



Korkut Ata University
Since 1997

ТЕХНИКА
ғылымдары және
ТЕХНОЛОГИЯ

ISSN 2959-8311 (print)

ISSN 3006-1733 (online)

№4, (08)

2024

ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАРЫ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ



ISSN 2959-8311 (print)
ISSN 3006-1733 (online)

ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАРЫ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ

№ 4 (08), 2024

2023 жылдан бастап шығады
Выходит с 2023 года
Founded in 2023

Жылына төрт рет шығады
Выходит четыре раза в год
Issued quarterly

**Қызылорда/Қызылорда/Kyzylorda
2024**

Редакция алқасы

- | | |
|------------------|---|
| Таңжарықов П.Ә. | - ғылыми редактор, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Бисенов Қ.А. | - техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Ұлттық ғылым академиясының академигі, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Астанакулов К.Д. | - техника ғылымдарының докторы, профессор, «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университеті, Өзбекстан Республикасы |
| Гильманшин Р. И. | - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, А.Н.Туполев атындағы Қазан ұлттық техникалық зерттеу университеті, Ресей Федерациясы |
| Монтаев С.А. | - техника ғылымдарының докторы, профессор, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Қазақстан Республикасы |
| Удербаяев С.С. | - техника ғылымдарының докторы, доцент, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |
| Темирбек А. | - жауапты хатшы, (PhD), Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан Республикасы |

Редакционная коллегия

- | | |
|------------------|--|
| Таңжарықов П.А. | - научный редактор, кандидат технических наук, доцент, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан |
| Бисенов К.А. | - доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан |
| Астанакулов К.Д. | - доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Республика Узбекистан |
| Гильманшин И.Р. | - кандидат технических наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, Российская Федерация |
| Монтаев С.А. | - доктор технических наук, профессор, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Республика Казахстан |
| Удербаяев С.С. | - доктор технических наук, доцент, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан |
| Темирбек А. | - ответственный секретарь, (PhD), Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан |

Editorial Board

- | | |
|------------------|---|
| Tanzharykov P.A. | - executive editor, Candidate of technical sciences, associate professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan |
| Bisenov K.A. | - Doctor of technical sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan |
| Astanakulov K.D. | - Doctor of technical sciences, professor, "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Republic of Uzbekistan |
| Gilmanshin I.R. | - Candidate of technical sciences, associate professor, Kazan National Technical Research University named after A.N. Tupolev, Russian Federation |
| Montayev S.A. | - Doctor of technical sciences, professor, Zhangir Khan Agrarian-Technical University of West Kazakhstan, Republic of Kazakhstan |
| Uderbayev S.S. | - Doctor of technical sciences, associate professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan. |
| Temirbek A. | - executive Secretary, Doctor of Philosophy, Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan |

Баспа атауы – «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті»

Баспа адресі – индекс 120014, Әйтеке би, 29А, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы

Наименование издателя – «Кызылординский университет имени Коркыт Ата»

Адрес издателя – индекс. 120014, ул Айтеке би, 29А, г.Қызылорда, Республика Казахстан

Name of the publisher – «Kyzylorda university named after Korkyt Ata»

The publisher's address is an index. 120014, Aiteke bi street, 29A, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan

АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУДЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІ: ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ МЕН ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ

Айтуғанова А.М., 05.05.07 – «Ауыл шаруашылығындағы электротехнология және электр жабдықтары» мамандығы бойынша 1-курс докторанты

aituganova_aisha@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8141-5157>

Турдибоев А.А., PhD, доцент

a.turdibaev@tiame.uz, <https://orcid.org/0000-0003-3129-6740>

*Ташкент ауыл шаруашылығын ирригациялау және механикаландыру инженерлері институты,
Ташкент. қ, Өзбекстан*

Андатпа. Су – бұл адамның әл-ауқатын және Жер экожүйелерінің әртүрлілігін сақтау үшін алмастырылмайтын ресурс. Әртүрлі антропогендік қызмет түрлері, оның ішінде ауыл шаруашылығы, мал шаруашылығы, өндірістік процестер, энергия өндірісі және күнделікті тұрмыстық міндеттер, көбінесе белгілі бір сапа стандарттарына сәйкес келетін суға тәуелді. Жердегі су ресурстарының жалпы көлемі 1,4 миллиард текше километрді құраса да, олардың тек 0,5% ғана тұщы және оңай қол жетімді. Алайда, адамның қызметі табиғи су айналымын айтарлықтай бұзды, бұл судың сапасы мен саны жағынан жетіспеушілікке әкелді. Осылайша, қазіргі уақытта әлем халқының шамамен екі үштен бірі судың жетіспеушілігімен кездесуде, ал болжамдар бойынша 2030 жылға қарай жылдық суға деген сұраныс ұсыныстан 40% артық болады. Әлемде жыл сайын адам қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін жеткілікті тұщы су болса да, суға деген қолжетімділік пен сұраныс арасындағы аймақтық және уақытша айырмашылықтар әлемнің әртүрлі бөліктерінде әртүрлі уақытта су жетіспеушілігін тудырады. Сондықтан су ресурстарын тұрақты пайдалану мен тұтынуға бағытталған тиімді тазарту әдістерін әзірлеу, су ресурстарының сарқылуы байқалатын аймақтарда ағынды суларды қайта пайдалану мәселелерін шешу, сондай-ақ ағынды суларды төгу мәселелерін шешу өте маңызды.

Тірек сөздер: Ағынды сулар, электрохимиялық тазарту әдістері, электрлік коагуляция, электролиз, электрлік флотация.

Кіріспе. Судың ластануы соңғы бірнеше онжылдықта адамдар мен экожүйеге тигізетін кері әсерін ескере отырып, күрделі мәселеге айналды. Түрлі өнеркәсіптік ағынды суларды тазарту үшін көптеген әдістер мен тәсілдер жүзеге асырылуда [1].

Тазарту тек ауыз суға ғана емес, сонымен қатар табиғи жауын-шашыннан немесе әртүрлі өнеркәсіптік кәсіпорындар табиғи не жасанды су айдындарына төгетін қалдықтардан пайда болатын ағынды суларға да қажет. Осыған байланысты тазарту қондырғылары тек сумен жабдықтау жүйелерінде ғана емес, сонымен қатар түрлі компанияларда, коммуналдық және ауыл шаруашылығы нысандарында да орнатылады және қолданылады [2].

Ағынды сулар – бұл құбырлар немесе каналдар жүйесі арқылы шығарылатын, сондай-ақ адамның тұрмыстық немесе өндірістік қызметі барысында пайдаланылғаннан кейін елді мекендер мен өнеркәсіптік кәсіпорындар аумақтарында жауын-шашын мен суару-жуу суларының ағыны нәтижесінде түзілетін сулар [3, 15].

Пайда болу көздеріне қарай ағынды сулар келесідей түрлерге бөлінеді:

1. Тұрмыстық – физиологиялық және тұрмыстық шығу текті қалдықтармен ластанған сулар;
2. Өндірістік – технологиялық процестер барысында пайда болатын және қоршаған орта үшін ең қауіпті болып саналатын сулар;
3. Атмосфералық – еріген қар және жаңбыр суларынан түзілетін ағындар, әдетте, олардың негізгі ластаушы заттары минералдық қоспалар болып табылады.

Зерттеу материалдары мен әдістері: Қазіргі таңда ағынды суларды тазартуда заманауи ғылым мен техниканың барлық жетістіктері кеңінен қолданылуда. Әдістердің әртүрлі көздері қолданылуда: механикалық, физика-химиялық, химиялық, биохимиялық,

термохимиялық және термиялық, мембраналық технологиялар, электр химиялық әдістер. Әдісті таңдау – ластану сипатына және оның қоршаған ортаға тигізетін зияндылық дәрежесіне байланысты.

Бүгінгі таңда ағынды суларды өңдеудің ең тиімді әрі болашағы зор технологияларының бірі – электрхимиялық тазарту әдісі болып табылады [4].

Органикалық және биогенді заттармен, сондай-ақ қауіпті қосылыстармен ластанған ағынды сулар су ресурстарына айтарлықтай теріс әсер етеді. Су нысандарына антропогендік жүктеменің жоғары болуына негізгі себеп – ағынды сулардың бүкіл көлемін тазартудың жеткілікті деңгейін қамтамасыз етудің мүмкін еместігі. Бұл тазарту құрылыстарының қуатының жеткіліксіздігімен немесе олардың тиімсіз пайдаланылуымен байланысты [5,10].

Су нысандарына тасталатын ағынды сулардың нормативтік деңгейде тазартылмауының себептері:

- тазарту құрылыстарының жобалық қуаттылығына дейін толық жүктелмеуі (орта есеппен 50%);
- тазарту технологиясының ағынды сулар құрамына сәйкес келмеуі;
- жергілікті (локальды) тазарту жетіспеушілігі;
- биологиялық тазарту қондырғыларының қанағаттанарлықсыз жұмыс істеуі;
- жабдықтардың физикалық тозуы.

Электрхимиялық әдістер ағынды суларды тазартудың ең тиімді тәсілдерінің бірі болып табылады [6, 7]. Электрохимиялық әдістерді дамыту, оларды жетілдіру және жаңа техникалық шешімдерді енгізу:

- су нысандарына антропогендік қысымның алдын алуға,
- стандартқа сай келмейтін суды айналымда пайдалануға мүмкіндік береді,
- сондай-ақ су тұтынушылардың экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Жүргізілген жан-жақты талдау нәтижесінде, ағынды суларды тазарту жүйелерінде ең перспективалы әдістер — электротехнологиялық әсер ету тәсілдері екені анықталды. Олардың ішінде ерекше атап өтуге болады:

- электрохимиялық сүзгілерді қолдану;
- электролизерлер мен электрокоагуляторларды қолдану;
- электрофлотаторларды пайдалану;
- магниттік және электромагниттік сүзгілерді қолдану.

Қазіргі таңда аталған электртехнологиялық әдістердің әртүрлі конструкциялық түрлері жасалып шығарылды. Олардың кейбірі бірнеше әсер ету механизмін бір технологиялық циклде біріктіруге мүмкіндік береді.

Мұндай құрылғылар өз тиімділігін әртүрлі салаларда қолдану барысында дәлелдеді.



1-сурет – Электрохимиялық әдістер

Ағынды суларды электрохимиялық тазарту – бұл тұрақты электр өрісінің әсерінен жүретін химиялық реакциялар мен түрленулердің кешені. Мұндай процестер молекулааралық өзара әрекеттесу күштерін жеңуге және коллоидтық ерітінділерді өңдеуге ыңғайлы формаға ауыстыруға көмектеседі.

Электрохимиялық қондырғылар суға электрофизикалық және электрохимиялық әсер етеді. Бұл әсер екі электродтың – катод пен анодтың – қос электрлік қабатында жүреді. Осы қабат арқылы электрондармен зарядтың тепе-теңсіз тасымалдануы жүзеге асады. Бұл кезде сұйық ортада жүретін электрохимиялық реакциялар нәтижесінде түзілетін өнімдердің белсенді диспергирлену шарттары қамтамасыз етіледі.

Электрохимиялық әдістер ағынды суларды тазартуда әртүрлі еріген қоспаларды, қалқып жүрген бөлшектерді және басқа да ластаушы заттарды жоюға тиімді. Алайда барлық элементтер мен қосылыстар металл гидроксилдерінің ұлпектері (хлопьялары) мен олардың адсорбциялық қабілеті жоғары болуы керек.

Сонымен қатар, электрохимиялық әдістер тотығу-тотықсыздану потенциалын және сутектік көрсеткішті (рН) реттеуге қабілетті. Бұл әдістер меншікті электрлік кедергіні төмендетеді, аэротенктерде қолданылатын белсенді илдің ферментативті белсенділігін арттырады, органикалық заттардың коагуляциясы мен тұнуына (седиментациясына) керемет жағдай жасайды [8].

Зерттеу нәтижелері және талқылау. Электр химиялық су тазарту барысында төрт негізгі процесс жүзеге асады:

1. Электролиз

Су электролизі кезінде электродтарда жүретін тотығу-тотықсыздану реакциялары нәтижесінде электролиттік ыдырау жүреді. Бұл процестер сыртқы тұрақты электр өрісінің әсерімен түсіндіріледі.

Суды электролизбен тазарту стандартты температурада да, жоғары температуралы режимде де жүргізілуі мүмкін [11,12]. Бұл үшін ерімейтін анодтар немесе активті, яғни ерігіш анодтар қолданылады. Қосымша мембраналар қолданылуы мүмкін.

Суды электролизбен тазарту ауыз суын дайындау үшін де жүргізілуі мүмкін. Бұл биологиялық жүйелердің су дисперсияларына тән қасиеттерге ие болуымен байланысты. Биодисперсиялардың тұндыру және агрегаттық тұрақтылығы өзгеріп, бұзылады. Ал оттегінің бактерицидтік әсері бар.

Электролизер ағынды суларды өңдеу үшін иондардың жартылай өткізгіш мембраналар арқылы тасымалдануын қамтамасыз етеді. Осы процессте суды тұзсыздандыру жүреді. Қышқылдар мен қатты сілтілер концентрленіп, қалыптасады.

2. Электрлік диализ

Электрлік диализде өңделетін судың құрамдас бөліктері бөлінеді. Бұл процесс мембрана арқылы диффузияның айырмашылығына негізделген. Ионизацияланған заттар электродвигательдік күштің әсерінен мембраналық элементтер арқылы бөлінеді. Бұл әдіс ағынды суларды өңдеуге, көлдер мен теңіз суларын тұзсыздандыруға қолайлы.

Тұзсыздандыру гетерогенді және гомогенді мембраналарды қолдану арқылы жүзеге асырылады. Соңғысы – бұл байланыстырғыш қоспалары бар ұнтақ түріндегі иониттер. Мембраналардың электрлік кедергісі үлкен болмауы керек.

Электрлік диализ үшін бір уақытта екі түрлі мембрана қолданылады: анод үшін анионитті және катод үшін катионитті мембрана. Мұндай тәсілмен ортақ бөлімнен электролиттен аниондар мен катиондар бір уақытта шығады. Бұл әдіс гидрозольдерді өңдеу үшін қолайлы, оның мақсаты электролиттік қоспаларды алып тастау. Ионалмасу диафрагмалары тазартуды тиімдірек етеді және электр энергиясының шығынын төмендетуге ықпал етеді.

3. Электрлік флотация

Бұл процесс кезінде газ көпіршіктері мен флоккулалардың түзілуі жүреді. Олар ірі дисперсті су қоспаларынан және ұсақ дисперсті газ көпіршіктерінен (катодта – сутегі, анодта – оттегі) құралады.

Электрлік флотацияда электролиз процесі кезінде пайда болатын газ көпіршіктері тиімді жұмыс істейді. Анодты оттегі көпіршіктері, ал катодты сутегі көпіршіктері жабады. Ерігіш электродтар енгізілген кезде флотация коагуляциялайтын үлпектердің түзілуі арқасында тамаша нәтижелер көрсетеді.

Катодты көпіршіктердің рөлі маңыздырақ, өйткені сутегі көпіршіктерінің өлшемдері басқа әдістермен өңдеу кезінде алынатындардан әлдеқайда кішкентай болады. Мұндай көпіршіктердің диаметрі 20-100 мкм аралығында болады. Көпіршіктер неғұрлым ұсақ болса, олардың ерігіштігі жоғары болады. Егер ағынды сулар газдармен артық қаныққан болса, көпіршіктер ластаушы бөлшектердің бетінде бөлініп, флотация процесін белсендіреді.

4. Электрлік коагуляция

Электр өрісінің әсерінен дисперсті тұнба фазасына жататын коллоидты бөлшектердің агрегациясы жүреді. Бұл анодтық металл еріту және темір, алюминий катиондарының түзілуімен байланысты.

Электрлік коагуляция қатты бөлшектердің ауадағы ең ұсақ көпіршіктерімен флотациясымен, электрофорезбен, катодтық қалпына келтірумен, алюминий мен темірдің басқа иондармен әрекеттесуімен және металл гидроксидтерінің үлпектерінде ластаушы иондардың сорбциясымен қатар жүреді.

Электрлік коагуляторлар қысыммен және қысымсыз болып бөлінеді. Алайда, көбінесе қысымсыз пластинкалы типтегі құрылғылар пайдаланылады. Оларда судың вертикальді немесе горизонтальды бағыты қарастырылған. Бұл агрегаттар көп және бір ағынды, сондай-ақ аралас түрлерінде болады. Егер схема көп ағынды болса, ағындар бір уақытта электродтар арасындағы қалдықтар арқылы өтеді [2, 9, 13].

Ағынды суларды электрхимиялық тазарту жұмсарту, залалсыздандыру, тұзсыздандыру, кондициялау, тұщыландыру, түссіздендіру және кешенді тазарту бойынша үлкен әлеуетке ие. Бұл технология көпсатылы тазарту сызбаларына жиі енгізіледі. Сонымен қатар, тазарту жылдамдығы, үнемділігі, сапасы мен тазарту дәрежесі жиі механикалық сүзгілердің, ион алмасу жабдықтарының және сорбциялық құрылғылардың тиімділік деңгейінен асып түседі.

Электр химиялық қондырғылар құрамында майлар, майлы заттар, мұнай өнімдері, ақуыздар, цианидтер, беттік-белсенді заттар (ББЗ), фенолдар, бояғыштар, пестицидтер, никель, мыс, қорғасын, сынап, кадмий және басқа да ауыр металдар, фтор, хлор, хлоридтер, сондай-ақ басқа да бейорганикалық заттар мен коллоидты бөлшектерді қоса алғанда органикалық қоспалар бар өндірістік ағынды суларды тиімді тазартуға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Қазіргі таңда ағынды суларды тиімді тазарту – экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің басты бағыттарының бірі болып табылады. Осы тұрғыдан алғанда, Электрохимиялық әдістер – жоғары тиімділікке, әмбебаптыққа және үнемділікке ие технологиялар ретінде кеңінен танылуда. Бұл әдістер суда еріген ауыр металл иондарын, органикалық қосылыстарды, бояғыштарды, бактерияларды және басқа да зиянды қоспаларды жоюға мүмкіндік береді. Электрлік коагуляция, электролиз және Электрлік флотация сияқты тәсілдер күрделі құрамдағы өндірістік және тұрмыстық ағынды суларды кешенді тазартуда оң нәтижелер көрсетуде.

Электрохимиялық тазарту процестері реагент қолдануды азайтып, тұнба түзуді төмендетеді және тазартылған суды қайта пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл әдістер автоматтандыру мен энергияны тиімді қолдануға бейімделгендіктен, болашақта олардың қолдану аясы одан әрі кеңеюі мүмкін.

Сондықтан электрохимиялық әдістерді ғылыми тұрғыда жетілдіру және тәжірибеде енгізу – су ресурстарын ұтымды пайдалану мен қоршаған ортаны қорғаудың маңызды шарты болып табылады.

Әдебиеттер:

- [1] **Pranjal. P. Das**, Thangsei N. Baite, Mihir K. Purkait Industrial wastewater treatment by electrocoagulation process // Environmental Approach to Remediate Refractory Pollutants from Industrial Wastewater Treatment Plant, 2024. – Pp.55-73. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13884-3.00019-6>
- [2] **Семенов, В.И.**, Электрохимическая очистка сточных вод URL// <https://wt-filter.ru/blog/elektrokhim-ochistka-stochnykh-vod/> (дата обращения: 05.02.2025)
- [3] **Вертинский, А.П.**, Современные методы очистки сточных вод: особенности применения и проблематика // «ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ», 2019. – №1.
- [4] **Назаров, В.Д.** Водоснабжение в нефтедобыче / В.Д. Назаров, Л.М. Гурвич, А.А. Русакович // Уфа: ООО «Виртуал», 2003. – 508 с.
- [5] **Василенко, Л.В.**, Никифоров А.Ф., Лобухина Т.В. Методы очистки промышленных сточных вод. Учебное пособие // Екатеринбург: УГЛУ Урал. гос. лесотехн. университет, 2009. – 174 с.
- [6] **Колесников, В.П.**, Вильсон Е.В. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях // Ростов-на-Дону, 2005. – 212 с.
- [7] **Камышникова, Е.** Обзор методов очистки сточных вод для их применения в орошении сельскохозяйственных культур // Строительство и техногенная безопасность, 2015. – №1 (53). – С. 100-114.
- [8] **Кравченко, А.В.**, Кублановский, В.С. Применение низкотемпературного плазменного электролиза для очистки сточных вод // Электронная обработка материалов, 2003. – № 3. – С. 70-75.
- [9] **Лепеш, Г.В.**, Панасюк А.С., Чурилин А.С. Современные методы очистки сточных вод промышленных предприятий // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2016. – № 3(37). – С. 14-23.
- [10] **Матвеевко, А.П.** Электрореагентная технология очистки и кондиции водных растворов и коллоидных ассоциатов // Техничко-технологические проблемы сервиса., – 2009. – №2(8). – С. 50-54.
- [11] **Матвеевко, А.П.**, Гаврикова А.Е. Установка электрореагентной очистки природной питьевой воды // Патент на полезную модель. – № 101701 по заявке № 2010131296 от 27 июля 2010 г.
- [12] **Лепеш, Г.В.**, Матвеевко А.П., Носов Э.С. Обоснование и разработка агрегатов электрореагентной очистки питьевой воды // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2010. – № 1 (11). – С. 64-79.
- [13] **Харламова, Т.А.** Очистка сточных вод от органических соединений электролизом под давлением: автореферат // Москва, 2005. URL:<https://tekhnosfera.com/ochistka-stochnykh-vod-ot-organicheskikh-soedineniy-elektrolizom-pod-davleniem>(дата обращения: 21.01.2025)
- [14] **Бердышев, А.С.** Научно-методологические основы электротехнологии обеззараживания подземных питьевых вод: автореферат докторской диссертации // Ташкент, 2023. – С. 29-52.
- [15] **Баймаханова, З.А.**, Тлегенов А.Б., Айтуғанова А.М., Балходжаева Г.Р., Жансерікқызы А. Ауыз су мен ағынды суларды тазартуға арналған озон технологиясының процестері мен аппараттары // Павлодар: Торайғыров университетінің хабаршысы. ISSN 2710-3420. Энергетикалық сериясы, 2024. – №2. – Б. 64-78.

References:

- [1] **Pranjal, P. Das**, Thangsei N. Baite, Mihir K. Purkait Industrial wastewater treatment by electrocoagulation process // Environmental Approach to Remediate Refractory Pollutants from Industrial Wastewater Treatment Plant, 2024. Pp. 55-73.
- [2] **Semenov, V.I.**, Jelektrohimicheskaja ochistka stochnykh vod URL// <https://wt-filter.ru/blog/elektrokhim-ochistka-stochnykh-vod/> (data obrashhenija: 05.02.2025) [in Russian]
- [3] **Vertinskiy, A.P.** Sovremennye metody ochistki stochnykh vod: osobennosti primeneniya i problematika // INNOVATSII I INVESTITSII, 2019.-№ 1. [in Russian]
- [4] **Nazarov, V.D.**, Gurvich L.M., Rusakovich A.A. Vodosnabzhenie v nefteдобыче // Ufa: ООО «Virtual», 2003. – 508 s. [in Russian]

- [5] **Vasilenko, L.V.**, Nikiforov A.F., Lobukhina T.V. Metody ochistki promyshlennykh stochnykh vod. Ucheb. posobie // Ekaterinburg: UGLU, Ural. gos. lesotekh. universitet, 2009. – 174 s. [in Russian]
- [6] **Kolesnikov, V.P.**, Vil'son E.V. Sovremennoe razvitie tekhnologicheskikh protsessov ochistki stochnykh vod v kombinirovannykh sooruzheniyakh // Rostov-na-Donu, 2005. – 212 s. [in Russian]
- [7] **Kamyshnikova, E.** Obzor metodov ochistki stochnykh vod dlja ih primeneniya v oroshenii sel'skhozajajstvennykh kul'tur [Overview of wastewater treatment methods for their application in crop irrigation] // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost', 2015. – №1 (53). – Pp. 100-114. [in Russian]
- [8] **Kravchenko, A.V.**, Kublanovskij, V.S. Primenenie nizkotemperaturnogo plazmennogo jelektroliza dlja ochistki stochnykh vod [Application of low-temperature plasma electrolysis for wastewater treatment] // Jelektronnaja obrabotka materialov, 2003. – № 3. – Pp. 70-75. [in Russian]
- [9] **Lepesh, G.V.**, Panasjuk, A.S., Churilin, A.S. Sovremennye metody ochistki stochnykh vod promyshlennykh predpriyatij [Modern methods of industrial wastewater treatment] // Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa, 2016. – № 3(37). – Pp. 14-23. [in Russian]
- [10] **Matveenکو, A.P.** Jelektroreagentnaja tehnologija ochistki i kondicii vodnykh rastvorov i kolloid nyh associatov. [The electoreagent technology of purification and conditioning of aqueous solutions and colloidal associates] // Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa, 2009. – № 2(8). – Pp. 50-54. [in Russian]
- [11] **Matveenکو, A.P.**, Gavrikova, A.E. Ustanovka jelektroreagentnoj ochistki prirodnoj pit'evoj vody [Installation of electoreagent purification of natural drinking water] // Patent na poleznuju model'. – № 101701 po zajavke № 2010131296 ot 27 ijulja 2010. [in Russian]
- [12] **Lepesh, G.V.**, Obosno vanie i razrabotka agregatov jelektroreagentnoj ochistki pit'evoj vody [Substantiation and development of units for electoreagent purification of drinking water] // Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa, 2010. – № 1 (11). Pp. 64-79. [in Russian]
- [13] **Harlamova, T.A.** Ochistka stochnykh vod ot organicheskikh soedinenij jelektrolizom pod davleniem: avtoreferat [Wastewater treatment from organic compounds by pressure electrolysis] // Moskva, 2005. URL:<https://tekhnosfera.com/ochistka-stochnykh-vod-ot-organicheskikh-soedinenij-elektrolizom-pod-davleniem> (data obrashheniya 21.01.2025)[in Russian]
- [14] **Berdyshev, A.S.** Nauchno-metodologicheskie osnovy jelektrotehnologii obezzarazhivaniya podzemnykh pit'evykh vod [Scientific and methodological foundations of electrotechnology of disinfection of underground drinking water]: avtoreferat doktorskoj dissertacii // Tashkent, 2023. – Pp. 29-52. [in Russian]
- [15] **Baimahanova, Z.A.**, Tlegenov A.B., Aituğanova A.M., Balhojaeva G.R., Janserikqyzy A. Auyz su men ağındy sulardy tazartuğa arnalğan ozon tehnologiasynyñ prosesteri men aparattary // Pavlodar: Toraiğyrov universitetiniñ habarşysy. ISSN 2710-3420. Energetikalyq seriasy, 2024. – №2. – B. 64-78. [in Kazakh]

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Айтуганова А.М., докторант 1-курса по специальности 05.05.07 – «Электротехнология и электрооборудование в сельском хозяйстве»

Турдибоев А.А., PhD, доцент

Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье рассказывается о значении воды, проблемах её дефицита и необходимости разработки эффективных методов очистки сточных вод. Вода — незаменимый ресурс для обеспечения благополучия человека и сохранения разнообразия экосистем Земли. Различные виды антропогенной деятельности, включая сельское хозяйство, животноводство, промышленные процессы, выработку энергии и повседневные бытовые нужды, в значительной степени зависят от воды, соответствующей определённым стандартам качества. Хотя общий объём водных ресурсов на Земле составляет 1,4 миллиарда кубических километров, лишь 0,5% из них — это пресная вода, доступная для использования. Однако деятельность человека серьёзно нарушила естественный круговорот воды, что привело к дефициту как по качеству, так и по количеству водных ресурсов. В настоящее время примерно две трети населения планеты

сталкиваются с проблемой нехватки воды, и, по прогнозам, к 2030 году ежегодный спрос на воду превысит её доступное предложение на 40%. Несмотря на то, что в мире ежегодно производится достаточно пресной воды для удовлетворения человеческих потребностей, региональные и сезонные различия между доступностью и спросом на воду вызывают её дефицит в разных частях света в разное время. Поэтому крайне важно разрабатывать эффективные методы очистки, направленные на устойчивое использование и потребление водных ресурсов, решать вопросы повторного использования сточных вод в регионах, подверженных их истощению, а также проблему сброса сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, электрохимические методы очистки, электрическая коагуляция, электролиз, электрическая флотация.

ELECTROCHEMICAL METHODS FOR WASTEWATER TREATMENT: THEORETICAL FOUNDATIONS AND APPLICATION EFFICIENCY

Aituganova A.M., 1st year doctoral student, specialty 05.05.07 – "Electrical engineering and electrical equipment in agriculture"

Turdiboyev A.A., Doctor of Philosophy, Associate Professor

National Research University «Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers», Tashkent, Uzbekistan

Annotation. This article discusses the importance of water, the problems associated with its scarcity, and the need to develop effective wastewater treatment methods. Water is an irreplaceable resource essential for human well-being and the preservation of Earth's ecosystem diversity. Various types of anthropogenic activities, including agriculture, livestock farming, industrial processes, energy production, and everyday domestic needs, heavily depend on water that meets specific quality standards. Although the total volume of the Earth's water resources amounts to 1.4 billion cubic kilometers, only 0.5% is fresh water readily available for use. However, human activities have significantly disrupted the natural water cycle, leading to both qualitative and quantitative shortages of water resources. Currently, about two-thirds of the world's population faces water scarcity, and projections indicate that by 2030, annual water demand will exceed available supply by 40%. Even though enough freshwater is produced globally each year to meet human needs, regional and seasonal imbalances between water availability and demand result in water shortages in various parts of the world at different times. Therefore, it is crucial to develop effective treatment methods aimed at the sustainable use and consumption of water resources, address the reuse of wastewater in areas experiencing depletion, and solve the problem of wastewater discharge.

Keywords: wastewater, electrochemical treatment methods, electrocoagulation, electrolysis, electroflotation.

ADAPTIVE SEGMENTATION OF MULTI-WIRE TRANSMISSION LINES

Makhambayeva I.U., Candidate of physical and mathematical sciences

indira_mah@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5854-0718>

Kamil A., Master of Technical Sciences

ardak_kamilov1998@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5081-0342>

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Annotation. The article discusses a comparison of adaptive segmentation methods for multi-wire transmission lines in quasi-static analysis by the method of moments. A two-dimensional version of the method of moments for transmission lines is presented and an overview of the adaptive iterative choice of optimal segmentation of the boundaries of conductors and dielectrics in electrostatics problems is presented, as well as an overview of the joint use of quasi-statics and electrodynamics with the method of moments.

The construction of the grid affects the properties of the resulting system of linear algebraic equations and determines the choice of the method of calculating its elements (numerical integration, differentiation or expression in closed form) and the method of its solution (direct or iterative) and, thus, the time spent on its formation and solution. If it is necessary to perform a multivariate analysis or optimization of the parameters of the investigated multi-wire transmission line, these three stages are repeated many times, which significantly complicates the process of optimal design of electronic means due to a significant increase in computing costs. Therefore, it is important to find ways to reduce them, in particular, by choosing a grid construction method.

Keywords: segmentation, interpretation, method of moments, quasi-statistics, grid, microstrip line.

Introduction. The adaptive mesh refinement procedure requires two elements: edge refinement conditions and algorithm convergence criterion. Any of the three criteria set in potential error, tangential electric field error, or approximately equal total charge per cell condition can be used as the refinement condition. This last criterion will be used.

The need to reduce computational costs of modeling forces us to take a closer look at the possibility of using all hidden resources. One of them is the choice of segmentation. The possibility of obtaining acceptable results even with the roughest segmentation makes it advisable to start modeling with it, since this modeling requires minimal costs. The order of the matrix of the system of linear algebraic equations can be only units to tens, which means that the solution of the system of linear algebraic equations can be very fast. The need to obtain more accurate results makes it natural to choose segmentation using an iterative approach, i.e. repeating calculations with increasing segmentation frequency until a solution with a given accuracy is obtained. The increase in costs will be small, since the matrix order will still be quite small: tens to hundreds. It is natural to use the results of the previous iteration, for example, the calculated charge densities at the boundaries for non-uniform segmentation (more frequent in places with stronger density changes).

Research conditions and methods. According to Ref., the goal of adaptive mesh refinement in electrostatics is to ensure that the total charge on each edge element remains constant. This implies that we should have more elements in regions of high charge density and fewer elements in nearly neutral regions.

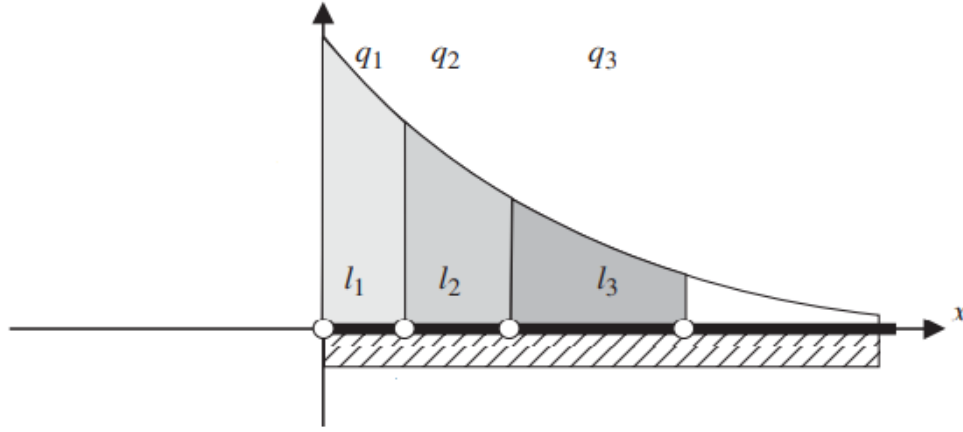


Figure 1 – Concept of adaptive mesh refinement with approximately equal net charge per cell.

The edge length will give us the refinement criterion. This is shown schematically in Figure 1, where the original uniform edge mesh has been refined such that

$$q_1 \approx q_2 \approx q_3 \quad (1)$$

When the total charge value of a rib exceeds a threshold value compared to the average value, the rib can be divided into two subcostals, which reduces the total charge in each subcostal region by 50%. [1].

Numerical solution of electrostatics problems is often reduced to solving a system of linear algebraic equations $S = v$, where S is an $N \times N$ matrix describing the structure, σ is the desired vector of charge density at the conductor and dielectric boundaries, and v is the vector of specified voltages. The boundaries of the structure are divided into N segments, the choice of length of which affects the size of the matrix S and the accuracy of calculating the parameters. Reducing the segment length increases the accuracy of the calculation, but it also increases N . As is known, when using direct methods, the time required to solve the is proportional to N^3 and can be long.

Let us note several factors related to the accuracy of modeling. First of all, the accuracy of obtaining the desired characteristic (for example, by setting the value of its current relative change), since the influence of segmentation on different characteristics can vary greatly. For example, the influence on primary parameters (matrices of linear coefficients) can be strong, on secondary parameters (delays or response parameters) – weak or also strong (if large values are subtracted, as in far crosstalk). Another aspect is the different influence on the accuracy of a given segmentation characteristic of different boundaries of the structure, determining a fine adaptive choice of segmentation on each of them. In particular, it is natural to separately control the segmentation when calculating the inductive matrix (which is affected by the segmentation of the boundaries of only conductors) and the capacitive matrix (which is affected by the segmentation of the boundaries of both conductors and dielectrics). Thus, for optimal (according to the criterion of minimizing N at a given modeling accuracy due to the choice of its density at different boundaries) segmentation, it is advisable to separately segment the boundaries of conductors and dielectrics, as well as the boundaries of each of them, since their influence on the modeling accuracy will be different.

As a result, the costs of several iterations with an increasing, but remaining small, order of the system of linear algebraic equations will give its optimal value, significantly saving computational costs compared to the obviously large one obtained with uniform autosegmentation of all boundaries. The use of adaptive iterative selection of optimal segmentation seems to be effective, especially for real-time modeling.

The structure with the cross-section shown in Figure 1.5 was selected. The geometric parameters of the structure were taken from a fragment of a real printed circuit board: conductor width $w = 890 \mu\text{m}$, gaps $s_1 = 500 \mu\text{m}$, $s_2 = 1890 \mu\text{m}$, conductor and solid conductive area thickness $t = 35 \mu\text{m}$, substrate height $h_1 = h_3 = 144 \mu\text{m}$, substrate thickness $h_2 = 220 \mu\text{m}$. The solder mask thickness was taken to be $h_M = 30 \mu\text{m}$. The width of the solid conductive areas was taken to be $5w$. The time of 100 calculations was measured to reduce random error.

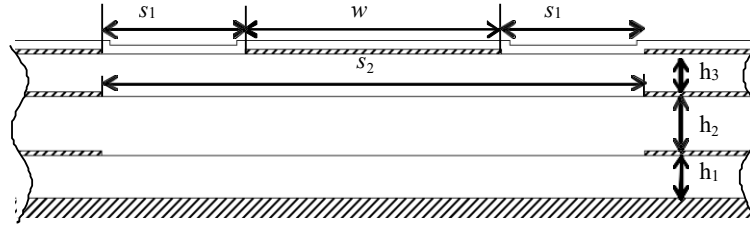


Figure 2 – Enlarged fragment of the cross-section of the modeled structure

The calculation algorithm for a two-dimensional structure is as follows:

1. The initial modeling parameters are set (tol, structure parameters).
2. The segment length is set equal to the conductor width w .
3. A preliminary calculation of the value of the controlled quantity K_0 is performed.
4. The segment length is reduced by half.
5. The value of the controlled quantity is calculated for the given segmentation.
6. If $(K_i - K_{i-1})/K_{i-1} > \text{tol}$, then go to point 4 [2].

The most common three-conductor system in electrical engineering is defined by two adjacent microstrips passing over a metallic ground plane, or by two coupled strips passing between two ground planes [3-10]. In this case, it is necessary to calculate the Maxwell capacitance matrix and extract the mutual capacitance. Such a system is usually two-dimensional; it is rather poorly modeled by a three-dimensional electrostatic solver, since very long but finite microstrips with unterminated tips are considered. In addition, it inherently includes a dielectric substrate.

Next, consider the three conducting objects shown schematically in Figure 3. The conducting object between the two capacitor plates in Figure 3 may represent a conducting pharmaceutical tablet to be counted as it passes between the capacitor plates [11]. Figure 3(a) may overstate the size of the tablet; in reality, it is expected to be much smaller.

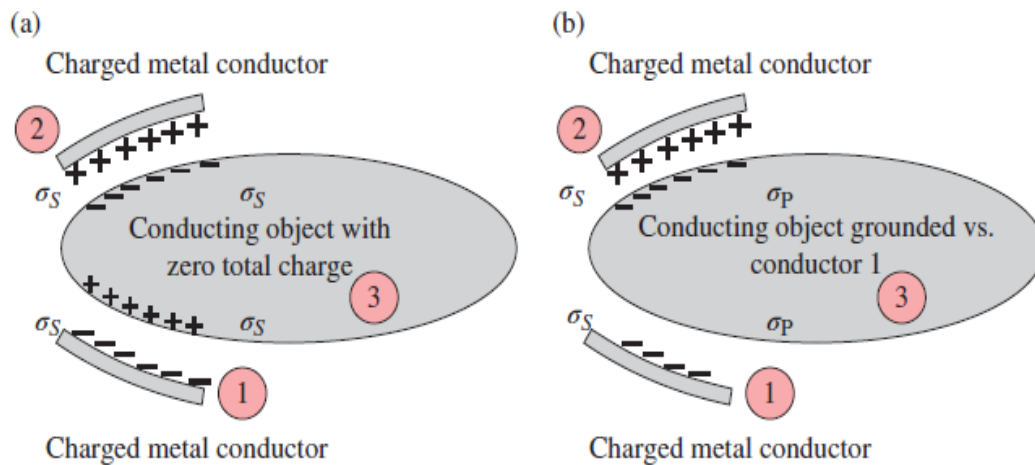


Figure 3 – Two scenarios for a conductive object placed between two capacitor plates: a floating conductor (a) and a grounded conductor (b)

Alternatively, it could simply be a human finger placed between two closely spaced capacitor plates, as shown in Figure 3(b).

Figure 2(a) and (b) show two different scenarios of charge distribution and resulting capacitance, respectively:

1. In the first case, the conducting object between the two plates of the capacitor is normally uncharged; its total charge is zero. However, its potential/voltage does not exist—the exact value is obtained from the solution. This important case is known as a floating conductor in finite element analysis (e.g., Maxwell 3D from ANSYS).

2. In the second case, the object is usually grounded compared to the bottom plate, i.e. has the same electrical potential (usually 0 V). However, its total charge is no longer zero.

Figure 3 is a combined array of faces (or triangles), the MoM formula is indeed identical to the formula . However, the charge conservation law given by the equation must be imposed differently. It is convenient to mark the faces belonging to different objects by another fourth parameter—an additional column of the triangular array t (object 4). Suppose, for example, that all faces of the bottom plate (object 1) have this fourth column equal to 1, all faces of the top plate (object 2) have the value 2, and all faces of the conducting object have the value 3, thus dividing the geometry into separate regions. Также предположено, что грани, соответствующие пластинам конденсатора, помещаются первыми в матрицу, t ; число связанных граней равно N_M . The faces belonging to the conducting object are placed last; the number of faces in this region is zero. The MoM formula system has the schematic form shown in Figure 3. When the zero net charge condition is applied to the conducting object, its specific potential value does not affect the numerical calculations. The zero value is used without loss of generality (see Figure 3(a)). Given that the conducting object is uncharged, the zero net charge condition can also be introduced for the two plates of the capacitor. To do this, divide each of the first formula by the corresponding area of the triangle, then subtract the formula from the others and replace the equation with the charge conservation law in the form

$$S_1 a_1 + S_2 a_2 + \dots + S_{N_M} a_{N_M} = 0 \quad (2)$$

Next, introduce the condition of zero charge for the conducting object itself. This is achieved by dividing each of the last formulas $N_M + 1 : N_M + N_0$ by the corresponding area of the triangle S_m , then subtracting the formulas $N_M + N_0$ from the others and replacing the formula $N_M + N_0$ with the law of conservation of charge in the form

$$\begin{aligned} S_{N_M+1} b_1 + S_{N_M+2} b_2 + \dots + S_{N_M+N_0} b_{N_0} &= 0 \\ b_1 = a_{N_M+1}, \dots, b_{N_0} &= a_{N_M+N_0} \end{aligned} \quad (3)$$

Research results and discussion. This case is much simpler: the ground plane of the capacitor and the conducting object have the same electric potential (0 V). Thus, they effectively form a single conductor. Furthermore, the condition of zero net charge is satisfied for the combination of all three conductors. Analytical solutions to the three-body problem in electrostatics are practically unavailable. Therefore, numerical simulations are compared with accurate experimental data given in [13]. The experimental setup is similar to that shown in Figure 4. A parallel-plate capacitor is made of two identical conducting circular plates with fixed radii of 11 cm, separated by a variable distance d . The experimental setup is isolated from external disturbances by a shield created from a Faraday cage and an additional pair of conducting circular plates. The object (spheres or a circular cylinder) is inserted inside the capacitor and centered between the plates at the time of measurement.

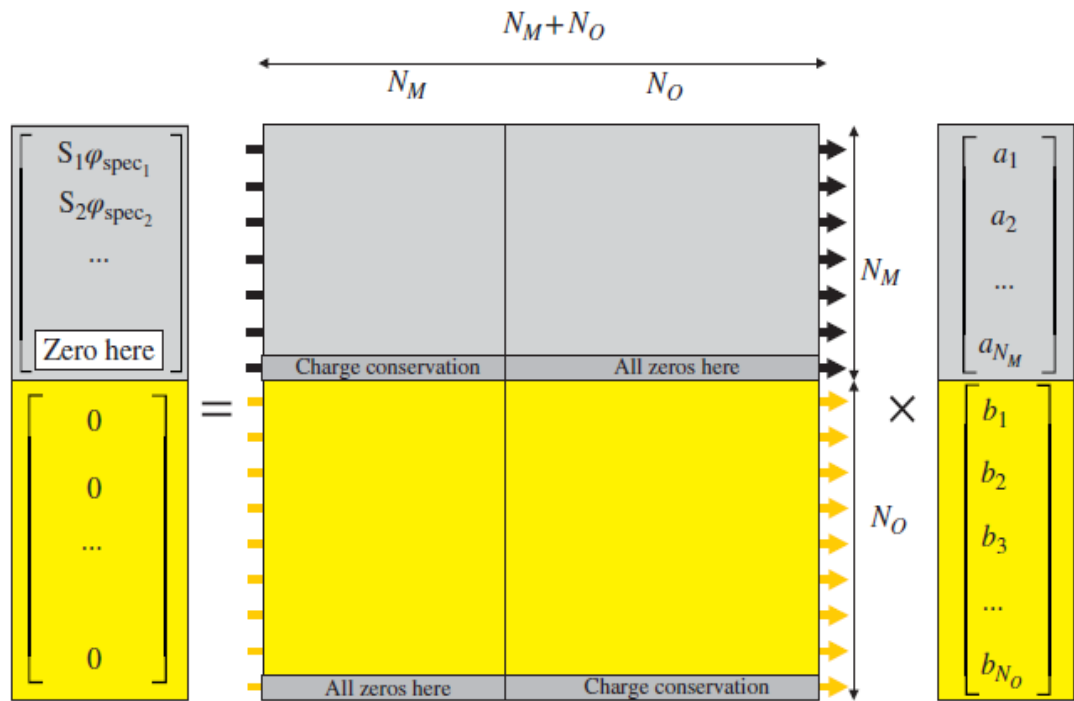


Figure 4 – Scheme of fulfilling the conditions of charge conservation for a system with three conductors.

In addition, when a circular cylinder was inserted between the plates, it was done in such a way that the axis of symmetry of the cylinder coincided with the axis of symmetry of the experimental setup. Figure 4 shows a comparison of the experimental data (circles) with the MoM calculations. The agreement between the two sets of data is excellent.

Conclusion. The interaction of electromagnetic waves with dielectric bodies has been widely studied because of its importance to problems including propagation through rain or snow, scattering and detection of particles in air, medical diagnostics and energy absorption in biological bodies, communication with missiles with plasma plumes or dielectric-filled holes, and the operation of communication antennas in the presence of dielectric and magnetic inhomogeneities. When the size of the dielectric body is neither large nor small compared to the excitation wavelength, asymptotic methods cannot be used to solve the interaction problem.

The need to reduce computational costs of modeling forces us to take a closer look at the possibility of using all hidden resources. One of them is the choice of segmentation. The possibility of obtaining acceptable results even with the roughest segmentation makes it advisable to start modeling with it, since this modeling requires minimal costs.

References:

- [1] **Makarov, S.N.** Low-frequency electromagnetic modeling for electrical and biological systems using MATLAB / S.N. Makarov, G.M. Noetscher, A. Nazarian. – Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2016. – 589 p.
- [2] **Ashirbakiyev, R.I.** Adaptive iterative selection of optimal segmentation of conductor and dielectric boundaries in electrostatic problems / R.I. Ashirbakiyev, V.K. Salov // TUSUR Reports, – 2013. – No. 3 (29). – P. 159-161
- [3] **Bhat, B.** Stripline–Like Transmission Lines for Microwave Integrated Circuits. /S.K.Koul, B.Bhat // New York: Wiley, – 1989. – P.207–217.
- [4] **Rubin, B.J.** Understanding modeling and measurements of differential transmission lines. Electrical Performance of Electronic Packaging, October, – 2001.– P. 313–316.
- [5] **Tripathi, VK.** Asymmetric coupled transmission lines in an inhomogeneous medium. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1975. –MTT-23(9):734–739.

- [6] **Zysman, G.I** Coupled transmission line networks in an inhomogeneous dielectric medium. IEEE Trans. Microw Theory Tech /Johnson AK.// Oct., 1969–MTT-17(10):753–759.
- [7] **Pozar, D.M.** Microwave Engineering. – 3rd ed., – New York: Wiley, – 2005.
- [8] **Zinke, O**, HochfrequenzTechnikI. /Brunswig HB// Berlin: Springer, – 1995. – P.194–200.
- [9] **Chang, K**, editor. Handbook of Microwave and Optical Components. – Volume 1 – New York: Wiley, 1989.
- [10] **Collin R.E.** Foundations for Microwave Engineering. – 2nd ed. – Piscataway (NJ): IEEE Press, – 2001.
- [11] **Letchumanan G**, Pharmaceutical pill counting and inspection using a capacitive sensor. Sensors Transducers J/ Hawkins S, Rockett P, Sheard S, Shail C, Shail K, Dobson P.,// 2008. –87(1) – C. 31–38.
- [12] **Baxter, L.K.** Capacitive Sensors. – New York: John Wiley & Sons, Inc., – 1996.
- [13] **Sohl, C**, Electrostatic measurements of low capacitance changes in a parallel plate capacitor./ Gustafsson M, Kristensson G, Lovric D, Nilsson M, Sunesson A.// XXX th URSI General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, Turkey. IEEE; – August, 2011. – P. 1–4.
- [14] **Richmond, J.H.** “Scattering by a dielectric cylinder of arbitrary cross section shape,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP–13, pp.334-341, May 1965.
- [15] **Richmond, J.H.** “E-wave scattering by a dielectric cylinder of arbitrary cross-section shape,” IEEE Trans. Antennas Propagat. –vol. AP-14, P. 460-464– July, 1966. – dielectric bodies of revolution,” Radio Sci. – vol. 12, P. 709-718

КОП СЫМДЫ ЖЕЛІЛЕРДІ АДАПТИВТІК СЕГМЕНТТЕУ

Махамбаева И.У., физика-математика ғылымдарының кандидаты
Камил А., техника ғылымдарының магистрі

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Андатпа. Мақалада квазистатикалық талдауда момент әдісін қолдану арқылы көп сымды электр беру желілері үшін адаптивті сегменттеу әдістерін салыстыру қарастырылады. Электр беру желілері үшін моменттердің әдісінің екі өлшемді нұсқасы және электростатикалық есептердегі өткізгіштер мен диэлектриктердің шекараларының оңтайлы сегментациясын адаптивті итеративті таңдауға шолу, сонымен қатар квазистатика мен электродинамиканың момент әдісімен бірге қолданылуына шолу ұсынылған.

Тордың құрылысы алынған сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесінің қасиеттеріне әсер етеді және оның элементтерін есептеу әдісін таңдауды (сандық интегралдау, дифференциалдау немесе жабық түрдегі өрнек) және оны құру мен шешуге кететін уақыт шығындары шешу әдісін (тікелей немесе итеративті) анықтайды. Зерттелетін көп сымды электр жеткізу желісінің параметрлерін көп нұсқалы талдау немесе оңтайландыру қажет болса, бұл үш кезең бірнеше рет қайталанады, бұл есептеу шығындарының айтарлықтай өсуіне байланысты радиоэлектрондық жабдықты оңтайлы жобалау процесін айтарлықтай қиындатады. Сондықтан оларды азайту жолдарын іздеу торды құру әдісін таңдауға байланысты өзекті болып табылады.

Тірек сөздер: сегменттеу, интерпретация, момент әдісі, квазистатика, тор, микрожолық сызығы.

АДАПТИВНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

Махамбаева И.У., кандидат физико-математических наук
А.Камил, магистр технических наук

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

Аннотация. В статье рассмотрено сравнение методов адаптивной сегментации многопроводных линий передачи при квазистатическом анализе методом моментов.

Приведена двумерная версия метода моментов для линий передачи и обзор адаптивного итерационного выбора оптимальной сегментации границ проводников и диэлектриков в задачах электростатики, а также представлен обзор совместного использования квазистатики и электродинамики с методом моментов.

Построение сетки оказывает влияние на свойства результирующей системы линейных алгебраических уравнений и определяет выбор способа вычисления её элементов (численное интегрирование, дифференцирование или выражение в замкнутом виде) и метода её решения (прямой или итерационный) и, тем самым, временные затраты на её формирование и решение. При необходимости многовариантного анализа или оптимизации параметров исследуемой многопроводной линии передачи эти три этапа повторяются многократно, что существенно усложняет процесс оптимального проектирования радиоэлектронных средств из-за существенного роста вычислительных затрат. Поэтому актуален поиск путей их уменьшения, в частности, за счёт выбора метода построения сетки.

Ключевые слова: сегментация, интерпретация, метод моментов, квазистатика, сетка, микрополосковая линия.

SYNTHESIS OF A TUNABLE MAIN-LOOP REGULATOR FOR THE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF A LINEAR SPACECRAFT USING THE LYAPUNOV METHOD

Temirbek A., PhD

aiku08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5553-6978>

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Annotation. This paper presents the synthesis of a tunable main-loop regulator for an adaptive control system of a linear spacecraft using a method based on Lyapunov functions, specifically through the application of Lyapunov's gradient-velocity vector-function approach. A universal method for constructing Lyapunov vector functions is proposed, based on the geometric interpretation of the asymptotic stability theorem and the concept of stability from Lyapunov's direct method. The adaptive control system is considered in terms of gradient functions, while Lyapunov functions are interpreted as potential functions of gradient dynamical systems from catastrophe theory. This enables the construction of Lyapunov functions as vector-functions through their gradient properties.

The proposed control framework is based on the model reference adaptive control (MRAC) structure, where the adaptation mechanism is derived from Lyapunov's direct method to ensure system stability and convergence. The tunable regulator design allows for online adjustment of model and controller parameters, improving performance in the presence of structural uncertainties.

Keywords: adaptive control, Lyapunov method, MRAC, spacecraft, main-loop regulator, stability.

Introduction. Modern aerospace systems operate under highly dynamic and uncertain environments, requiring robust and adaptive control strategies. Linear approximations of spacecraft are often used at specific flight regimes for controller design and performance evaluation. However, model mismatches and parameter uncertainties can severely degrade control performance if not properly accounted for.

Adaptive control offers a framework for real-time compensation of such uncertainties. One of the most widely used approaches is Model Reference Adaptive Control (MRAC), where the actual plant is commanded to follow the behavior of a specified reference model. In adaptive control systems, the reference model can be expressed explicitly through a specific dynamic link; or in a fixed mode, it can be expressed implicitly in the form of given coefficients or units describing the desired properties of the system, and without a physical representation in the form of a specific technical unit. The purpose of control in adaptive systems with explicit and implicit reference models is to ensure the maximum approximation of the dynamics of the control system to the reference model. A regulated regulator is built in such a way that a closed system behaves like a reference model when its coefficients correspond to the parameters of the control object. Then information about parametric discrepancies in the system will be a reference model tracking error. In addition, the purpose of the operation of the adaptation algorithm (or algorithm for adjusting the coefficients of the regulator) is to minimize error. Thus, the regulator and its adaptation algorithm are combined with a single goal - to reduce the error of the reference model control [1-5].

MRAC systems are typically composed of four components:

1. *Reference Model:* Specifies the desired dynamics of the system.
2. *Adjustable Controller:* Includes tunable parameters updated online.
3. *Adaptation Law:* Determines how controller parameters change to reduce the tracking error.
4. *Error Model:* Represents the difference between plant and reference model behavior.

The strength of MRAC lies in its ability to compensate for time-varying parameters, unmodeled dynamics, and external disturbances without requiring exact knowledge of the

system. However, achieving stable and convergent behavior in MRAC requires careful design, especially in the choice of the adaptation law and the stability proof methodology.

To ensure the stability of the adaptive control system, Lyapunov's direct method is often employed. The well-known approaches to the synthesis of adaptive control systems based on the use of Lyapunov functions are the main approaches to the study of the stability and quality of linear and nonlinear systems. However, the main problem of the study here is the lack of universal methods for constructing Lyapunov functions for the study of adaptive control systems. Currently, this method is mainly a tool for theoretical research and cannot answer all questions regarding the stability and quality of work of the adaptive regulator in real conditions [6-7].

This paper focuses on the synthesis of a tunable main-loop regulator using Lyapunov's direct method, allowing online adjustment of control parameters to improve performance metrics such as settling time, robustness, and tracking accuracy. The novelty of this work lies in employing a Lyapunov's gradient-velocity vector-function approach, which offers geometric insight and a universal strategy for constructing adaptive laws in the presence of structural uncertainties and system perturbations [8-9].

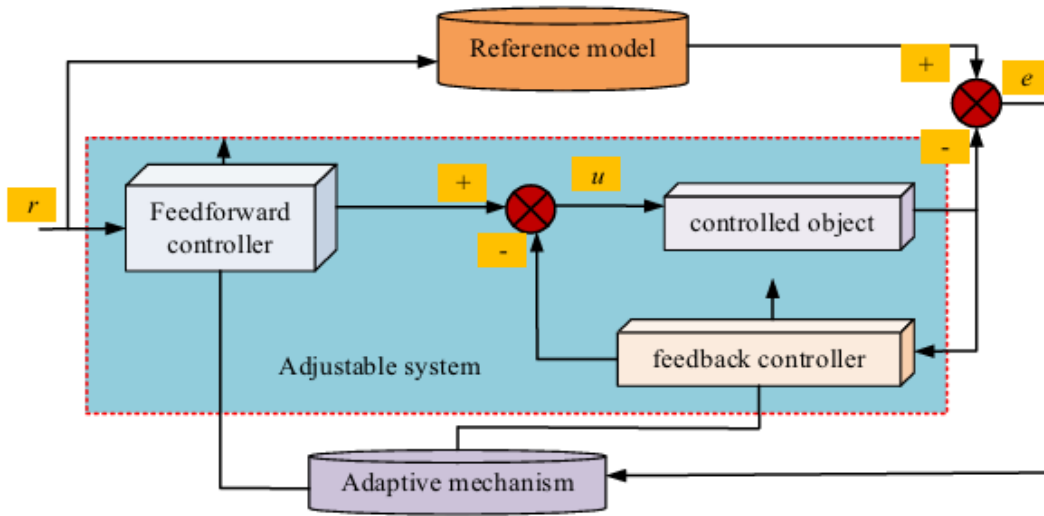


Figure 1 – Schematic diagram of Model Reference Adaptive Control

Materials and Methods. A highly stable automatic control system with high quality indicators can be divided into a group of highly stable systems. This requires determining the aperiodic stability limits and studying the system for aperiodic robust stability. The study of the general system of aperiodic robustness shows the limits for changes in the parameters of the control system, at the values of the parameters in this area, the transition processes in the control system are aperiodic transients with the necessary quality indicators, for high stability control systems, the norm of the solution from a mathematical point of view is monotonously reduced, i.e., technical transients in the system are aperiodic in nature. In this paper, the study of adaptive control systems for aperiodic robust stability is carried out on the basis of the Lyapunov gradient-velocity vector-function approach in the framework of the method based on the use of Lyapunov functions.

Let the linear control system of a spacecraft (SC) be described by the state equation

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = x_4 \\ \frac{dx_4}{dt} = a_{43}x_3 + a_{44}x_4 + b_{41}u_1 + b_{42}u_2 \end{cases} \quad (1)$$

where x_1, x_2 – represent the angle of rotation around the axis and the angular velocity of the spacecraft, respectively, and x_3, x_4 – denote the rotor angle of the flywheel motor and the angular velocity of the flywheel motor.

The coefficients are defined as follows:

$a_{21} = \frac{1}{2} \left(m_{D1} - \frac{1}{K_{D1}} \right)$, where m_{D1} and K_{D1} are the gain and time constant of the solar sensor deflection angle measurement channel, respectively;

$a_{22} = \frac{1}{2} \left(m_{D2} - \frac{1}{K_{D2}} \right)$, where m_{D2} and K_{D2} are the gain and time constant of the solar sensor angular velocity measurement channel, respectively;

$a_{23} = \frac{1}{2J_x}$, where J_x is the principal moment of inertia with respect to the OX axis;

$a_{43} = -\frac{1}{P_M^2}$, P_M is the time constant of the actuator mechanism, characterizing the inertia of the actuator;

$a_{44} = -\frac{2\xi_M}{P_M}$, ξ_M is the relative damping ratio (with $1 \leq \xi_M < \infty$);

$b_{41} = \frac{G_M}{P_M^2}$, $b_{42} = \frac{G_M}{P_M^2}$, where G_M is the gain of the flywheel actuator amplifier.

The control law is given in the form:

$$u_1(t) = -k_1 x_1(t), u_2(t) = -k_2 x_2(t), \quad (2)$$

The control system of the spacecraft (1), taking into account the control law (2), is written as follows:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = x_4 \\ \frac{dx_4}{dt} = a_{43}x_3 + a_{44}x_4 - b_{41}k_1x_1 - b_{42}k_2x_2 \end{cases} \quad (3)$$

We analyze system (2.3) for aperiodic robust stability using the gradient-velocity method based on the Lyapunov vector function. With appropriate selection of system parameters, it is possible to guarantee the desired aperiodic transient behavior and high-quality control performance, while also ensuring the absence of oscillatory or unstable regimes [10-15].

From system (2.3), the non-zero components of the gradient vector of the Lyapunov vector functions are determined:

$$\begin{cases} \frac{\partial V_1(x)}{\partial x_2} = -x_2, \frac{\partial V_2(x)}{\partial x_1} = -a_{21}x_1, \frac{\partial V_2(x)}{\partial x_2} = -a_{22}x_2, \frac{\partial V_2(x)}{\partial x_3} = -a_{23}x_3 \\ \frac{\partial V_3(x)}{\partial x_4} = -x_4, \frac{\partial V_4(x)}{\partial x_1} = b_{41}k_1x_1, \frac{\partial V_4(x)}{\partial x_2} = b_{42}k_2x_2, \frac{\partial V_4(x)}{\partial x_3} = -a_{43}x_3 \\ \frac{\partial V_4(x)}{\partial x_4} = -a_{44}x_4 \end{cases} \quad (4)$$

From (2.3), the nonzero components of the expansion of the velocity vector to the coordinates of the system are determined (x_1, x_2, x_3, x_4):

$$\begin{cases} \left(\frac{dx_1}{dt} \right)_{x_2} = x_2, \left(\frac{dx_2}{dt} \right)_{x_1} = a_{21}x_1, \left(\frac{dx_2}{dt} \right)_{x_2} = a_{22}x_2, \left(\frac{dx_2}{dt} \right)_{x_3} = a_{23}x_3, \left(\frac{dx_3}{dt} \right)_{x_4} = x_4 \\ \left(\frac{dx_4}{dt} \right)_{x_1} = -b_{41}k_1x_1, \left(\frac{dx_4}{dt} \right)_{x_2} = -b_{42}k_2x_2, \left(\frac{dx_4}{dt} \right)_{x_3} = a_{43}x_3, \left(\frac{dx_4}{dt} \right)_{x_4} = a_{44}x_4 \end{cases} \quad (5)$$

The total time derivative of the Lyapunov vector function is defined as the scalar product of the gradient vector (4) and the velocity vector (5).

$$\frac{dV(x)}{dt} = -x_2^2 - (a_{21}x_1)^2 - (a_{22}x_2)^2 - (a_{23}x_3)^2 - x_4^2 - (b_{41}k_1x_1)^2 - (b_{42}k_2x_2)^2 - (a_{43}x_3)^2 - (a_{44}x_4)^2, \quad (6)$$

The resulting total time derivative of the Lyapunov vector function (6) is guaranteed to be a negative-definite function. Therefore, the sufficient condition for asymptotic stability according to Lyapunov is always satisfied.

The Lyapunov function is then derived in scalar form from expression (4), based on the components of the gradient vector.

$$V(x) = -(a_{21} - b_{41}k_1)x_1^2 - (a_{22} - b_{42}k_2 + 1)x_2^2 - (a_{23} + a_{43})x_3^2 - (a_{44} + 1)x_4^2 \quad (7)$$

The conditions for the existence of the Lyapunov function, namely the positive definiteness of the Lyapunov vector function (2.7), are determined by a set of inequalities.

$$\begin{cases} k_1 - \frac{a_{21}}{b_{41}} > 0 \\ k_1 - \frac{a_{22}}{b_{42}} - \frac{1}{b_{42}} > 0 \\ -(a_{23} + a_{43}) > 0 \\ -(a_{44} + 1) > 0 \end{cases} \quad (8)$$

Let's consider the task of ensuring the desired dynamics of the cluster, which we will set using a reference model.

$$\begin{cases} \frac{dx_{1M}}{dt} = x_{2M} \\ \frac{dx_{2M}}{dt} = a_{21}^M x_{1M} + a_{22}^M x_{2M} + a_{23}^M x_{3M} \\ \frac{dx_{3M}}{dt} = x_{4M} \\ \frac{dx_{4M}}{dt} = a_{43}^M x_{3M} + a_{44}^M x_{4M} + q_1 x_{1M} + q_2 x_{2M} + b_{41}^M g_1 + b_{42}^M g_2 \end{cases} \quad (9)$$

where, $x_M(t) \in G^4$ is the state vector of the reference model, and $g(t) \in G^m$ is the driving or external influence.

We formalize the control goal by requiring that

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = 0$$

where $\varepsilon(t) = x(t) - x_M(t)$ is the error of the system (3) and (9).

To obtain the structure of the “ideal” regulator, the deviation equations are written

$$\dot{\varepsilon} = A_M \varepsilon + (A - A_M)x + Bu - B_M r \quad (10)$$

The solvability conditions of equation (10) are

$$(A - A_M)x + Bu - B_M r = 0 \quad (11)$$

Under condition (11), equation (10) has the form

$$\dot{\varepsilon} = A_M \varepsilon \quad (12)$$

The control goal is achieved when conditions (11) and aperiodic robust stability of the system (12) are fulfilled.

The system (12) is studied based on aperiodic robust stability (super stability) using the Lyapunov vector function gradient-velocity method. The Lyapunov function in scalar form:

$$V(x) = -\frac{1}{2}(d_1 + a_{21}^M)\varepsilon_1^2 - \frac{1}{2}(d_2 + a_{22}^M + 1)\varepsilon_2^2 - \frac{1}{2}(a_{23}^M + a_{43}^M)\varepsilon_3^2 - \frac{1}{2}(a_{44}^M + 1)\varepsilon_4^2 \quad (13)$$

The conditions of aperiodic robust stability of the reference model are obtained in the form

$$-(d_1 + a_{21}^M) > 0, -(d_2 + a_{22}^M + 1) > 0, -(a_{23}^M + a_{43}^M) > 0, -(a_{44}^M + 1) > 0 \quad (14)$$

When conditions (14) are met, the reference model provides the required qualities of transients.

Results and Discussion. Real control systems operate under conditions of uncertainty of the external environment. External influences can manifest themselves as exposure to cosmic rays or as exposure to directed magnetic fields, etc., which can change the parameters of the electronic equipment of the control system, in particular, the polarity of the power sources may change. All this creates uncertainties in the operating conditions of the spacecraft control system. Usually, a control system is required to be as efficient as possible in the presence of any uncertainty. In the control system (3), if the conditions (8) are violated, an instability mode is generated, and the system loses controllability. Therefore, it is proposed to build a spacecraft control system with the properties of an increased potential for robust stability in the class of “dovetail” disasters.

In general, in order to achieve the goal (3) for fixed values (parameters) of the system, the equality of the right-hand sides of inequalities (8) and (14) must be fulfilled. Thus, we obtain

$$\begin{aligned} k_1 b_{41} - a_{21} &= d_1 - a_{21}^M, a_{21} = a_{21}^M \\ k_2 b_{42} - a_{22} - 1 &= d_2 - a_{22}^M - 1, a_{22} = a_{22}^M \\ -a_{23} - a_{43} &= -a_{23}^M - a_{43}^M, a_{23} = a_{23}^M, a_{43} = a_{43}^M \\ -a_{44} - 1 &= -a_{44}^M - 1, a_{44} = a_{44}^M \end{aligned}$$

From here we find the synthesized coefficients of the adjustable regulator of the valve control system

$$k_1 = \frac{q_1}{b_{41}}, k_2 = \frac{q_2}{b_{42}} \quad (15)$$

Conclusion. Currently, the issue of creating highly stable modern and promising technical systems with high quality indicators is relevant. The possibilities of traditional methods of analysis and synthesis of control systems in the creation of such systems are limited. One of the most promising ways to solve this problem is the use of adaptation approaches. The synthesis of adaptive control systems is closely related to ensuring the stability, robustness and quality of control of a closed object with an adaptation circuit at any values of the scattering of parameters.

A self-adaptive system with a clear reference model for adaptive control of the orientation and stabilization system of a linear spacecraft has been created. The structure of the control object is known and unchanged in the self-adaptive system, and the purpose of the adaptation algorithm is to adapt the parameters of the control system to the reference model of the main circuit with the required dynamics when scattering the parameters of the control object relative to the parameters of the nominal mode of the control system, that is, to adjust the coefficients of the regulator, the structure of which is selected so that the discrepancy between the control system and the reference model is zero.

Lyapunov's gradient-velocity vector-function approach makes it possible to create and study a high-precision control system that provides a transition process without jerks and Oscillations at the initial moment of the transition process.

References:

- [1] Теория управления (дополнительные главы): учеб. пос. / под ред. Д.А. Новикова // М.: ЛЕНАНД, 2019. – 552 с.
- [2] **Антонов, В.Н.**, Терехов В.А., Тюкин И.Ю. Адаптивное управление в технических системах: учеб. пособие // СПб., 2001. – 244 с.
- [3] **Novosad, D.**, Lubomír M. Pole placement controller with compensator adapted to semi-batch reactor process // International Journal of mathematical models and methods in applied sciences, 2011. – Vol. 5, Issue 7. – P. 1265-1272.
- [4] **Ynineb, A.R.** et al. MRAC Adaptive Control Design for an F15 Aircraft Pitch Angular Motion Using Dynamics Inversion and Fractional-Order Filtering // International Journal of Robotics and Control Systems, 2022. – Vol. 2, Issue 2. – P. 240-252.
- [5] **Hojjati, R.** Adaptive Control and Control Allocation for Spacecraft Formation Flying under Perturbations, Uncertainties, and Faults // Ottawa: Carleton University, 2020. – 141 p.
- [6] **Андриевский, Б.Р.**, Фрадков А.Л. Управление нелинейными колебательными и хаотическими системами // В кн.: Избранные главы теории автоматического управления // СПб.: Наука, 1999. – 467 с.
- [7] **Бейсенби, М.А.** Исследование робастной устойчивости систем автоматического управления методом функции А.М. Ляпунова // Астана, 2015. – 204 с.
- [8] **Beisenbi, M.A.**, Basheyeva Zh.O. Solving output control problems using Lyapunov gradient-velocity vector function // International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2019. – Vol. 9, Issue 4. – P. 2874-2879.
- [9] **Beisenbi, M.**, Kaliyeva S. The solution to the problem of synthesis of control of multidimensional objects // Proceed. internat. conf. on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – Tashkent, 2019. – P. 1-4.
- [10] **Beisenbi, M.**, Temirbek A., Ostayeva A. et al. Synthesis of a gradient-velocity control system using the Lyapunov vector-function method for an object with one input and one output // Journal of the Balkan Tribological Association, 2022. – Vol. 28, Issue 6. – P. 799-813.
- [11] **Бейсенби, М.А.**, Темирбек А., Маймурынова А.А. Синтез адаптера для объекта с одним входом и одним выходом градиенто-скоростным методом вектор-функции Ляпунова // Вестник Торайгыров университет, 2021. – №1. – С. 58-68.
- [12] **Beisenbi, M.A.**, Temirbek A., Maimuryanova A.A. Reference model selection of the adaptive control system for an object with single-input and single-output // Abai Kazakh National Pedagogical University, Series of Physics & Mathematical Sciences, 2021. – №4(76). – Б. 15-20.
- [13] **Бейсенби, М.А.**, Темирбек А. m-кірісі және n-шығысы бар адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының реттелетін регуляторының синтезі // ҚеАҚ «Университет еңбектері», 2022. – №3(84). – Б. 286-288.
- [14] **Бейсенби, М.А.**, Темирбек А. Синтез настраиваемого регулятора основного контура адаптивной системы управления с одним входом и одним выходом // Вестник НИА РК, 2023. – №3(89). – С. 46-56.
- [15] **Бейсенби, М.А.** Увеличение потенциала робастной устойчивости системы управления космическим летательным аппаратом (КЛА) // Астана: ТОО «DR-Project», 2015. – 160 с.

References:

- [1] Teoriya upravleniya (dopolnitel'nye glavy): ucheb. pos. / pod red. D.A. Novikova // М.: LENAND, 2019. – 552 s. [in Russian]
- [2] **Antonov, V.N.**, Terekhov V.A., Tyukin I.YU. Adaptivnoe upravlenie v tekhnicheskikh sistemah: ucheb. posobie // SPb., 2001. – 244 s. [in Russian]
- [3] **Novosad, D.**, Lubomír M. Pole placement controller with compensator adapted to semi-batch reactor process // International Journal of mathematical models and methods in applied sciences, 2011. – Vol. 5, Issue 7. – P. 1265-1272.

- [4] **Ynineb, A.R.** et al. MRAC Adaptive Control Design for an F15 Aircraft Pitch Angular Motion Using Dynamics Inversion and Fractional-Order Filtering // International Journal of Robotics and Control Systems, 2022. – Vol. 2, Issue 2. – P. 240-252.
- [5] **Hojjati, R.** Adaptive Control and Control Allocation for Spacecraft Formation Flying under Perturbations, Uncertainties, and Faults // Ottawa: Carleton University, 2020. – 141 p.
- [6] **Andrievskij, B.R.,** Fradkov A.L. Upravlenie nelinejnymi kolebatel'nymi i haoticheskimi sistemami // V kn.: Izbrannye glavy teorii avtomaticheskogo upravleniya // SPb.: Nauka, 1999. – 467 s. [in Russian]
- [7] **Beisenbi, M.A.** Issledovanie robustnoj ustojchivosti sistem avtomaticheskogo upravleniya metodom funkcii A.M. Lyapunova // Astana, 2015. – 204 s. [in Russian]
- [8] **Beisenbi, M.A.,** Basheyeva Zh.O. Solving output control problems using Lyapunov gradient-velocity vector function // International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2019. – Vol. 9, Issue 4. – P. 2874-2879.
- [9] **Beisenbi, M.,** Kaliyeva S. The solution to the problem of synthesis of control of multidimensional objects // Proceed. internat. conf. on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – Tashkent, 2019. – P. 1-4.
- [10] **Beisenbi, M.,** Temirbek A., Ostayeva A. et al. Synthesis of a gradient-velocity control system using the Lyapunov vector-function method for an object with one input and one output // Journal of the Balkan Tribological Association, 2022. – Vol. 28, Issue 6. – P. 799-813.
- [11] **Beisenbi, M.A.,** Temirbek A., Majmurnova A.A. Sintez adaptera dlya ob"ekta s odnim vhom i odnim vyhom gradiento-skorostnym metodom vektor-funkcii Lyapunova // Vestnik Torajgyrov universitet, 2021. – №1. – S. 58-68. [in Russian]
- [12] **Beisenbi, M.A.,** Temirbek A., Maimurnova A.A. Reference model selection of the adaptive control system for an object with single-input and single-output // Abai Kazakh National Pedagogical University, Series of Physics & Mathematical Sciences, 2021. – №4(76). – B. 15-20.
- [13] **Beisenbi, M.A.,** Temirbek A. m-kırısı jäne n-şyğysy bar adaptivtı basqaru jüiesiniñ negizgi konturynyñ retteletin regulatorynyñ sintezi // QeAQ «Universitet eñbektet», 2022. – №3(84). – B. 286-288. [in Kazakh]
- [14] **Beisenbi, M.A.,** Temirbek A. Sintez nastraivaemogo regulatora osnovnogo kontura adaptivnoj sistemy upravleniya s odnim vhom i odnim vyhom // Vestnik NIA RK, 2023. – №3(89). – S. 46-56. [in Russian]
- [15] **Beisenbi, M.A.** Uvelichenie potentsiala robustnoj ustojchivosti sistemy upravleniya kosmicheskimi letatel'nym apparatom (KLA) // Astana: TOO «DR-Project», 2015. – 160 s. [in Russian]

ЛЯПУНОВ ӘДІСІМЕН СЫЗЫҚТЫ ҒАРЫШТЫҚ ҰШУ АППАРАТЫНЫҢ АДАПТИВТІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ НЕГІЗГІ КОНТУРЫНЫҢ РЕТТЕЛЕТІН РЕТТЕУШІНІҢ СИНТЕЗІ

Темирбек А., PhD

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада Ляпунов функцияларына негізделген әдісті, атап айтқанда Ляпуновтың градиентті-жылдамдықтық вектор-функциясы тәсілін қолдану арқылы сызықтандырылған ғарыштық ұшу аппаратын басқаруға арналған адаптивті жүйенің негізгі контурына арналған реттелетін регулятордың синтезі ұсынылады. Ляпуновтың тура әдісінің асимптоталық орнықтылық теоремасы мен орнықтылық ұғымының геометриялық түсіндірмесіне негізделген Ляпуновтың вектор-функциясын құрудың әмбебап тәсілі ұсынылған. Адаптивті басқару жүйесі градиенттік функциялар ретінде қарастырылады, ал Ляпунов функциялары апаттар теориясындағы градиенттік динамикалық жүйелердің потенциалдық функциялары ретінде түсіндіріледі. Бұл Ляпунов функцияларын градиенттік қасиеттері арқылы вектор-функция түрінде құруға мүмкіндік береді.

Ұсынылған басқару құрылымы эталондық модельге негізделген адаптивті басқару (MRAC) қағидасына сүйенеді, мұнда бейімделу механизмі жүйенің орнықтылығы мен жинақтылығын қамтамасыз ету үшін Ляпуновтың тікелей әдісінен алынған. Реттелетін регулятордың құрылымы

модель мен контроллер параметрлерін ағымдағы уақытта реттеуге мүмкіндік беріп, құрылымдық анықталмаған жағдайда басқару сапасын жақсартады.

Тірек сөздер: адаптивті басқару, Ляпунов әдісі, MRAC, ұшу аппараты, негізгі контур реттегіші, орнықтылық.

СИНТЕЗ НАСТРАИВАЕМОГО РЕГУЛЯТОРА ОСНОВНОГО КОНТУРА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛЯПУНОВА

Темирбек А., PhD

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

Аннотация. В данной статье представлен синтез настраиваемого регулятора основного контура адаптивной системы управления линейным космическим летательным аппаратом с использованием метода, основанного на функциях Ляпунова, в частности, с применением градиентно-скоростного подхода вектор-функции Ляпунова. Предложен универсальный метод построения векторных функций Ляпунова, основанный на геометрической интерпретации теоремы об асимптотической устойчивости и концепции устойчивости по прямому методу Ляпунова. Адаптивная система управления рассматривается с точки зрения градиентных функций, а функции Ляпунова интерпретируются как потенциальные функции градиентных динамических систем теории катастроф. Это позволяет строить функции Ляпунова в виде вектор-функций на основе их градиентных свойств.

Предлагаемая структура управления основана на модели адаптивного управления с эталонной моделью (MRAC), где механизм адаптации выводится из прямого метода Ляпунова для обеспечения устойчивости системы и сходимости. Конструкция настраиваемого регулятора обеспечивает возможность настройки параметров модели и контроллера в реальном времени, что позволяет повысить качество управления при наличии структурных неопределённостей.

Ключевые слова: адаптивное управление, метод Ляпунова, MRAC, летательный аппарат, регулятор основного контура, устойчивость.

ГЕЛИОҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ ЖЫЛУТАСЫМАЛДАҒЫШЫ РЕТІНДЕ ЖАҢА ЗАТТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

Утегенова А.С., химия ғылымдарының кандидаты
aimjan_utegenova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>

Қанатов А.М., студент
askar047751@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8938-3623>

Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл жұмыста күн энергетикалық қондырғыларында (гелиоқұрылғыларда) жылу тасымалдағыш ретінде пайдалануға ұсынылған нано-сұйықтардың морфологиялық және оптикалық параметрлерін зерттеу нәтижелері баяндалған. Нано-бөлшектерді алу үшін көміртектен лазерлік абляция әдісі қолданылды, бұл әдіс арқылы нанометрлік және одан да үлкен өлшемдегі бөлшектер сәтті синтезделді.

Зерттеу барысында алынған нано-бөлшектердің пішінінің және дисперсиясының өзгеруі нано-сұйықтың жалпы тұрақтылығына айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Бұл нано-сұйықтың ұзақ мерзімді қолданысы үшін өте маңызды, себебі тұрақсыздық жылу тасымалдау тиімділігін төмендетуі мүмкін. Зерттеушілер нано-сұйықтың жұту, өткізу және шағылысу спектрлерін мұқият талдады. Бұл спектрлер нано-сұйықтың күн сәулесін қалай жұтатынын, оны қалай өткізетінін және қалай шағылыстыратынын көрсетеді, бұл оның жылуды сіңіру қабілетін бағалауға мүмкіндік береді.

Алынған мәліметтер нано-бөлшектері бар нано-сұйықты жылу тасымалдағыш ретінде қолдану жұтылу спектрлерінің оптикалық тығыздығының төмендеуіне алып келетінін көрсетті. Нано-сұйықтың күн радиациясын сіңіру қабілетінің артуы гелиоқұрылғылардың жылу жинақтау тиімділігін айтарлықтай арттырады. Бұл дегеніміз, күн энергиясы жылуға анағұрлым тиімді түрде айналады. Нәтижесінде, гелиоқұрылғылар көбірек жылу өндіре алады, бұл оларды энергетикалық тұрғыдан тиімді етеді.

Тірек сөздер: гелиоқұрылғы, жалпақ күн коллекторы, жылу тасымалдағыш, оптикалық қасиеттері, көміртегі бөлшектері, нано-сұйық, жұту коэффициенті.

Кіріспе. Көміртегі бейтараптық жоспары бойынша мақсаттарға жету үшін мемлекеттің, кәсіпкерліктің және жалпы қоғамның бірліккен белсенді қызметін болжайды. Бұл жоспар Қазақстан Республикасының 2060 жылға дейін көміртегі бейтараптыққа жету Стратегиясы ретінде 2023 жылы қабылданды [1]. Стратегия Қазақстан экономикасының «жасыл» инвестицияларды тарту, энергия тиімді өндіріс және т.с.с. жаһандық климаттық тенденцияларға бейімдеу қажеттілігін ескереді. Стратегияның табысты іске асуы 2030 жылдың мақсатына, яғни 1990 жылдың деңгейінен шығарындылардың 15%-ға төмендеуі және де 2060 жылда парниктік газдардың нөлдік балансына жетуге мүмкіндік береді. Көміртегі бейтараптығын бұзатын көмір электр станцияларының басым болуы ерекше проблема болып табылады. Осы мәселелердің шешу жолдарының бірі жаңартылатын көздердің елдің электр энергетикасындағы үлесін арттыру және әрі қарай баламалы энергия өндірісінің 50%-ға жеткізу.

Күн энергиясын жинақтайтын, тұрақты энергиямен қамтамас ететін және көміртегінің «ізін» төмендететін құрылғыларды тұрғын сонымен бірге коммерциялық ғимараттарда пайдалануға болады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Көрінетін жарық және жақын инфрақызыл сәулеленумен тасымалданатын жылулық энергияны жинақтаушы құрылғы – гелиоқұрылғы бір қатар артықшылықтарға ие. Мұндай коллекторлардың сенімділігі, энергиялық, экологиялық тиімділігі жоғары, эксплуатациялық шығындары төмен.

Ыстық сумен қамтамас етумен ортақ жылу беру жүйелерімен біріктірілген күн коллекторларының қарапайым құрылымы жылытуға, ыстық суға кететін шығындарды төмендететін оңтайлы шешім.

Күн сәулесін тікелей сіңіретін коллекторларларда күн энергиясын сіңіріп және жұтылған жылуды тасымалдайтын сұйықтықтар ретінде пайдаланатын қарапайым су, органикалық сұйық және т.б. жылу тасымалдағыштар. Қара жұмыстық сұйықтықты қолданатын коллектордың өнімділігі туралы тәжірибелік деректер келтіріліп, гелиоқұрылғыда қара сұйықтықпен күн энергиясы тікелей жұтылатыны, сонымен бірге ішіндегі құрылымдардың қызып кетуі болмайтыны көрсетілген [2-3].

Өлшемдері микрондық қара және сұр бөлшектерді сұйық ортаға қосу, бұл жерде графит пен кремний карбидінің бөлшектерін кремний диоксиді сияқты ақ бөлшектерді қосумен салыстырылады, жылу тасымалдағыштың сіңіру қабілеті әжептәуір жақсарды [4-5].

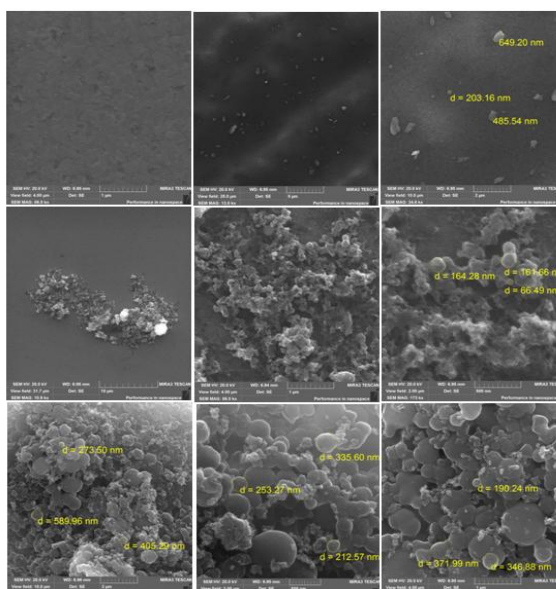
Алайда, жылу тасымалдағыштарға микробөлшектерді қосу сұйық ортаның тұрақсыздығы және микробөлшектердің тез тұнуынан құбырлар мен сорғылардың бітелуі, тоттануы және тозуы тәрізді кемшіліктерге әкеледі.

Жылу тасымалдағыш ретінде сұйық ортадағы (су, гликоль, минералды май) қатты материалдардың (металл, көміртегі немесе кремний) нанобөлшектерінің тұрақты суспензиясы болып табылатын нано-сұйықтықтар қолданылды [6-9].

Жалпақ коллекторлардағы жылу тасымалдағыштың тікелей ағыны гликольдың қатты қызып кетуін тудырады, яғни стагнациясын. Стагнация температурасы 180°C - ден аспайтын кезінде гликоль және ондағы қоспалар 3-10 диаметрлік капилляр құбырларды үнемі бітеп пісіп қалады.

Нано-сұйықтар күн сәулеленуін жақсы жұтады және таза жұмыс сұйықтықтармен салыстырғанда жақсартылған жылу-физикалық сипаттамаларға ие болады. Формалары әртүрлі наноқұрылымдардың (мысалы, асыл металдар, көміртегі аллотроптық модификациялары, жартылай өткізгіштер, металдың оксидтері) күн энергиясын жинауда тиімділігі бар екені көрсетілді [10-12].

Зерттеу жұмыстары барысында гелиоқұрылғыда пайдалануға болатын жылу тасымалдағышқа нанобөлшектерді қосып, нано-сұйықтықтарды жылуфизикалық қасиеттерін жақсарту мақсатында тәжірибелер жасадық. Жылу тасушы сұйық - су, ал қосылатын нанобөлшек ретінде көміртегі бөлшектері қолданылды. Наноқұрылымды алу тәжірибесі кезінде изопропанолдың 0,5 мл мөлшерінде моделі LQ529B ND:YAG импульстік лазерде көміртегінің 10, 15, 20 мин лазерлік абляциясы жасалынды. Лазерлік сәулеленумен әрекеттескеннен кейін көміртегі бетінің СЭМ- сканерлеуші электрондық микроскоп арқылы алынған фотолары 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – Электрондық микроскоппен алынған көміртегінің топографиясының суреттері

MIRA 3LMU (TESCAN) электрондық микроскоппен алынған ерітіндінің суреттерінен бөлшектер өлшемдері кең диапазонда жатқанын көруге болады, оның ішінде нанометрлік диапазондағы 66,49 нм нанобөлшектері және одан асатын 160 нм мен 580 нм аралығындағы суббөлшектер. Бөлшектердің морфологиясы әртүрлі, демек қасиеттерінің де анизотропиясы байқалуы мүмкін, дисперстігінің диапазоны өте кең.

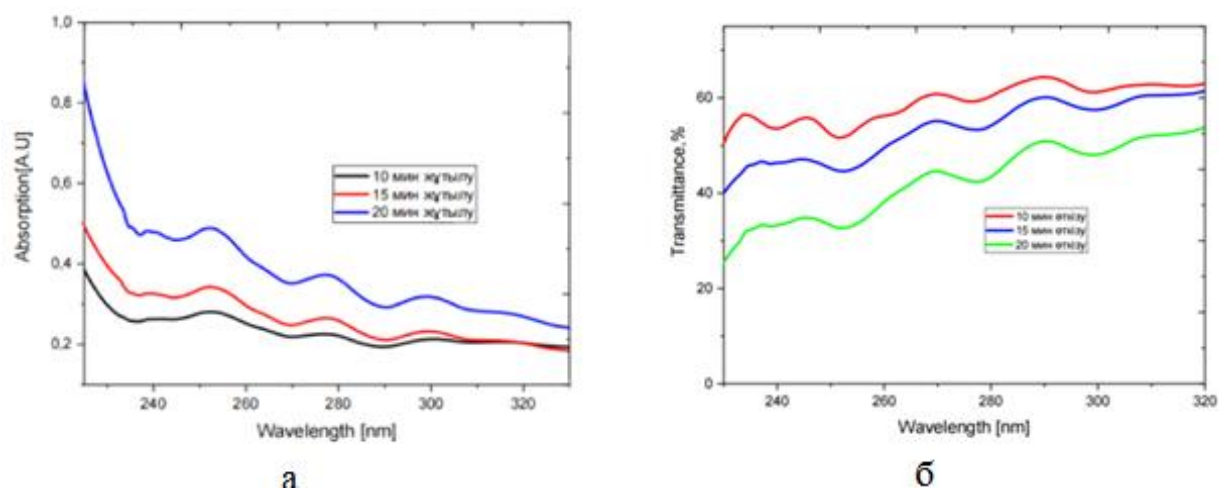
Суббөлшектердің спектралдық және интегралдық сәулелену коэффициенттері бөлшектердің тек материалына байланысты емес, сонымен бірге олардың өлшеміне, формасына, температурасына да байланысты және де кейбір жағдайларда қара дененің сәулелену коэффициентінен асып кетеді [13-15].

Зерттеу нәтижелері және талқылау. Жоғарыда аталған гликольдың бу фазасында пісіп қалуы, яғни су буынын гликольдың буларымен диффузиялық түрде араласуы, мыс немесе алюминий тәрізді катализаторлар қатысуымен өтетін стагнациясы жұмысымызда ұсынылып отырған жылу тасушы орта – бөлек су ортасында өтпейді.

Микробөлшектерді қосу жағдайымен салыстырғанда сұйық ортадағы бөлшектердің өлшемдері азайған сайын, гравитациялық тұнуды броундық қозғалыс жеңіп, суспензия тұрақты күйге өтеді.

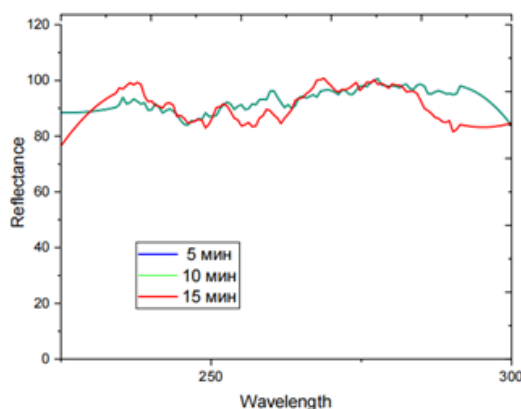
Көптеген ғылыми зерттеулер көрсеткендей кейбір нано-бөлшектердің оптикалық сипаттамалары күн сәулесін тиімді сіңіруге мүмкіндік береді. Бұл жағдайда жоғары тиімді жылу тасушы сұйықтығы күн спектріне сәйкес келетін кең сіңіру спектріне ие болуы мүмкін.

Лазерлік абляция әрекетінің ұзақтығы бойынша ерекшеленетін үлгілердің жұту, өткізу және шағылысу спектрлері AvaSpec-ULS2048CL-EVO спектрометрінде түсірілді (2,3-суреттер).

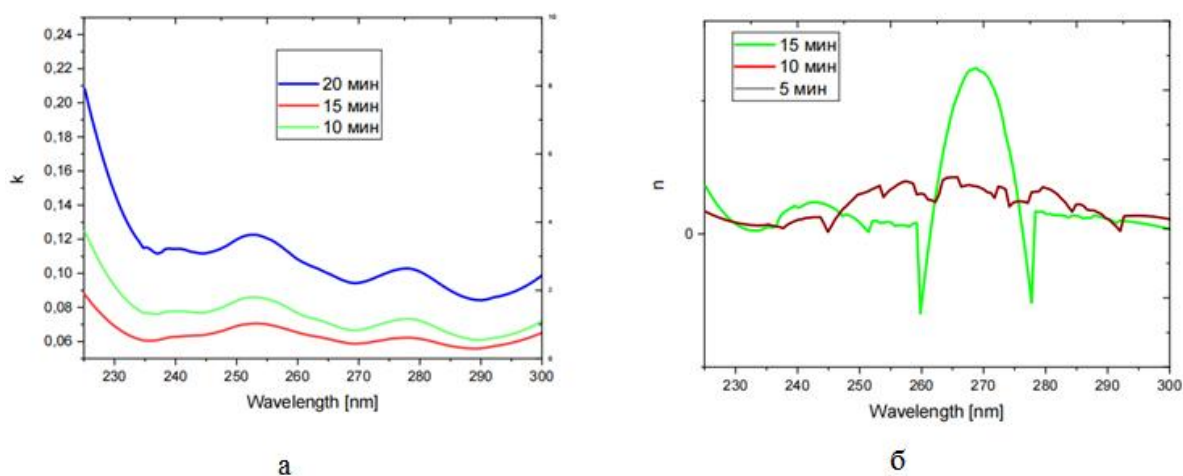


2-сурет – Көміртегі бөлшектерінің оптикалық спектрлерінің 10-20 мин аралығында өзгеруі:
а – жұту; б – өткізу

Көміртегі бөлшектерінің спектрінің ультракүлгін бөлігінде максималды жұтуы 240 нм мен 260 нм аймақта өтті. Көміртектің максималды өткізуі 280 нм - 300 нм аймағында байқалынды. Лазерлік абляция уақыты ұзақ болған сайын көміртектің жұтуы жоғарылауда, ал абляция жасау уақытының ұзақ болуы өткізу мәндерін төмендетті, яғни неғұрлым уақыты көп соғұрлым оңтайлы әсер байқалынады. Өлшенген жұту коэффициенті 10-20 минут және шағылысу коэффициенті 5-15 минут 4-суретте келтірілген.



3-сурет – Көміртегі бөлшектерінің шағылысу спектрінің 5-15 мин аралығында өзгеруі



4-сурет – а – жұту коэффициенті; б – шағылысу индексі

Қорытынды. Күн коллекторларының жұмысының тиімділігін арттыру мақсатында оның жылу тасымалдаушы ортасы рөлінде көміртегінің нано-бөлшектері бар сұйықтық - су қарастырылды. Өткізілген зерттеулердің нәтижелері алынды, көміртектің бөлшектерінің дисперстігі бойынша оптикалық қасиеттерінің тәуелділігі, лазерлік өңдеуінің әсері анықталды. Салыстырмалы түрде жұту коэффициенті жоғарылау, ал өткізу шамалары төмен болды. Көміртегі бөлшектері қосылған су, яғни нано-сұйық тез қызады және жылуды ұзақ уақыт ұстайды.

Нано-сұйықтықтардың негізіндегі жылу тасымалдаушыны пайдаланатын жалпақ күн гелиоқұрылғылары жаңғыртылатын энергияны өндіруге арналған жаңа шешім болып табылады. Нано-сұйықтықтардың үлгілерін зерттеу эксперименттік тәжірибелері айтарлықтай күрделі, сұйықтықтардың қайсысы ең тиімді екені толық анықтау жұмыстары болашақ құзырында және де жалғаса береді. Сандық модельдеу жалпақ күн гелиоқұрылғылары жетілдіру мақсатында өткізілетін зерттеу жұмыстары кезінде фототермиялық құбылыстарға қатысты бір қатар мәселелерді нақтылауға көмектеседі.

Әдебиеттер:

- [1] Қазақстан Республикасының көміртегі бейтараптығына қол жеткізуінің 2060 жылға дейінгі стратегиясын бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Президентінің 2023 жылғы 2 ақпандағы №121 Жарлығы. URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/u2300000121> (дата обращения 11-02-2025)
- [2] Бутузов, В.А., Солнечное теплоснабжение: состояние дел и перспективы развития//Энергосбережение, 2000. – №4. – С. 28-30.

- [3] **Бутузов, В.А.**, Солнечное теплоснабжение. Опыт столетнего развития // Промышленная энергетика, 2020. – № 4. – С. 52-63.
- [4] **Chamsaard, W.**, Brundavanam S., Fung, C. Nanofluid Types, Their Synthesis, Properties and Incorporation in Direct Solar Thermal Collectors // Nanomaterials, 2017. – № 6. – P.131.
- [5] **Ильин, А.П.**, Мостовщиков А.В., Коршунов А.В., Рот Л.О. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов. Учебное пособие // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017.
- [6] **Манжула, И.С.**, Численное моделирование тепломассопереноса в наножидкостном солнечном коллекторе прямого поглощения. «Информационный сборник научных статей XVIII региональной научной конференции: «Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование» // г. Хабаровск, 2020.
- [7] **Свиридов, А.Н.**, Сагинов Л.Д. Тепловое излучение субволновых частиц // М: Прикладная физика, 2021. – № 2. – С.12-21.
- [8] **Попель, О.С.**, Тарасенко А.Б. Современные тенденции развития фотоэлектрической энергетики (обзор) // Теплоэнергетика, 2021. – № 10. – С.1–21.
- [9] **Илюшин, П.В.**, Перспективы применения и проблемные вопросы интеграции распределительных источников энергии в электрические сети. Монография // М.: НТФ «Энергопрогресс», 2020.
- [10] **Lee, D.**, Jo B. Thermal energy storage characteristics of binary molten salt nanofluids: Specific heat and latent heat // Int. J. Energy Res., 2021. – No.45. – P.3231-3241.
- [11] **Li, Z.**, Cui L., Li B., Du X. Mechanism exploration of the enhancement of thermal energy storage in molten salt nanofluid // Phys. Chem. Chem. Phys., 2021. – No. 23. – P.13181-13189.
- [12] **Tiwari, A.K.**, Kumar V., Said Z., Paliwal H.A. Review on the application of hybrid nanofluids for parabolic trough collector: Recent progress and outlook // J. Clean. Prod., 2021. – No. 292.
- [13] **Younes, H.**, Mao M., Murshed S.S., Lou D., Hong H., Peterson G. Nanofluids: Key parameters to enhance thermal conductivity and its applications // Appl. Therm. Eng., 2022.
- [14] **Jeong, S.**, Jo, B. Distinct behaviors of KNO_3 and NaNO_3 in specific heat enhancement of molten salt nanofluid // J. Energy Storage, 2023. – No. 57. – P.106209.
- [15] **Parida, D.R.**, Dani N., Basu S. Data-driven analysis of molten-salt nanofluids for specific heat enhancement using unsupervised machine learning methodologies // Sol. Energy, 2021. – No. 227. – P.447-456.

References:

- [1] Qazaqstan Respublikasynyn komirtegi bejtaraptygyna qol zhetkizuinin 2060 zhyлга dejingi strategijasyn bekitu turaly. Qazaqstan Respublikasy Prezidentinin 2023 zhyлgy 2 aqпandagy №121 Zharlygy. URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/u2300000121> (data obrashheniya 11-02-2025) [in Kazakh]
- [2] **Butuzov, V.A.**, Solnechnoe teplosnabzhenie: sostojanie del i perspektivy razvitiya//Jenergoberezhenie, 2000. – №4. – S. 28-30. [in Russian]
- [3] **Butuzov, V.A.**, Solnechnoe teplosnabzhenie. Opyt stoletnego razvitiya // Promyshlennaja jenergetika, 2020. – № 4. – S. 52-63. [in Russian]
- [4] **Chamsaard, W.**, Brundavanam S., Fung, C. Nanofluid Types, Their Synthesis, Properties and Incorporation in Direct Solar Thermal Collectors // Nanomaterials, 2017. – № 6. – P.131.
- [5] **Il'in, A.P.**, Mostovshnikov A.V., Korshunov A.V., Root, L.O. Osobennosti fiziko-himicheskikh svojstv nanoporoshkov i nanomaterialov. Uchebnoe posobie // Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2017.
- [6] **Manzhula, I.S.**, Chislennoe modelirovanie teplomassoperenosa v nanozhidkostnom solnechnom kollektore prjamogo pogloshheniya. «Informacionnyj sbornik nauchnyh statej XVIII regional'noj nauchnoj konferencii: «Fizika: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, obrazovanie» // g. Habarovsk, 2020.
- [7] **Sviridov, A.N.**, Saginov L.D. Teplovoe izluchenie subvolnovykh chastic // M: Prikladnaja fizika, 2021. – № 2. – S.12-21.
- [8] **Popel', O.S.**, Tarasenko A.B. Sovremennye tendencii razvitiya fotojelektricheskoy jenergetiki (obzor) // Teplojenergetika, 2021. – № 10. – S.1–21.
- [9] **Iljushin, P.V.**, Perspektivy primeneniya i problemnye voprosy integracii raspredelitel'nyh istochnikov jenerгии v jelektricheskie seti. Monografija // M.: NTF «Jenergoprogress», 2020.

- [10] Lee, D., Jo B. Thermal energy storage characteristics of binary molten salt nanofluids: Specific heat and latent heat // Int. J. Energy Res., 2021. – No.45. – P.3231-3241.
- [11] Li, Z., Cui L., Li B., Du X. Mechanism exploration of the enhancement of thermal energy storage in molten salt nanofluid // Phys. Chem. Chem. Phys., 2021. – No. 23. – P.13181-13189.
- [12] Tiwari, A.K., Kumar V., Said Z., Paliwal H.A. Review on the application of hybrid nanofluids for parabolic trough collector: Recent progress and outlook // J. Clean. Prod., 2021. – No. 292.
- [13] Younes, H., Mao M., Murshed S.S., Lou D., Hong H., Peterson G. Nanofluids: Key parameters to enhance thermal conductivity and its applications // Appl. Therm. Eng., 2022.
- [14] Jeong, S., Jo B. Distinct behaviors of KNO₃ and NaNO₃ in specific heat enhancement of molten salt nanofluid // J. Energy Storage, 2023. – No. 57. – P.106209.
- [15] Parida, D.R., Dani N., Basu S. Data-driven analysis of molten-salt nanofluids for specific heat enhancement using unsupervised machine learning methodologies // Sol. Energy, 2021. – No. 227. – P.447-456.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ВЕЩЕСТВ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕЛИОУСТАНОВОК

Утегенова А.С., кандидат химических наук
Қанатов А.М., студент

Қарағандинский университет имени Е.А. Букетова, г.Қарағанда, Казахстан

Аннотация. Данная работа посвящена изучению морфологических и оптических параметров наножидкостей, предлагаемых для использования в качестве теплоносителей в солнечных энергетических установках (гелиоустановках). Для получения наночастиц применялся метод лазерной абляции углерода, благодаря чему были успешно синтезированы частицы нанометрового и более крупного диапазона.

В ходе исследования было установлено, что изменение формы и дисперсности наночастиц значительно влияет на общую стабильность наножидкости. Это крайне важно для долгосрочного использования наножидкости, поскольку нестабильность может снизить эффективность теплопередачи. Исследователи тщательно проанализировали спектры поглощения, пропускания и отражения наножидкости. Эти спектры показывают, как наножидкость поглощает, пропускает и отражает солнечный свет, что позволяет оценить ее способность к поглощению тепла.

Полученные данные показали, что использование наножидкости с наночастицами в качестве теплоносителя приводит к снижению оптической плотности спектров поглощения. Наножидкость увеличивает способность поглощать солнечную радиацию, что значительно повышает эффективность сбора тепла гелиоустановками. Это означает, что солнечная энергия преобразуется в тепло гораздо более эффективно. В результате, гелиоустановки могут производить больше тепла, что делает их более энергоэффективными.

Ключевые слова: гелиоустановка, плоский солнечный коллектор, теплоноситель, оптические свойства, углеродные частицы, наножидкость, коэффициент поглощения.

UTILIZATION OF NEW SUBSTANCES AS HEAT TRANSFER FLUIDS FOR SOLAR INSTALLATIONS

Utegenova A.S., Candidate of chemical sciences
Kanatov A.M., student

Karaganda University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

Annotation. This study focuses on investigating the morphological and optical parameters of nanofluids proposed for use as heat transfer fluids in solar energy systems (heliostats). Nanoparticles were successfully synthesized in the nanometer range and larger sizes using the laser ablation method of carbon.

The research revealed that changes in the shape and dispersity of the obtained nanoparticles significantly affect the overall stability of the nanofluid. This is crucial for the long-term application of nanofluids, as instability can reduce heat transfer efficiency. Researchers meticulously analyzed the

absorption, transmission, and reflection spectra of the nanofluid. These spectra indicate how the nanofluid absorbs, transmits, and reflects sunlight, allowing for an assessment of its heat absorption capability.

The data obtained demonstrated that using nanofluids with nanoparticles as heat transfer fluids leads to a decrease in the optical density of the absorption spectra. This directly impacts the nanofluid's ability to absorb solar radiation and enables an increase in the heat collection efficiency of heliostats. The nanofluid's enhanced ability to absorb solar radiation significantly boosts the heat collection efficiency of solar devices. This means that solar energy is converted into heat much more effectively. As a result, solar devices can generate more heat, making them more energy-efficient.

Keywords: heliostat, flat plate solar collector, heat transfer fluid, optical properties, carbon particles, nanofluid, absorption coefficient.

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА С АНТРАЦЕНОМ

Юсупова Ж.Б.

yusupova_zh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6178-5313>

Карагандинский университет имени Е.А. Букетова, г.Караганда, Казахстан

Аннотация. В данной работе рассмотрен процесс синтеза серебряных островковых пленок методом химического восстановления с акцентом на влияние pH среды как ключевого параметра. Установлено, что оптимальным значением pH для получения качественных наночастиц серебра является pH=8. Это значение способствует формированию равномерных и плотных пленок с нужными оптическими свойствами. Морфология полученных пленок была исследована с использованием сканирующей электронной микроскопии и анализа изображений в программе ImageJ. Проведенный анализ распределения частиц по Feret-параметру подтвердил наличие частиц преимущественно размером 95 ± 30 нм, что соответствует требуемым параметрам для фотонных применений. Также исследовано влияние серебряных пленок на люминесцентные свойства антрацена. Совпадение максимумов спектров поглощения наночастиц серебра и антрацена указывает на возможное возникновение поверхностного плазмонного резонанса, что способствует усилению флуоресценции. Полученные результаты подтверждают перспективность применения синтезированных пленок в фотонике, сенсорике и органической электронике. Работа уточняет ключевые условия синтеза, включая температурные режимы, концентрации реагентов и время реакции, что может быть полезно для дальнейших прикладных исследований.

Ключевые слова: островковые пленки серебра, антрацен, pH, ImageJ.

Введение. На сегодняшний день исследования по улучшению люминесцентных характеристик люминофоров с использованием плазмонного эффекта демонстрируют успешные результаты, и эта область продолжает активно развиваться. Плазмонный резонанс можно рассматривать как взаимодействие между колебаниями электронов люминофора и резонансными колебаниями электронов в металлических наночастицах (в случае локализованного плазмонного резонанса). Это взаимодействие приводит к увеличению интенсивности люминесценции.

Целью исследования является установление оптимальных условий синтеза для получения серебряных островковых пленок с нужными характеристиками для использования в различных областях фотоники.

Локализованные поверхностные плазмонные резонансы металлических наноструктур могут улавливать и удерживать свет вблизи поверхности металла посредством фотонно-электронных взаимодействий [1-3]. В то же время генерируемое и усиливаемое локальное электрическое поле позволяет использовать его в различных областях применения, включая оптическую спектроскопию ближнего поля [4,5], сверхчувствительную биочувствительность [6], фототермическую терапию [7], и плазмонно-индуцированные химические реакции [8].

Антрацен был выбран в качестве молекулы-люминофора для данного исследования благодаря ряду уникальных физических и химических свойств, которые делают его особенно подходящим для изучения процессов поглощения и флуоресценции. Это ароматическое углеводородное соединение широко используется в различных областях, включая оптоэлектронику [9,10], светодиоды [11], фотоактивные материалы и органическую электронику [12]. Основной особенностью антрацена является его способность к интенсивной флуоресценции, что делает его идеальным кандидатом для исследований, связанных с фотонными материалами.

Кроме того, антрацен отличается хорошей стабильностью, а его высокоэффективный процесс флуоресценции и ярко выраженный флуоресцентный спектр

позволяют легко мониторить его поведение с помощью стандартных спектроскопических методов. Способность антрацена взаимодействовать с наночастицами серебра, особенно в контексте плазмонного резонанса, делает его полезным для исследования эффектов усиленной флуоресценции и кинетики флуоресценции в присутствии наночастиц. Антрацен также известен как хороший сцинтиллятор [13-15] а его производные находят применение в как в биомедицине [16-21], как в дизайне органический светодиодов [22].

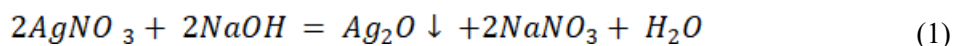
Синтез сделан на основе метода предложенном [23].

Островковые плёнки (ОПС) серебра готовились методом химического синтеза. Синтез состоит из нескольких этапов:

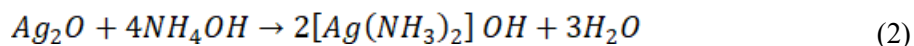
- отделения частиц серебра от AgNO_3 ;
- растворения частиц;
- восстановления частиц серебра.

При правильном выполнении синтеза, предполагается, что можно управлять процессом синтеза. Важными факторами оказались, pH воды и количество восстановителя.

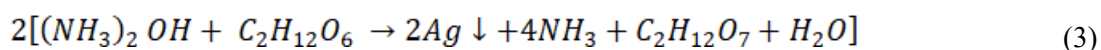
Материалы и методы. *Описание процесса синтеза.* В раствор нитрата серебра (AgNO_3) добавляется 5% гидроксид натрия, в результате чего образуется коричневый осадок – оксид серебра Ag_2O .



Затем в этот раствор добавляется гидроксид аммония (NH_4OH), в котором растворяются осадки серебра, образуя аммиачный комплекс. В синтезе использовался 25% гидроксид аммония. Количества растворителя также является немаловажным фактором, так как при большем количестве гидроксида аммония на поверхности пленки образовывается светлые участки, что не приводит образованию качественной пленки НЧ Ag. В ходе исследования было обнаружено, что 800 мкл NH_4OH является достаточным, чтобы растворить частицы серебра, выделенные из нитрата серебра. В ранних исследованиях обнаружена зависимость размера НЧ серебра от концентрации аммиака и pH среды в процессе восстановления. При добавлении гидроксида аммония в раствор нитрата серебра pH раствора сначала равнялся 10, что указывает на щелочную среду, характерную для аммиачных растворов. Однако с течением времени pH постепенно снижался до 8 и продолжал снижаться, что свидетельствует о высвобождении ионов аммония (NH_4^+) и их реакции с водой. Это может указывать на ослабление буферной способности раствора, что влияет на стабилизацию pH в ходе синтеза. Снижение pH ускоряет синтез наночастиц серебра и способствует образованию качественных серебряных пленок. Возможная причина ускорения реакции заключается в оптимальных условиях аммиачного комплекса серебра и более эффективном восстановлении серебра при pH 8 [24]. Кроме того, постоянное механическое перемешивание на магнитной мешалке могло усилить контакт компонентов и ускорить химические реакции, что также могло повлиять на дальнейшее снижение pH.



Прозрачный раствор помещается в охлаждающую ванну для охлаждения до температуры -5°C . Это необходимо для того, чтобы синтез наночастиц серебра происходил медленно, до тех пор, пока температура не повысится до 30°C . В таких условиях восстановление наночастиц серебра будет происходить медленно и относительно равномерно. После достижения низкой температуры раствора, погружаются подложки, а также добавляется глюкоза, способствующая восстановлению серебра.



После добавления глюкозы уровень pH оставался 8, что является очень хорошим условием для синтеза. После раствор ставился греться до 30°C. При достижении температуры 14-16°C раствор начинает менять цвет в золотисто желтый. При достижении 18-19°C раствор окрашивается в темно зеленый цвет. В этом этапе получают пленки с оптической плотностью 0,3-0,5. Если ждать до 21-25°C, то пленка успевает уплотняться, и оптическая плотность достигает 0,4-0,8. После завершения синтеза, дальнейшие шаги были выполнены в соответствии с методикой, описанной в литературе [25]. В данном исследовании были уточнены ключевые этапы синтеза, в частности, условия для восстановления наночастиц серебра. Отжиг проводился при температуре 200 °C в течение 90 минут.

На рисунке 1 представлены изображение серебряных наночастиц, спектр поглощения и гистограмма распределения частиц по Feret. СЭМ-изображение было получено с помощью сканирующего электронного микроскопа Helios 5 CX.

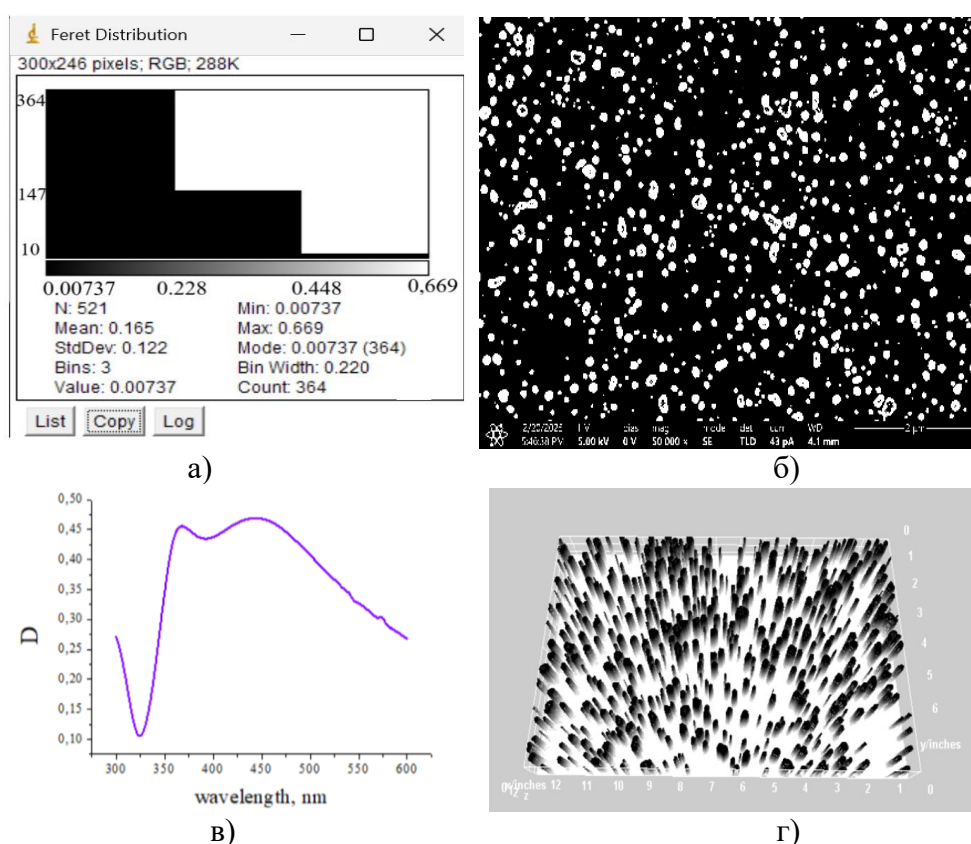


Рисунок 1 – Гистограмма (а), СЭМ-изображение (б), спектр поглощения (в), 3D изображение частиц (г)

По данным сканирующего электронного микроскопа средний размер частиц равнялся 95 ± 30 нм. Эти пленки характеризуются наличием полосы поглощения в видимой области спектра (Рисунок 1). Полимерные покрытия (7,5%) с концентрацией антарцена 5×10^{-4} моль/л наносились методом прикапывания.

Для более глубокого изучения поверхности пленки была использована программа ImageJ, применённая к изображениям, полученным методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). С её помощью удалось получить данные о распределении частиц по размерам Feret. Несмотря на высокую эффективность ImageJ в анализе СЭМ-изображений, стоит учитывать, что точность измерений может зависеть от геометрии и ориентации частиц, что сказывается на их видимости. Тем не менее, СЭМ остаётся основным методом визуализации и анализа структуры частиц.

При анализе изображения размером $16 \times 11,40$ мкм было исследовано 500 частиц. Для каждой определяли диаметр Feret — максимальное расстояние между двумя точками по краю частицы. Диапазон значений составил от 0,00737 мкм до 0,669 мкм, что свидетельствует о широком распределении по размерам. Средний диаметр частиц — 0,165 мкм, стандартное отклонение — 0,122 мкм. Наиболее часто встречаемое значение (мода) составило 0,00737 мкм.

Согласно гистограмме, 364 частицы попали в интервал с модальным значением, 124 частицы — в интервал 0,228 мкм, 10 — в 0,448 мкм, менее 10 — в 0,669 мкм. Размер бина составлял 0,220 мкм, что определяет точность оценки распределения.

ImageJ выдает результаты в пикселях/микронах, однако это соотношение не всегда отражает реальные размеры частиц в пленке. Из 500 проанализированных частиц: 73% относятся к малому размеру, 25% — к среднему и 2% — к крупному. Полученные данные показывают, что 73% частиц соответствуют размеру 95 ± 30 нм, что подтверждает успешность синтеза.

Частицы в диапазоне 50–100 нм считаются перспективными для применения в сенсорики, катализе и оптических технологиях благодаря их улучшенным физико-химическим свойствам. Частицы серебра размером 50–150 нм особенно эффективны в усилении флуоресценции за счёт поверхностного плазмонного резонанса, что делает их полезными для фотоники и других оптических применений [26].

Результаты и их обсуждения. Спектр поглощения наночастиц серебра (Рисунок 2, кривая 3) в пленке представляет собой широкую полосу с максимумами на 368 и 444 нм, которая хорошо совпадает с спектрами поглощения и флуоресценции антрацена (Рисунок 2, кривые 1, 2). Это указывает на выполнение условий для проявления плазмонного резонанса в фотонике молекул люминофора [27-29].

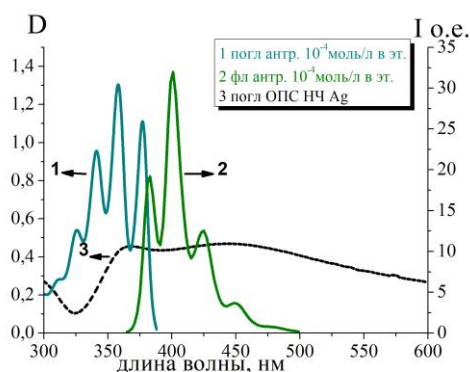


Рисунок 2 – Спектры поглощения и флуоресценции антрацена ($C=10^{-4}$ моль/л, в этаноле) и спектр поглощения ОПС

Иллюстрация 3 показывает влияние НЧ серебра на оптические свойства антрацена. По результате взаимодействия с НЧ серебра интенсивность флуоресценции антрацена увеличилась в 2.5 раза.

Увеличение интенсивности электрического поля вблизи поверхности при возбуждении поверхностного плазмона приводит к увеличению интенсивности спектров флуоресценции [30].

На рисунке 4 представлены кинетики затухания быстрой флуоресценции антрацена (1) и в присутствии НЧ серебра (2).

На серебре молекул зачастую наблюдается увеличение скорости затухания быстрой флуоресценции. Причина этого явления лежит во взаимодействии электронов серебряных частиц и молекулы флуорофора. Ускоряется процесс перехода между возбужденным и основными состояниями флуоресцирующей молекулы, что приводит сокращению

времени жизни быстрой флуоресценции, увеличению ее квантового выхода и доли безызлучательных процессов в превращениях возбужденного состояния [31].

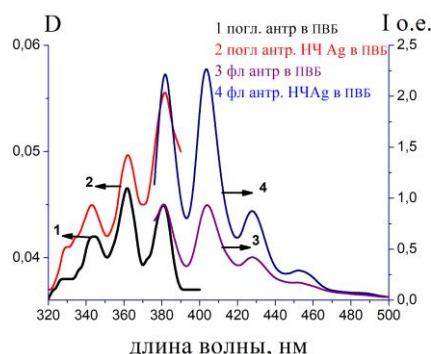


Рисунок 3 – Влияние НЧ серебра на оптические свойства антрацена (в пвб на кварце): 1- Спектр поглощения антрацена ($C=5 \cdot 10^{-4}$, 7,5 % ПВБ); 2-Спектр поглощения антрацена в присутствии НЧ серебра; 3-Спектр флуоресценции антрацена ($C=5 \cdot 10^{-4}$, 7,5 % ПВБ); 4- Спектр флуоресценции антрацена в присутствии НЧ серебра

Однако, существуют исследования, где наблюдалось увеличение интенсивности флуоресценции при неизменном времени жизни в присутствии наночастиц серебра. Например, в работе, посвящённой влиянию наночастиц серебра на электронные переходы в молекулах красителей, было обнаружено, что интенсивность флуоресценции родамина 6Ж изменяется немонотонно с увеличением концентрации наночастиц, при этом время жизни флуоресценции остаётся постоянным (3,2 нс).

Аналогично, в исследовании, посвящённом влиянию наночастиц цитратного гидрозоля серебра на флуоресценцию и фосфоресценцию анионных и катионных красителей, было обнаружено, что в зависимости от концентрации наночастиц происходит как усиление, так и тушение флуоресценции и фосфоресценции молекул, при этом время жизни флуоресценции практически не изменяется для всех исследуемых красителей.

В данном исследовании было зафиксировано увеличение интенсивности флуоресценции антрацена в 2,5 раза при наличии наночастиц серебра, при этом время жизни возбужденного состояния антрацена оставалось неизменным.

Исследования указанные выше подтверждают, что увеличение интенсивности флуоресценции при неизменном времени жизни в присутствии наночастиц серебра является возможным и может быть связано с плазмонным усилением излучательного процесса без изменения скорости затухания.

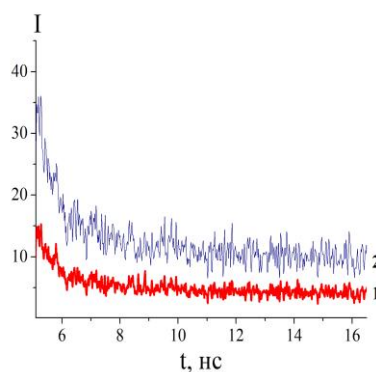


Рисунок 4 – Влияние наночастиц серебра на интенсивность флуоресценции антрацена и плазмонное усиление излучательного процесса

Таблица 1 – Спектральные данные антрацена в присутствии наночастиц серебра

	D	λ (нм)	I	λ (нм)	I/I_0 (бф)	τ (нс)
Ант	0,05	362	0,9	404	15	1,05
Опс+Ант	0,046	362	2,3	404	39	1,05

Заклучение. В результате проведенного исследования были синтезированы островковые пленки серебра с использованием метода восстановления в растворе нитрата серебра. Особое внимание было уделено роли рН раствора как ключевого параметра, влияющего на процесс синтеза наночастиц серебра. Применение гидроксида аммония позволило стабилизировать рН на уровне, оптимальном для формирования серебряных наночастиц.

Гистограмма распределения частиц по Feret, полученная с помощью программы ImageJ показала, что, синтезированная методом химического осаждения, пленка получилась сравнительно однородной и большее количество частиц составляет средний размер НЧ серебра.

Изучение влияния полученных островковых пленок серебра на люминесцентные характеристики антрацена показало, что присутствие наночастиц серебра приводит к значительному увеличению интенсивности флуоресценции антрацена в 2,5 раза, что связано с эффектом плазмонного резонанса и усилением электрического поля вблизи поверхности наночастиц. Время жизни возбужденного состояния молекул антрацена не изменяется, что подтверждает плазмонное усиление излучательного процесса.

Полученные результаты подтверждают, что наночастицы серебра способны эффективно модифицировать флуоресценцию молекул антрацена, что открывает перспективы для дальнейших исследований в области фотоники, сенсорных технологий и биомедицины.

Данное исследование демонстрирует значимость оптимизации условий синтеза наночастиц и их взаимодействия с молекулами люминофоров, что может стать основой для разработки новых материалов с улучшенными оптическими характеристиками.

Литературы:

- [1] **Gellé, A.** et al. Applications of plasmon-enhanced nanocatalysis to organic transformations // Chem. Rev., 2020. – No.120. – P.986-1041.
- [2] **Kazuma, E.** & Kim Y. Mechanistic studies of plasmon chemistry on metal catalysts // Angew. Chem. Int. Ed., 2019. – No.58. P.4800-4808.
- [3] **Zhan, C.,** Chen X.-J., Huang Y.-F., Wu D.-Y. & Tian Z.-Q. Plasmon-mediated chemical reactions on nanostructures unveiled by surface-enhanced Raman spectroscopy // Acc. Chem. Res., 2019. – No.52. – P.2784-2792.
- [4] **Shi, X.,** Coca-López N., Janik J. & Hartschuh A. Advances in tip-enhanced near-field Raman microscopy using nanoantennas // Chem. Rev., 2017. – No.117. P.4945–4960.
- [5] **Berweger, S.,** Atkin J.M., Olmon R.L. & Raschke M.B. Light on the tip of a needle: plasmonic nanofocusing for spectroscopy on the nanoscale // J. Phys. Chem. Lett., 2012. – No.3. P.945-952.
- [6] **Guo, L.** et al. Strategies for enhancing the sensitivity of plasmonic nanosensors // Nano Today, 2015. – No.10. – P.213-239.
- [7] **Yang, X.,** Yang M., Pang B., Vara M. & Xia Y. Gold nanomaterials at work in biomedicine // Chem. Rev. – No.115, 10410-10488 (2015).
- [8] **Wang, C.** & Astruc D. Nanogold plasmonic photocatalysis for organic synthesis and clean energy conversion // Chem. Soc. Rev., 2014. – No. 43. P.7188-7216.
- [9] **Lee, J.T.,** C.S.M., Lee Y.H. Kim, et al. A study on the photophysical properties of anthracene derivatives as potential fluorescent materials for optoelectronic applications // Journal of Luminescence, 2017.
- [10] **Miller, T.M.,** K.M. Watson, et al. Organic light-emitting diodes (OLEDs) based on anthracene derivatives" // Organic Electronics, 2018.

- [11] **Harris, P.J.F.** et al. Anthracene-based materials for organic solar cells and sensor applications // *Journal of Materials Chemistry C*, 2019.
- [12] **Bhopate, D.P.**, Mahajan P.G., Garadkar K.M., Kolekar G.B., Patil S.R. Polyvinyl pyrrolidone capped fluorescent anthracene nanoparticles for sensing fluorescein sodium in aqueous solution and analytical application for ophthalmic samples // *Luminescence*, 2015. – No.30. – P.1055–1063.
- [13] **Oliveira, J.S.**, Guideline E.J. Multitherapeutic nanoplatform based on scintillating anthracene, silver@anthracene, and gold@anthracene nanoparticles for combined radiation and photodynamic cancer therapies // *Materials Science & Engineering*, 2021. – No.126.
- [14] **Schouten, J.** et al. Anticancer and Scintillator Properties of Anthracene Derivatives // *Journal of Luminescence*, 2019.
- [15] **Cheng, K.**, et al. Development of anthracene-based scintillators for radiation detection // *Journal of Luminescence*, 2017.
- [16] **Jha, G.**, Sahu P.K., Panda S., Singh D.V., Patole, Mohapatra S.H., Sarkar M. Synthesis, photophysical studies on some anthracene-based ionic liquids and their application as biofilm formation inhibitor // *ChemistrySelect* – No.2 (2017) 2426–2432, <https://doi.org/10.1002/slct.201601964>.
- [17] **Yuan, Z.**, Yu S., Cao F., Mao Z., Gao C., Ling J. Near-infrared light triggered photothermal and photodynamic therapy with an oxygen-shuttle endoperoxide of anthracene against tumor hypoxia // *Polym. Chem*, 2018. – No.9. P.2124–2133, <https://doi.org/10.1039/c8py00289d>.
- [18] **Martins S.**, Farinha J.P.S., Baleizã C., Berberan-Santos, M.N. Controlled release of singlet oxygen using diphenylanthracene functionalized polymer nanoparticles // *Chem. Commun*, 2014. <https://doi.org/10.1039/c3cc48293f>.
- [19] **Pramanik, M.**, Chatterjee N., Das S., Das Saha, K.A. Bhaumik, Anthracene-bisphosphonate based novel fluorescent organic nanoparticles explored as apoptosis inducers of cancer cells // *Chem. Commun*, 2013. – No. 49. P. 9461–9463, <https://doi.org/10.1039/c3cc44989k>.
- [20] **Mertens, M.** et al. Anthracene Derivatives for Cancer Therapy // *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2018.
- [21] **Ma, X.**, et al. Fluorescent anthracene-based probes for cellular imaging and cancer diagnostics // *Biomaterials*, 2016.
- [22] **Feringa, A.B.** et al. Fluorescence properties of anthracene and its derivatives in the design of light-emitting devices // *Chemical Reviews*, 2015.
- [23] **Kadir Aslan**, Zoya Leonenko, Joseph R. Lakowicz and Chris D. Geddes. Annealed silver-island films for applications in metal-enhanced fluorescence: interpretation in terms of radiating plasmons // *Journal of Fluorescence*, 2005. – Vol. 15. – No. 5.
- [24] **Крутяков, Ю.А.**, Кудринский А.А., Оленин А.Ю., Личискин Г.В. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы // *Успехи химии*, 2008. No.77 (3)
- [25] **Zhi, M.G.**, Zhong X.H. et al. Nanoparticles with controlled size and surface chemistry for efficient photocatalysis // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2018.
- [26] **Santos, A.C.**, Souza J.A., et al. Nanoparticle size and surface interaction in luminescent materials // *Journal of Luminescence*, 2017.
- [27] **Liu, X.**, et al. Plasmonic enhancement of fluorescence for sensor applications // *Journal of Materials Chemistry C*, 2016.
- [28] **Saito, Y.**, et al. Plasmon-enhanced fluorescence of organic dyes and its applications in bioimaging // *Scientific Reports*, 2017.
- [29] **Zhang, J.**, et al. Plasmonic enhancement of fluorescence and its applications in photonic devices // *Materials Today*, 2018.
- [30] **Зейниденов А.К.**, Ибраев Н.Х., Кучеренко М.Г. Исследование наночастиц серебра на электронные переходы в молекулах красителей и генерационные характеристики жидкостных лазеров на их основе // *96 ВЕСТНИК ОГУ*, 2014. – №9 (170).
- [31] **Брюханов, В.В.**, Минаев Б.Ф., Цибульникова А.В., Тихомирова Н.С., Слежкин В.А. Плазмонное усиление и тушение флуоресценции и фосфоресценции анионных и катионных красителей в различных средах // *Journal of Optical Technology*, 2017. – No.13(6). – P.535-541.

References:

- [1] **Gellé, A.** et al. Applications of plasmon-enhanced nanocatalysis to organic transformations // *Chem. Rev.*, 2020. – No.120. – P.986–1041.

- [2] **Kazuma, E.** & Kim, Y. Mechanistic studies of plasmon chemistry on metal catalysts // *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2019. – No.58. P.4800–4808.
- [3] **Zhan, C.**, Chen X.-J., Huang Y.-F., Wu D.-Y. & Tian Z.-Q. Plasmon-mediated chemical reactions on nanostructures unveiled by surface-enhanced Raman spectroscopy // *Acc. Chem. Res.*, 2019. – No.52. – P.2784–2792.
- [4] **Shi, X.**, Coca-López N., Janik J. & Hartschuh A. Advances in tip-enhanced near-field Raman microscopy using nanoantennas // *Chem. Rev.*, 2017. – No.117. P.4945–4960.
- [5] **Berweger, S.**, Atkin J.M., Olmon R.L. & Raschke, M. B. Light on the tip of a needle: plasmonic nanofocusing for spectroscopy on the nanoscale // *J. Phys. Chem. Lett.*, 2012. – No.3. P.945–952.
- [6] **Guo, L.** et al. Strategies for enhancing the sensitivity of plasmonic nanosensors // *Nano Today*, 2015. – No.10. – P.213–239.
- [7] **Yang, X.**, Yang M., Pang B., Vara M. & Xia Y. Gold nanomaterials at work in biomedicine // *Chem. Rev.* – No.115, 10410–10488 (2015).
- [8] **Wang, C.** & Astruc, D. Nanogold plasmonic photocatalysis for organic synthesis and clean energy conversion // *Chem. Soc. Rev.*, 2014. – No. 43. P.7188–7216.
- [9] **Lee, J.T. C.**, S.M. Lee Y.H. Kim, et al. A study on the photophysical properties of anthracene derivatives as potential fluorescent materials for optoelectronic applications // *Journal of Luminescence*, 2017.
- [10] **Miller, T.M.**, K.M. Watson, et al. Organic light-emitting diodes (OLEDs) based on anthracene derivatives" // *Organic Electronics*, 2018.
- [11] **Harris, P.J.F.** et al. Anthracene-based materials for organic solar cells and sensor applications // *Journal of Materials Chemistry C*, 2019.
- [12] **Bhopate, D.P.**, Mahajan P.G., Garadkar K.M., Kolekar, G.B. Patil, S.R. Polyvinyl pyrrolidone capped fluorescent anthracene nanoparticles for sensing fluorescein sodium in aqueous solution and analytical application for ophthalmic samples // *Luminescence*, 2015. – No.30. – P.1055–1063.
- [13] **Oliveira, J.S.**, Guideline, E.J. Multitherapeutic nanoplatfrom based on scintillating anthracene, silver@anthracene, and gold@anthracene nanoparticles for combined radiation and photodynamic cancer therapies // *MaterialsScience&Engineering*, 2021. – No.126.
- [14] **Schouten, J.** et al. Anticancer and Scintillator Properties of Anthracene Derivatives // *Journal of Luminescence*, 2019.
- [15] **Cheng, K.**, et al. Development of anthracene-based scintillators for radiation detection // *Journal of Luminescence*, 2017.
- [16] **Jha, G.**, Sahu P.K., Panda S., Singh D.V., Patole Mohapatra S.H., Sarkar M. Synthesis, photophysical studies on some anthracene-based ionic liquids and their application as biofilm formation inhibitor // *ChemistrySelect* – No.2 (2017) 2426–2432, <https://doi.org/10.1002/slct.201601964>
- [17] **Yuan, Z.**, Yu S., Cao F., Mao Z., Gao C., Ling J. Near-infrared light triggered photothermal and photodynamic therapy with an oxygen-shuttle endoperoxide of anthracene against tumor hypoxia // *Polym. Chem*, 2018. – No.9. P.2124–2133, <https://doi.org/10.1039/c8py00289d>.
- [18] **Martins S.**, Farinha J.P.S., Baleiz'a, C., Berberan-Santos, M.N. Controlled release of singlet oxygen using diphenylanthracene functionalized polymer nanoparticles // *Chem. Commun*, 2014. <https://doi.org/10.1039/c3cc48293f>.
- [19] **Pramanik, M.**, Chatterjee N., Das S., Das Saha K.A. Bhaumik, Anthracene- bisphosphonate based novel fluorescent organic nanoparticles explored as apoptosis inducers of cancer cells // *Chem. Commun*, 2013. – No. 49. P. 9461–9463, <https://doi.org/10.1039/c3cc44989k>.
- [20] **Mertens, M.** et al. Anthracene Derivatives for Cancer Therapy // *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2018.
- [21] **Ma, X.**, et al. fluorescent anthracene-based probes for cellular imaging and cancer diagnostics // *Biomaterials*, 2016.
- [22] **Feringa, A.B.** et al. Fluorescence properties of anthracene and its derivatives in the design of light-emitting devices // *Chemical Reviews*, 2015.
- [23] **Kadir Aslan**, Zoya Leonenko, Joseph R. Lakowicz and Chris D. Geddes. Annealed silver-island films for applications in metal-enhanced fluorescence: interpretation in terms of radiating plasmons // *Journal of Fluorescence*, 2005. – Vol. 15. – No. 5.
- [24] **Krutyakov, Yu.A.**, Kudrinskij A.A., Olenin A.YU., Lichiskin G.V. Sintez i svojstva nanochastic serebra: dostizheniya i perspektivy // *Uspekhi himii*, 2008. No.77 (3) [in Russian]

- [25] **Zhi, M.G.**, Zhong X.H. et al. Nanoparticles with controlled size and surface chemistry for efficient photocatalysis // Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2018.
- [26] **Santos, A.C.**, Souza J.A., et al. Nanoparticle size and surface interaction in luminescent materials // Journal of Luminescence, 2017.
- [27] **Liu, X.**, et al. Plasmonic enhancement of fluorescence for sensor applications // Journal of Materials Chemistry C, 2016.
- [28] **Saito, Y.**, et al. Plasmon-enhanced fluorescence of organic dyes and its applications in bioimaging // Scientific Reports, 2017.
- [29] **Zhang, J.**, et al. Plasmonic enhancement of fluorescence and its applications in photonic devices // Materials Today, 2018.
- [30] **Zejnidenov, A.K.**, Ibraev N.H, Kucherenko M.G. Issledovanie nanochastic serebra na elektronnyye perekhody v molekulah krasitelej i generacionnye harakteristiki zhidkostnyh lazerov na ih osnove // 96 VESTNIK OGU, 2014. – №9 (170). [in Russian]
- [31] **Bryuhanov, V.V.**, Minaev B.F., Cibul'nikova A.V., Tihomirova N.S., Slezhkin V.A. Plazmonnoe usilenie i tushenie fluorescencii i fosforescencii anionnyh i kationnyh krasitelej v razlichnyh sredah // Journal of Optical Technology, 2017. – No.13(6). – P.535-541. [in Russian]

КҮМІС НАНОБӨЛШЕКТЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖАҒДАЙЛАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ АНТРАЦЕНМЕН ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІН ЗЕРТТЕУ

Юсупова Ж.Б., докторант

Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

Андатпа. Бұл жұмыста рН ортасының шешуші параметр ретінде әсеріне назар аударып, химиялық қалпына келтіру әдісі арқылы күмістің арал тәрізді жұқа қабықтарын синтездеу процесі қарастырылған. Жоғары сапалы күміс нанобөлшектерін алу үшін оңтайлы рН мәні $pH = 8$ екені анықталды. Бұл мән қажетті оптикалық қасиеттерге ие біртекті және тығыз пленкалардың түзілуіне ықпал етеді. Алынған пленкалардың морфологиясы сканерлейтін электрондық микроскопия және ImageJ бағдарламасындағы суреттерді талдау арқылы зерттелді. Feret параметрі бойынша бөлшектердің таралуын талдау нәтижесінде олардың негізгі өлшемі 95 ± 30 нм екендігі көрсетілді, бұл фотондық қолданбаларға сәйкес келеді. Сонымен қатар, антраценнің люминесценциялық қасиеттеріне күміс пленкалардың әсері зерттелді. Күміс нанобөлшектері мен антраценнің жұту спектрлерінің максимумдарының сәйкес келуі беттік плазмондық резонанстың пайда болуын көрсетеді, бұл люминесценцияның күшеюіне ықпал етеді. Жұмыста синтездің негізгі шарттары – температуралық режимдер, реагенттер концентрациясы және реакция уақыты нақтыланған, бұл одан әрі қолданбалы зерттеулер үшін маңызды.

Тірек сөздер: күміс аралша қабықшалары, антрацен, рН, ImageJ.

OPTIMIZATION OF SYNTHESIS CONDITIONS AND INVESTIGATION OF INTERACTION OF SILVER NANOPARTICLES WITH ANTHRACENE

Yusupova Zh.B., PhD student

Karaganda University named after academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

Annotation. This study examines the synthesis of silver island films via chemical reduction, with a focus on the effect of pH as a key parameter. It was found that the optimal pH value for producing high-quality silver nanoparticles is $pH = 8$. This pH promotes the formation of uniform and dense films with the desired optical properties. The morphology of the resulting films was investigated using scanning electron microscopy and image analysis with the ImageJ software. Analysis of particle distribution based on the Feret parameter confirmed the presence of particles predominantly sized 95 ± 30 nm, which meets the requirements for photonic applications. The influence of silver films on the luminescent properties of anthracene was also studied. The overlap of the absorption spectra maxima of silver nanoparticles and

anthracene indicates the possible occurrence of surface plasmon resonance, which enhances fluorescence. The results confirm the potential of the synthesized films for use in photonics, sensing, and organic electronics. The study refines the key synthesis conditions, including temperature regimes, reagent concentrations, and reaction time, which may be useful for future applied research.

Keywords: silver island films, anthracene, pH, ImageJ.

Қолжазбаларды рәсімдеу жөнінде авторларға арналған нұсқаулық

«Техника ғылымдары және технологиялар» журналында мақала жариялау үшін дайын ғылыми жұмысты автор(лар) Vestnik.korkyt.kz сайтындағы Онлайн мақала жіберу жүйесі арқылы, арнайы нұсқаулықты пайдаланып жіберуге болады. Мақала Windows 10 оперативті жүйесіндегі Word форматында Times New Roman шрифтіңде жазылуы қажет (Осы талапта жазылмаған мақала автоматты түрде қабылданбайды). Жарияланым – тілдері қазақша, орысша, ағылшынша. Мақала құрылымы мен безендірілуі:

1. Мақала көлемі 6-12 бет аралығында болуы тиіс (аннотациялар мен әдебиеттер тізімін қоспағанда 6 беттен төмен болмауы тиіс).

– Мақаланы құру схемасы (беті – А4, кітаптық бағдар, туралау – ені бойынша. Сол жақ, үстіңгі және төменгі жақтарындағы ашық жиектері – 2,5 см, оң жағында – 2,0 см. Шрифт: тип Times New Roman, өлшемі – 12) (Windows 10 оперативті жүйесіндегі Word форматында);

- ХГТАР индексі – бірінші қатар жоғарыда, сол жақта (<http://grnti.ru>); оң жақта – журналдың doi индексі (префикс және суффикс) – редакцияда беріледі;

- мақала атауы – ортасына қалың он екінші қаріппен;

- автор(лардың)дың аты-жөндерінің бірінші қарпі мен тегі – ортаға 11-қаріп, (авторлар саны 5 адамнан артық болмауы тиіс);

- ұйым, қала, елдің толық атауы – ортаға, курсив – 11-қаріп;

- **Андатпа.** Түп нұсқа тілінде (**150-200 сөз**; мақала құрылымын сақтай отырып), өлшемі (кегль) – 11-қаріп;

- **Тірек сөздер** – қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде (3-5 сөз/сөз тіркестері), өлшемі - (кегль) 11-қаріп;

- Негізгі мәтін (аралық интервал – 1, «азат жол» - 1,25 см, 12-қаріп) құрылымы төмендегідей болады:

2. **Кіріспе:** тақырыптың таңдалуын негіздеу; таңдалған тақырыптың, мәселенің өзектілігі, объектісі, пәні, мақсаты, міндеті, әдісі, тәсілі, тұжырымы және мағынасын анықтау

3. **Зерттеу материалдары мен әдістері:** материалдар мен жұмыс барысы сипаттамасынан, сондай-ақ пайдаланылған әдістердің толық сипаттамасынан тұруы тиіс.

4. Кестелер, суреттер айтылғаннан кейін орналастырылуы керек. Әр иллюстрациямен жазу(өлшемі (кегль) – 11) болуы керек. Суреттер анық, таза, сканерленбеген болуы керек.

Мақала мәтінінде сілтемелер бар формулалар ғана нөмірленеді. Мәтінде сілтемелер тік жақшада көрсетіледі. Сілтемелер мәтінде қатаң түрде нөмірленуі керек.

5. **Нәтижелер/талқылау:** зерттеу нәтижелерін талдау және талқылау келтіріледі.

6. **Қорытынды/қорытындылар:** осы кезеңдегі жұмысты қорытындылау; автор айтқанұсынылған тұжырымның ақиқатын растау. Жұмысты қаржылық қолдау туралы ақпарат Қорытындыдан кейін түседі. Әдебиеттер тізімі (өлшемі (кегль) – 11, пайдаланылған әдебиеттер саны – 15-тен кем болмауы қажет). Әдебиеттер тізімінде кириллицада ұсынылған жұмыстар болған жағдайда әдебиеттер тізімін екі нұсқада ұсыну қажет: біріншісі – түпнұсқада, екіншісі – романизацияланған алфавитпен (транслитерация). Мақаладағы дәйексөз тізімінде тек рецензияланған әдебиет көздері, DOI индексі бар әдебиеттер болуы тиіс. Романизацияланған әдебиеттер тізімі <http://www.translit.ru> сайты арқылы рәсімделуі керек.

7. Авторлар туралы мәліметтер: (автордың(лардың) аты-жөні, ұйымның толық атауы, қаласы, елі, байланыс деректері: телефоны, эл.пошта, орсид номері) 3 тілде.

8. Келген мақала талапқа сай рәсімделген жағдайда ғана Антиплагиат бағдарламасынан өткізіледі. Түпнұсқалығы 80% - дан жоғары көрсеткіште болған мақала Редакцияның қарауына жіберіледі. Ал 80% - дан төмен болған мақала автордың толықтыруына жіберіледі. Ал, екінші рет өткізілген жағдайда тиісті көрсеткіш болмаса жарияланымға қабылданбайды. Рецензенттердің оң пікірінен соң мақала журналға қабылданып, авторға төлем жасау жөнінде хабарлама жіберіледі. Автор төлемақының түбіртегін редакцияның электронды почтасына жіберуге міндетті (Technique_Journal@korkyt.kz).

Руководство для авторов по оформлению рукописей

Готовая научная работа для публикации в журнале «Технические науки и технологии» может быть подана автором (авторами) через систему онлайн подачи статей на сайте vestnik.korkyt.kz, используя специальные инструкции. Статья должна быть написана в формате Word в Windows 10 шрифтом Times New Roman (статья, не написанная в соответствии с этим требованием, не будет принята автоматически). Язык публикаций казахский, русский, английский. **Структура и оформление статьи:**

1. Объем статьи в пределах от 6 до 12 страниц (не менее 6 страниц, за исключением аннотаций и списка литературы).

- Схема построения статьи (страница – А 4, книжная ориентация, поля с левой, верхней и нижней сторон – 2,5 см, с парвой – 2,0 мм. Шрифт: тип – Times New Roman, размер (кегель) – 12) (В формате Word в операционной системе Windows 10):

- индекс МРНТИ - первая строка сверху слева (<http://mrnti.ru>); индекс DOI (предоставляется редакцией журнала);

- название статьи – прописными буквами по центру полужирным шрифтом, размер-12;

- инициалы и фамилию автора(ов) – по центру полужирным шрифтом, размер (кегель) – 11 (адрес эл.почты авторов, номер орсид, количество авторов не должно превышать 5 человек);

- полное наименование организации, город, страна – по центру, курсив, размер - 11.

- **Аннотация** на языке оригинала (150-200 слов; сохраняя структуру статьи) размер-11.

- **Ключевые слова** (на казахском, русском, английском от 5 до 8 слов/словосочетаний) размер (кегель) - 11.

- Основной текст (12 шрифт, межстрочный интервал - 1, отступ «красной строки» - 1,25 см), структура:

2. **Введение:** обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы, определение объекта, предмета, целей, задач, методов, подходов, гипотезы и значения работы.

3. **Материалы и методы исследования:** должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

4. В статье нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. В ссылках в тексте указывается в квадратных скобках.

5. **результаты/обсуждение:** приводится анализ и обсуждение полученных результатов исследования.

6. **заключение/выводы:** обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором.

Список литературы (размер (кегель) – 11, количество используемой литературы не менее 15). При наличии в списке литературы работ, представленных на кириллице, список литературы должен быть представлен в двух вариантах: первый - в оригинале, второй - в латинизированном алфавите (транслитерация). Список ссылок в статье должен содержать только рецензируемые литературные источники, литературу с индексом DOI. Список латинизированной литературы должен быть подготовлен через сайт <http://www.translit.ru>.

7. Сведения об авторах: (должны содержать ФИО автора (ов), полное наименование организации, город, страна, контактные данные: телефон, эл.почта, номер орсид) на 3-х языках.

8. Статья должна обладать не менее 80% уникальности текста для публикаций. В случае если оригинальность статьи ниже 80%, работа будет возвращена автору для исправления и корректировки. После вторичной проверки статья набирает необходимого показателя в антиплагиат, направляется на рассмотрение редакционной коллегии. Статья, не отвечающая соответствующим требованиям, оригинальность которой, проверена дважды, к публикации не принимается. После положительного отзыва рецензентов, статья принимается для публикации в журнал и автору направляется уведомление об оплате. Автор обязан отправить квитанцию об оплате на электронную почту редакции. (Technique_Journal@korkyt.kz).

Manual for authors of manuscripts

Ready scientific work for publication in the journal «Technical sciences and technologies» can be submitted by the author (authors) through the system of online submission of articles on the site vestnik.korkyt.kz, using special instructions. The article should be written in Word format in Windows 10 in Times New Roman font (an article not written in accordance with this requirement will not be accepted automatically). Language of publications Kazakh, Russian, English.

Structure and design of the article:

1. The size of the article ranges from 6 to 12 pages at least 6 pages, excluding annotations and bibliography).

- description of the scheme of the article (page - A 4, book orientation, indents are calculated with respect to the left top and bottom sides page margins – 2.5 m, with right - 2.0 m, Standard font: type - Times New Roman, size (font) - 12) (Word format on Windows 10 operating system):

- the ISTIR index is the first line at the top left (<http://grnti.ru>).
- DOI index (provided by the editorial office);
- title of article – with capital letters, alignment on the center in bold, size (font) 12.
- initials and last name of author(s) - alignment on the center in bold, size (font) – 11, (e-mail address of the authors, orsid number, the number of authors should not exceed 5 people);
- the full name of the organization, city, country, alignment on the center, italic, size (font) - 11.

- **Annotation** in the original language (150-200 words; retaining the structure of the article) size (font) - 11.

- **Keywords** (in Kazakh, Russian, English from 5 to 8 words/phrases) size (font) - 11.

- **Main text** (12 font, line spacing - 1, indentation of red line#- 1.25 cm)

- Structure:

2. **Introduction:** rationale for the selection of the topic; relevance of the topic or problem; definition of the object, subject, objectives, tasks, methods, approaches, hypotheses and meanings of the work.

3. **Research materials and methods:** should consist of a description of the materials and the progress of work, as well as a full description of the methods used.

4. In the article, only those formulas that are referenced in the text are numbered. References in the text are indicated in square brackets.

5. **Results/discussion:** an analysis and discussion of the results of the study is given.

6. **Conclusion/conclusions:** summarizing and summarizing the work at this stage; confirmation of the truth of the assertion put forward by the author.

List of references (size (point size) - 11, the number of used literature is at least 15). If there are works presented in Cyrillic in the list of references, the list of references should be presented in two versions: the first - in the original, the second - in the Latinized alphabet (transliteration). The list of references in the article should contain only peer-reviewed literary sources, literature with a DOI index. The list of romanized literature should be prepared through the site <http://www.translit.ru>.

7. Information about the authors: (should contain the full name of the author (s), full name of the organization, city, country, contact details: telephone, e-mail, orsid number) in 3 languages.

8. The article must have at least 80% uniqueness of the text for publication. If the originality of the article is below 80%, the work will be returned to the author for correction and correction. After a secondary check, the article gains the required indicator in anti-plagiarism, and is sent for consideration by the editorial board. An article that does not meet the relevant requirements, the originality of which is double-checked, is not accepted for publication. After a positive feedback from the reviewers, the article is accepted for publication in the journal and the author is sent a notification of payment. The author is obliged to send a payment receipt to the editorial office by e-mail (Technique_Journal@korkyt.kz)

МАЗМҰНЫ

Айтуғанова А.М., Турдибоев А.А. Ағынды суларды тазартудың электрохимиялық әдістері: теориялық негіздері мен қолдану тиімділігі	4
Махамбаева И.У., Камил А. Көп сымды желілерді адаптивтік сегменттеу	11
Темирбек А. Ляпунов әдісімен сызықты ғарыштық ұшу аппаратының адаптивті басқару жүйесінің негізгі контурының реттелетін реттегішінің синтезі	18
Утегенова А.С., Қанатов А.М. Гелиоқұрылғылардың жылутасымалдағышы ретінде жаңа заттарды пайдалану	26
Юсупова Ж.Б. Күміс нанобөлшектерін синтездеу жағдайларын оңтайландыру және антраценмен өзара әрекеттесуін зерттеу	33

СОДЕРЖАНИЕ

Айтуғанова А.М., Турдибоев А.А. Электрохимические методы очистки сточных вод: теоретические основы и эффективность применения	4
Махамбаева И.У., Камил А. Адаптивная сегментация многопроводных линий передачи	11
Темирбек А. Синтез настраиваемого регулятора основного контура адаптивной системы управления линейным космическим летательным аппаратом с использованием метода ляпунова	18
Утегенова А.С., Қанатов А.М. Использование новых веществ в качестве теплоносителей для гелиоустановок	26
Юсупова Ж.Б. Оптимизация условий синтеза и исследование взаимодействия наночастиц серебра с антраценом	33

CONTENT

Aituganova A.A., Turdiboyev A.M. Electrochemical methods for wastewater treatment: theoretical foundations and application efficiency	4
Makhambayeva I.U., Kamil A. Adaptive segmentation of multi-wire transmission lines	11
Temirbek A. Synthesis of a tunable main-loop regulator for the adaptive control system of a linear spacecraft using the lyapunov method	18
Utegenova A.S., Kanatov A.M. Utilization of new substances as heat transfer fluids for solar installations	26
Yusupova Zh.B. Optimization of synthesis conditions and investigation of interaction of silver nanoparticles with anthracene	33

Техника ғылымдары
және технологиялар
журналы

Журнал
Технические науки
и технологии

Technical science
and technology
journal

2023 жылдан бастап шығады
Издается с 2023 года
Published since 2023

Жылына төрт рет шығады
Издается четыре раза в год
Published four times a year

Редакция мекен-жайы:
120014, Қызылорда қаласы,
Әйтеке би көшесі, 29 «А»,
Қорқыт Ата атындағы
Қызылорда университеті

Адрес редакции:
120014, город Кызылорда, ул.
Айтеке би, 29 «А»,
Кызылординский университет
им. Коркыт Ата

Address of edition:
120014, Kyzylorda city,
29 «A» Aiteke bie str.,
Korkyt Ata Kyzylorda
University

Телефон: (7242) 27-60-27
Факс: 26-27-14
E-mail:
Technique_Journal@korkyt.kz

Телефон: (7242) 27-60-27
Факс: 26-27-14
E-mail:
Technique_Journal@korkyt.kz

Tel: (7242) 27-60-27
Fax: 26-27-14
E-mail:
Technique_Journal@korkyt.kz

Құрылтайшысы: «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ
Учредитель: НАО «Кызылординский университет им. Коркыт Ата»
Founder: «Korkyt Ata Kyzylorda University» NJSC

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі
берген бұқаралық ақпарат құралын есепке алу куәлігі
алғашқы тіркеу № KZ KZ37VPY00066487 16-наурыз, 2023 ж
қайта тіркеу № KZ44VPY00096431 9-маусым, 2024 ж

Техникалық редакторы: Абуова Н.А.
Компьютерде беттеген: Махашов А.А.

Теруге 11.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 20.12.2024 ж. қол қойылды.
Форматы 60 × 841/8. Көлемі 3,0 шартты баспа табақ. Индекс 76216.
Таралымы 50 дана. Тапсырыс 0201 Бағасы келісім бойынша.

Сдано в набор 11.12.2024 г. Подписано в печать 20.12.2024 г.
Формат 60 × 841/8. Объем 3,0 усл. печ. л. Индекс 76216.
Тираж 50 экз. Заказ 0201. Цена договорная.

Жарияланған мақала авторларының пікірі редакция көзқарасын білдірмейді. Мақала мазмұнына автор жауап береді. Қолжазбалар өңделеді және авторға қайтарылмайды. «Техника ғылымдары және технологиялар» журналында жарияланған материалдарды сілтемесіз көшіріп басуға болмайды.

Опубликованные статьи не отражают точку зрения редакции. Автор несет ответственность за содержание статьи. Рукописи редактируются и авторам не возвращаются. Материалы, опубликованные в журнале «Технические науки и технологии», не могут воспроизведены без ссылки.

The published articles do not reflect the editorial opinion. The author is responsible for the content of the article. Manuscripts are edited and are not returned the authors. Materials published in the journal «Technical science and technology» can not be republished without reference.

Университет баспасы
120014, Қызылорда қаласы, Әйтеке би көшесі, 29А.