўрилмаган, агар улар функционаликни оширадиган ва инсон ҳаёти учун кўшимча фойда келтирадиган ҳолатларда қўлланилмоқда [7].

Илмий тадқиқотлардаги аҳамияти электрохимик қопламалар полимер макроионларнинг силжиши юзларда бирхил қопламалар ҳосил қилиш учун қўлланилади [4]. Биомедицинада электрофорез жараёни турли хил зарядланган биомолекулаларни аниқлаш ва ажратиш учун ишлатилади. Полимер макроионларнинг ҳаракат хусусиятларини ўрганиш электроактив материаллар яратишда муҳимдир.

М. Agarwal ва бошқалар ўзларининг илмий ишларида макроионларнинг электр майдонидаги силжишини бошқариш дори ташувчи полимерлар ва сенсорлар ишлаб чиқишда қўлланиши [8] ҳақида келтириб ўтганлар.

Хитозан ушбу тадқиқот объект намумаси табиий ипак курти *Bombyx mori* [9] ғумбагининг хитинини 50 % NaOH да 120 °C деацетиллаш орқали олинган, у тор полидисперслик кўрсаткичи ($P = 1,25$) ва юқори деацетилланиш даражаси ($СДА = 0,75$) эгадир [10].

Фиброин яъни ипак курти безлари фиброин қисмида ~ 30 % -сувли эритма (секрет) кўринишида ишлаб чиқарилади. Шунинг учун синтез қилинган фиброинни дастлаб сув ўраб олган бўлади. Фиброин пептид тузилишга эга бўлишининг исботи 1902 йилда Фишер томонидан олинган [11].

Тадқиқот усуллари. Реологик усул- тадқиқотлар 1-расмда чизмаси келтирилган “конус-сирт” типдаги ячейкада ўтказилди. Унда конус-роторнинг (1) айланиши сиртдаги (2) суюқликни (3) силжитма ҳаракатга келтиради. Бунда термостат (4) ёрдамида тадқиқотларни турли ҳароратларда ўтказиш мумкин. Конус-роторни айланиш частотасининг (ω) кенг диапозонида турли силжиш тезлигига (γ) эга градиентли майдон ҳосил қилиш имконияти мавжуд ва унда силжиш тезлиги қуйидагича аниқланади:

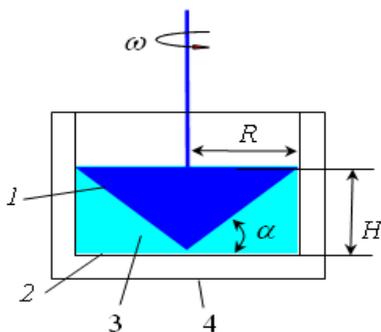
$$\gamma = \omega / \alpha \quad (1)$$

бу ерда $\alpha = R / H$ – конус радиуси (R) ва баландлиги (H) ўртасидаги бурчак. Тадқиқотларда ушбу бурчак $\alpha = 15^\circ$ ни ташкил этган.

Бунда конус-роторнинг (1) айланиши махсус электромотор ёрдамида маълум бир электр кучланиши берилган ҳолда айлантиради ва айланишлар сони (ν) вақт давомида (τ) ўлчаниб, айланиш частотаси $\omega = \nu / \tau$ ҳисобланади. Силжиш кучланиши (σ) қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\sigma = (3/2) (M_k / \pi R^3) \quad (2)$$

бу ерда M_k - айланиш (буралиш) моменти, куч елкаси ва айланишни вужудга келтираётган механик куч асосида аниқланади; $\pi = 3,14$ деб олинади.



1-расм. Реометрнинг “конус-сирт” типдаги ячейкаси чизмаси

Ньютон қонунига мувофиқ қуйи молекуляр бирикмалар суюқликлари учун ички ишқаланиш коэффициентини, яъни ковушоқлик $\eta = \sigma / \gamma$ эканлиги маълум, аммо полимер суюқликлар (суюлтма, эритма, аралашма, гел ва ҳ.к) (3) оқимида макромолекулалар конформацион ўзгаришлари туфайли ички ишқаланиш коэффициентини $\eta \neq const$ доимий бўлмайди ва ноньютон оқим вужудга келтиради. Бундай ҳолатларда ковушоқлик (η) эффектив ковушоқлик ($\eta_{эфф}$), яъни $\eta = \eta_{эфф}$ деб қаралади. Силжиш тезлигининг (γ) силжиш кучланишига (σ) боғланиш графигидан суюқликнинг оқиш чегараси ($\sigma_{ошк}$) ва макромолекулаларнинг конформацион ўзгаришларини ифодаловчи ноньютон оқим параметрлари аниқланади.

Ўлчашларни турли ҳароратларда амалга оширилиши Френкель-Эйринг [12] формуласи (3) асосида ковушоқ оқим фаоллик энергияси (E_a) аниқлаш имконини беради.

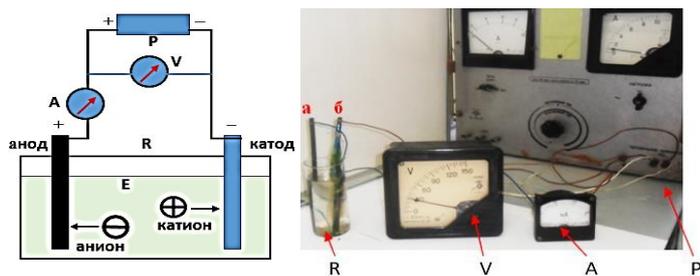
$$\ln \eta_{эфф} = \ln \eta = \ln A + E_a / RT \quad (3)$$

бу ерда A – экспонента коэффициентини; R – универсал газ доимийси; $\ln \eta_{эфф} = \ln \eta$ бўлиши учун полуэмпирик тарзда $\sigma \rightarrow 0$ ёки $\gamma \rightarrow 0$ шарти бажарилиши керак.

Электролиз усули- полиэлектролитларда макроионларни доимий электр токи кучи (I) таъсирида анион ва катион сифатида электродлар анод ва катод томон силжиши, анод сиртида электрохимёвий оксидланиш ёки катод сиртида тикланиш реакциясини амалга ошириши ва бунинг натижасида сиртда юпка қатламли қоплама ҳосил бўлишига асослангандир. Умумий ҳолда электролиз жараёни Фарадей қонуни [13] бўйича, яъни қопламанинг массаси (m) ток кучи (I) ва электролиз вақтига (t) пропорционал тарзда ифодаланади, яъни

$$m = kIt \quad (4)$$

бу ерда k – электрохимёвий эквивалент, ионоген гуруҳ тавсифидир.

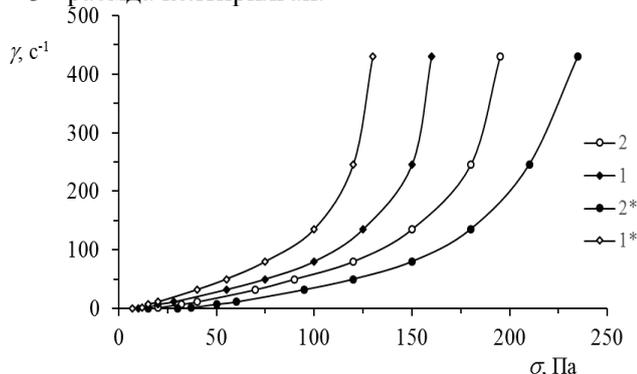


2-расм. Электролиз усулининг принципа чизмаси ва қурилмаси

Электролиз усулининг принципиал чизмаси ва уни амалга оширишнинг оддий лаборатория курилмаси 2-расмда келтирилган. Курилма ток манбаи (P), вольтметр (V), амперметр (A), электролиз ячейкаси (R) иборатдир. Ячейкада электролит ёки полиэлектролит солинса ва улардаги ионлар ёки макроионлар манфий ва мусбат зарядларига боғлиқ равишда анион ва катион сифатида намоён бўлади ҳамда электр токи таъсири остида анод (а) ва катодга (б) томон силжийди.

Олинган натижалар. Полиэлектролитларга ташқи кучлар, жумладан, механик ёки электр кучланишлар таъсир этганда, градиентли майдонлар вужудга келади ва бу майдонларнинг куч чизиқлари бўйлаб макроионлар силжийди. Қуйида хитозан ва фиброинларнинг макроионлар сифатида механик ва электр кучлар таъсирида вужудга келган градиентли майдонларидаги силжиш қонуниятини ўрганиш бўйича ўтказилган тадқиқотлар натижалари муҳокама қилинади.

Механик кучлар таъсирида макроионларнинг градиентли майдонда силжиш хоссаларини ўрганиш бўйича тадқиқотлар реометр курилмасининг “конус-сирт” типига ячейкасида ўтказилди. Бунда Хаггинс қонуни асосида ўтказилган вискозиметрик тадқиқотлар натижаларидан келиб чиқиб, Дебай критерияси $C[\eta] \leq 0,5$ бўйича хитозанни CH_3COOH да ва фиброиннинг $\text{HCOOH}:\text{H}_2\text{O}$ (1:1) да суюлтирилган, яъни концентрацияси $C = 0,25$ г/дл бўлган, оқимда макромолекулаларни тўқнашиб кетмайдиган эритмалари тайёрланди. Ушбу эритмаларнинг 25 °C ва 50 °C да ўтказилган реологик тадқиқотлари натижалари 3 - расмда келтирилган.



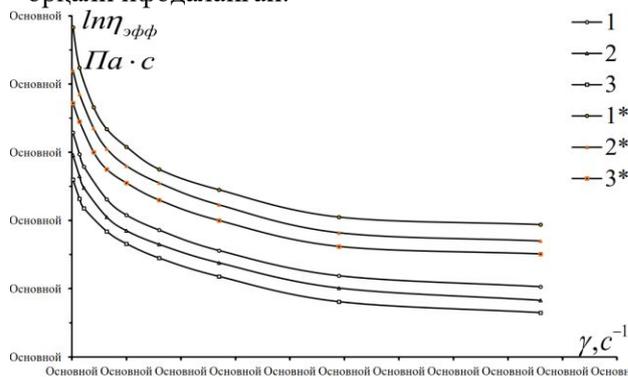
3-расм. Силжиш тезлигини (γ) силжиш

кучланишига (σ) боғланиши:

- 1-ХЗ+2% $\text{CH}_3\text{COOH}:\text{H}_2\text{O}$ (25⁰C);
- 1* - ХЗ+2% $\text{CH}_3\text{COOH}:\text{H}_2\text{O}$ (50⁰C)
- 2* - ФБ+НСООН: H_2O (1:1) (25⁰C);
- 1* - ФБ+НСООН: H_2O (1:1) (50⁰C)

Графиклардан силжиш кучланиши ошиби билан силжиш тезлиги эгри чизиқли

боғланишда ошиби бориши, яъни эритмаларни ноньютон суюқликларга хос оқим намоён қилиши кўриниб турибди. Бунга сабаб оқимда макромолекуларни айланма ва илгариланма ҳаракати туфайли конформацион ҳолатини ўзгаришилик. Аммо бундай ўзгаришлар силжиш кучланишининг маълум миқдорларидан кейин бошланиши кузатилган ва унинг асосида оқимни бошланишига тўғри келадиган чегаравий оқим кучланиши $\sigma_{оқ}$, яъни оқувчанлик чегараси аниқланган. Графикдан кўриниб турибдики, ҳароратнинг ошиби билан боғланиш эгри чизиқлари ва чегаравий оқим кучланиши миқдорлари силжиш кучланишининг кичик миқдорлари соҳасига силжийди. Бу ҳолат иссиқлик таъсири остида тебранма ҳаракатларнинг ошиши ҳисобига макромолекулаларо ўзаро таъсирлашишларни сусайиши туфайли оқувчанликнинг ошиши билан боғлиқдир. Шунингдек, ҳароратнинг ошишини эффектив қовушоқликни ($\ln\eta_{эфф}$) пасайишига олиб келиши 4-расмдаги реограмма орқали ифодаланган.



4-расм. Турли ҳароратларда эффектив қовушоқликни ($\ln\eta_{эфф}$) силжиш тезлигига

(γ) боғланиш реограммаси:

- ХЗ+ $\text{CH}_3\text{COOH}:\text{H}_2\text{O}$ -1-25⁰C; 2-40 °C; 3-50⁰C;
- ФБ+НСООН: H_2O (1:1) -1*-25⁰C; 2*-40⁰C; 3*-50⁰C

Реограммаларнинг бундай кўриниши ноньютон оқимга хос бўлиб, улар оқимда макромолекулаларни деформацион тартибланишидан далолат беради. Ҳароратнинг ошиши билан реограммаларни қовушоқликнинг қуйи миқдорлари томон силжиши, макромолекулаларо ўзаро таъсирлашишларни сусайишини кўрсатади. Шунингдек, чегаравий оқим кучланиши соҳасида, яъни силжиш тезлигининг ($\gamma \rightarrow 0$) минимал қийматида эффектив қовушоқлик миқдори ҳам ҳароратнинг ошиши билан пасайган.

Бундай ҳолат силжиш тезлигининг $\gamma > 400\text{c}^{-1}$ соҳасида эффектив қовушоқликнинг ўзгариши минималлашган,

яъни ноъютон оқим ньютон оқимга яқишлашган ҳолда ҳам сақланиб қолган.

Буни моҳиятини таҳлил қилиш учун Френкель-Эйринг формуласи (3) асосида эффектив қовушоқликнинг ўзгаришини $(\ln\eta_{эфф})_1 - (\ln\eta_{эфф})_2$ ҳароратлар $(1/T)_1 - (1/T)_2$ ўзгаришига нисбати тангенс бурчагидан $\text{tg}\alpha = E_a/R$ миқдори ва ундан қовушоқ оқим фаоллик энергияси $E_a = R\text{tg}\alpha$ аниқланди:

- Хитозан $\gamma \rightarrow 0$ бўлганда $E_a = 28,67$ кДж/моль

$\gamma > 400\text{с}^{-1}$ бўлганда $E_a = 15,78$ кДж/моль

- Фиброин $\gamma \rightarrow 0$ бўлганда $E_a = 46,12$ кДж/моль

$\gamma > 400\text{с}^{-1}$ бўлганда $E_a = 17,86$ кДж/моль

Қовушоқ оқим фаоллик энергияси миқдорлари водород боғлари энергиясига яқин ва бу ҳолат макромолекулалар оқимда силжиганда улар орасидаги кучсиз боғлар, яъни водород боғлар ёки водород боғлари энергиясига тенг бўлган энергетик ўзаро таъсиралишлар парчalandи. Демак, макромолекула билан жиддий ўзгаришлардан руй бермайди.

Электр кучлари таъсирида суюқликдаги ионлар ва макроионларни қутблар (электродлар) томон силжиши, уларнинг мусбат ва манфий валентлигига (z_i), радиуслари (r_i) ўлчамига, заряди (q_i) ва зарядлар сонига (n_i), электр майдон кучланганлигига (E), ҳароратига (T) ва қовушоқлигига (η) боғлиқдир. Ионларни, шунингдек, макроионларни электр майдонида силжиш тезланиши электр кучининг ($F_{эл}$) ишқаланиш кучига ($F_{ишк}$) тенглашгунича давом этади, яъни $F_{эл} \approx F_{ишк}$. Ушбу кучлар куйидагича ифодаланади:

Электр кучи

$$F_{эл} = z_i e E \quad (4)$$

Стокс кучи

$$F_{ишк} = 6\pi\eta r_i u_i \quad (5)$$

бу ерда e – электрон заряди; η

□□□□ муҳит қовушоқлиги; u_i – ион ҳаракатланиши (силжиши) тезлиги. Бундан

$$6\pi\eta r_i u_i = z_i e E \quad (6)$$

Ушбу (6) тенгликни иккала томонини E/F га бўлсак ҳамда мусбат ва манфий зарядлар сони тенг бўлганда $E = I$ бўлишини инобатга олсак, унда u_i/E нисбат u_i деб олинади. Натижада куйидаги ифода келиб чиқади:

$$6\pi\eta r_i (u_i F) = z_i e F \quad (7)$$

бу ерда F – Фарадей сони бўлиб, электролиз иккинчи қонунидан аниқланади. $u_i F$ кўпайтма

ионлар ҳаракатчанлигини, яъни силжишини (λ_i) ифодалайди:

$$\lambda_i = (z_i e F) / 6\pi\eta r_i \quad (8)$$

Ушбу (8) ифода ионларнинг силжишини (λ_i) муҳит қовушоқлиги (η) ва ионлар радиусига (r_i) тескари пропорционал эканлигини кўрсатади. Электр майдонида ионлар силжишида уларнинг радиусларини ўзгармаслигини инобатга олсак, унда ионларнинг силжиши қовушоқликни функциясига айланади. Макроионларнинг эффектив радиус билан эйтироф этилишини ва электр майдонида силжиганда конформациясини ўзгартириши мумкинлиги инобатга олсак, унда макроионларнинг силжиши (λ_i) эритма қовушоқлиги (η) ва макроионлар конформацион ҳолатини ўзгаришини ифодаловчи эффектив радиус миқдорига (r_i) боғлиқ бўлади.

Ньютон қонунига ($\eta = \sigma / \gamma$) биноан қовушоқликни, яъни ички ишқаланишни (η) силжиш кучланишини (σ) тезлик градиентига (γ) нисбати билан ифодаланиши инобатга олсак, унда электр майдонида ҳам ионлар ва макроионлар градиентли майдонда ҳаракатланиши руй беради. Бу ҳолат куйдагича ҳам изоҳланади, яъни эритмада ионлар, шунингдек, макроионлар электродга нисбатан турли хил масофаларда туради. Электродлар доимий ток манбаига уланиши билан анионлар анодга ва катионлар катодга томон силжий бошлайди. Бунда турли куч чизикларига эга градиентли майдон шаклланади ва унинг жадаллиги электр токи (I) кучига боғлиқ бўлади.

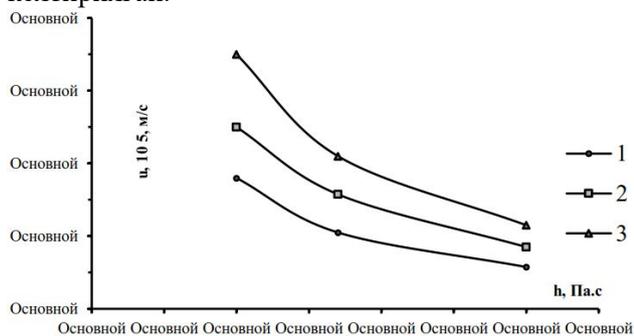
Бундай натижага ток кучини 8 баробар оширилганда ($I = 8$ мА) хитозан эритмаси учун 4,5 марта (4 соатда) ва фиброин эритмаси учун 4,2 марта (6 соатда) кам вақт сарфланган ҳолда эришилган. Бу натижалар Фарадей қонунига мос равишда ток кучини ошиши билан макроионларни электродлар томон жадал тарзда силжиши ва етиб келиб қоплашини кўрсатади.

Фиброин макроионларининг электр майдонида силжишини, яъни ҳаракатланиш тезлигини (u) ток кучи (I) ва эритманин қовушоқлигига (η) боғлиқлиги (9) формулага биноан ўтказилган ҳисоблашлар асосида таҳлил қилинди.

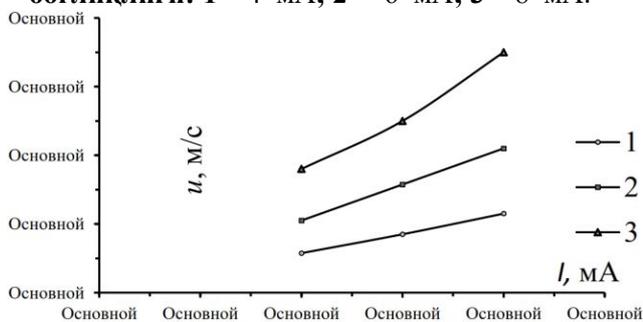
$$u_x = q / 6\pi\eta R_i \quad (9)$$

бу ерда $q = It$; R_i – макроион радиуси $\langle R^2 \rangle^{0,5} = 1/6 \langle h^2_{zv} \rangle^{1/2}$ ва унда $\langle h^2 \rangle = NA^2$ ифода асосида аниқланди. N – сегментлар сони, A –

сегмент узунлиги, h - макромолекула учлари орасидаги масофа. Ушбу ишда фиброин макромолекуласи учун $N= 10$, $A= 106$ нм деб олинди. Ҳисоблаш натижалари 5 ва 6-расмларда келтирилган.



5 – расм. Турли электр токи (I) таъсирида фиброин макроионларнинг ҳаракатланиш тезлигини (u) эритма қовушоқлигига (η) боғлиқлиги: 1 – 4 мА; 2 – 6 мА; 3 – 8 мА.



6 – расм. Турли қовушоқликли (η) эритмаларда фиброин макроионларнинг ҳаракатланиш тезлигини (u) электр токига (I) боғлиқлиги: 1-30 Па.с; 2-17 Па.с; 3-10 Па.с.

Электр майдонида ток кучини ошириши макроионларнинг ҳаракатланишини тезлашишига ва аксинча қовушоқликнинг ошириши макроионлар тезлигини чизиқли тарзда пасайишига олиб келиши аниқланган. Бунинг асосида фиброин эритмасининг турли концентрацияларида макроионларнинг электр майдонида силжиши ва ҳаракатланиш тезлиги кўрсатиб берилган.

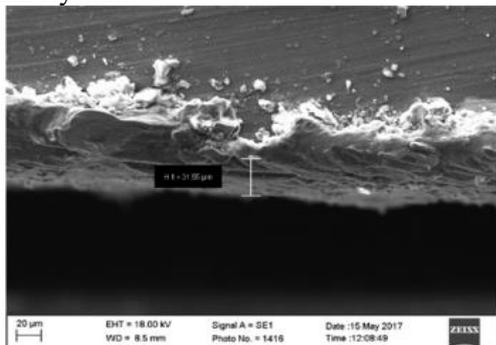
Макроионларни электрод сиртида электрохимий тикланиши хитозан ва фиброин макроионларини металл ионлар сингари электрод сиртида электрохимий тикланиши Фарадей қонунига ($m = kIt$) биноан амалга ошади. Макроионларнинг электродларга самарали силжиб бориш имкониятлари инобатга олиб, биополимерларнинг суюлтирилган $C = 0,25$ г/дл эритмаларида тажрибалар ўтказилди. Электролиз жараёни ток кучининг $I = 1$ мА, $I = 4$ мА ва $I = 8$ мА бўлганда 10 соат давомида олиб борилди. Электролиз вақти тугагач электр майдони таъсирида электродларга етиб келган ва тикланмаган макроионларни қайта эриб кетиши учун электродлар ячеякада яна 5 соат давомида ушлаб турилди. Сўнг электродлар ячеякадан олиниб, хона ҳароратида қуритилди ҳамда электролиздан олдинги (m_1) ва кейинги (m_2) массалари аналитик тарозидида $\pm 0,0001$ г аниқликда ўлчаниб, улар орасидаги фарқлар $\Delta m = m_2 - m_1$ топилди. Натижалар 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Макроионларнинг электролиз сиртида тикланиш натижалари

Намуна	Мис пластинка -электрод			Титан пластика – электрод		
	1 мА	4 мА	8 мА	1 мА	4 мА	8 мА
ХЗ массаси, Δm , г	-	0,091	0,102	-	0,082	0,098
ФБ массаси, Δm , г	-	0,092	0,105	-	0,084	0,102

Ток кучининг миқдори 1 мА бўлганда Δm нинг миқдори ўлчаш ҳатоликлари диапазонида эканлиги аниқланди. Макроионлар ва ионларни биргаликда электрохимий тикланиши 7 - расмда келтирилган SEM тасвирларида ҳам кўриш мумкин.



7-расм. Металл сиртида макроионлар тикланишининг SEM тасвири.

Ток кучининг 4 мА ва 8 мА бўлганда электродлар сиртида макроионлар тикланганлиги ва улар миқдори эритмадаги макроионларнинг 65-70 % ни ташкил этган. Ушбу тасвирлар макроионларнинг электрод сиртида тикланиши, яъни титан пластинка сиртида электрон алмашиш натижасида бирикиб, нейтраллашиб қоплама ҳосил қилганлигидан далолат беради.

Хулоса. Ушбу ўтказилган тадқиқотлар асосида тадқиқот объектларининг, биополимерларни макроионлар сифатида градиентли ва электр майдонларда силжиш хусусиятлари, эффектив қовушоқлиги ва қовушоқ оқим фаолик энергияси, электр майдони таъсирида электрод сиртида чўкма ҳосил қилиши, силжиш оқими градиентли майдонида суюлтирилган эритмаларнинг оқиши

ноньютон суюкликларга хос бўлиб, унда оким куч чизиклари бўйлаб макромолекулалар қисман деформацион тартибланган ҳолатда айланма ва илгариланма ҳаракат қилган ҳолда силжийди ва силжиш жараёни ҳароратга боғлиқ бўлиб, ҳароратнинг ошиши билан оқувчанлик ҳам ошади. Ток кучининг 4 мА ва 8 мА бўлганда электродлар сиртида макроионлар

электрохимёвий тикланиши ва бу жараёнларни жадал тарзда амалга оширишда полиэлектродларнинг қовушқоқлиги муҳим эканлиги баҳоланди. Бунинг асосида қалинлиги 0,01 – 15 мкм бўлган қопламалар шакллантириш имкониятлари кўрсатиб берилган ҳамда жараённинг оптимал параметрлари аниқланган.

Фойдаланилган адабиётлар

1. K. J. Mardonovich, K. A. Akhatovich, and T. Z. Shukurulloevich, *Features of Electrochemical Reduction of Silk Fibroin in the Presence of Phosphate Tricalcium in the Form of Nanocoating*, Mod. Phys. Lett. B 35, 2150476 (2021).
2. A. V. Khramenkova, D. N. Izvarina, K. M. Popov, M. A. Khimich, and I. Yu. Litovchenko, *A Novel Hybrid Electrode Materials for Supercapacitors Based on Polyelectrolyte Chitosan Complex*, Solid State Ion. 403, 116385 (2023).
3. N. Dehghani, F. Haghirsadat, F. Yazdian, F. Sadeghian-Nodoushan, N. Ghasemi, F. Mazaheri, M. Pourmadadi, and S. M. Naghib, *Chitosan/Silk Fibroin/Nitrogen-Doped Carbon Quantum Dot/a-Tricalcium Phosphate Nanocomposite Electrospun as a Scaffold for Wound Healing Application: In Vitro and in Vivo Studies*, Int. J. Biol. Macromol. 238, 124078 (2023).
4. J. Khakkulov, A. Kholmuminov, and T. Zokirjon, *Formation of a Biopolymer Nano Layer by Electrolysis*, Am. J. Mod. Phys. 10, 5 (2021).
5. G. P. Udayakumar, S. Muthusamy, B. Selvaganesh, N. Sivarajasekar, K. Rambabu, F. Banat, S. Sivamani, N. Sivakumar, A. Hosseini-Bandegharaci, and P. L. Show, *Biopolymers and Composites: Properties, Characterization and Their Applications in Food, Medical and Pharmaceutical Industries*, J. Environ. Chem. Eng. 9, 105322 (2021).
6. K. Babaremu, O. P. Oladijo, and E. Akinlabi, *Biopolymers: A Suitable Replacement for Plastics in Product Packaging*, Adv. Ind. Eng. Polym. Res. 6, 333 (2023).
7. M. C. Biswas et al., *Recent Advancement of Biopolymers and Their Potential Biomedical Applications*, J. Polym. Environ. 30, 51 (2022).
8. M. Agarwal, A. Zika, R. Schweins, and F. Gröhn, *Controlling the Morphology in Electrostatic Self-Assembly via Light*, Polymers 16, 1 (2024).
9. R. Y. Milusheva and S. S. Rashidova, *Bombyx Mori Chitosan Nanoparticles: Synthesis and Properties*, Open J. Org. Polym. Mater. 9, 4 (2019).
10. J. Khakkulov, A. Kholmuminov, and O. Sultonov, *Electrochemical Reduction of Silk Fibroin Macroion and Nanoparticles as a Composite Nanocoating*, J. Crit. Rev. 5483 (2020).
11. J. M. Khakkulov, Z. Sh. Temirov, B. M. Matyakubov, and A. P. Sultanov, *Formation of Layered Nanofibric Materials and Composite Coatings*, Mod. Phys. Lett. B 38, 2450175 (2024).
12. K. J. Mardonovich and K. A. Akhatovich, *Polyelektrolite Solutions and Molecular Descriptions of Biopolymer Macroions*, Am. J. Mod. Phys. 11, 6 (2023).
13. G. D. Wilcox and D. R. Gabe, *Faraday's Laws of Electrolysis*, Trans. IMF (1992).

УДК: 678.023.001.2(075)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕССЫ СУЛЬФИРОВАНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ОТХОДОВ

Юсупов Ф.М., Юсупов С.К., Мирзаев З.А., Нуриддинова Д.З., Темиров Ғ.Б.

Институт общей и неорганической химии Академии Наук Республики Узбекистан

Аннотация. В данной работе изучено влияние температуры на процессы сульфирования низкомолекулярных полиэтиленовых отходов. Эксперименты проводились в диапазоне температур 60–120°C с последующим анализом изменения химических и физико-химических свойств полученного продукта. Установлено, что повышение температуры способствует увеличению степени сульфирования, которая возросла с 45.2% при 60°C до 80.1% при 120°C. При этом содержание серы в конечном продукте увеличилось с 4.5% до 9.6%, что подтверждает более глубокую химическую модификацию при высоких температурах. Полученные результаты подтверждают, что температура является ключевым фактором, определяющим эффективность сульфирования и степень химической модификации низкомолекулярных полиэтиленовых отходов.

Ключевые слова: сульфирование, температура, низкомолекулярные полиэтиленовые отходы, степень сульфирования.

Введение. Современные тенденции в области переработки полимерных отходов направлены на создание эффективных и

экологически безопасных методов их утилизации. Полиэтилен, являясь одним из самых широко используемых полимеров [1],