

8D05311– «Химия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін

Алтынбекова Динара Тансықовна

«Жоғары критикалық жағдайларда алынған лантанның ортониобаттарын, құймаларын (Ni, Cu, Co және Ag) және олардың негізіндегі композиттерді синтездеу және зерттеу» тақырыбында дайындалған диссертациясына

АНДАТПА

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Диссертация протонды өткізгіш қасиеті бар мембрананың функционалды қабатын құру және метанның көмірқышқылдық айналымында таза сутегін алуда мембраналық катализдік реакторларда қолдану үшін жоғары критикалық параметрлерде изопропанолды ортада алынған шеелитті құрылымды лантан ортониобаттары және құймалардың негізінде нанокompозиттік материалдарды әзірлеуге арналған.

Жұмыстың өзектілігі

Парниктік газдар шығарындылары жаһандық жылынудың негізгі себептерінің бірі болып табылады, ал олардың басты көзі қазба отындарына негізделген энергетика саласы саналады. Париж келісімі аясында көмірқышқыл газының шығарындыларын азайту және энергетика секторын декарбонизациялау міндеті қойылды. Осы тұрғыда сутегі болашақтың маңызды «жасыл» отыны ретінде қарастырылып, көптеген елдер алдағы онжылдықтарға арналған ұлттық сутек стратегияларын қабылдады. 2050 жылға қарай сутегінің жаһандық энергетика жүйесінде маңызды рөл атқаратыны күтіледі.

Қазақстанда сутегі энергетикасын дамытуға қолайлы жағдайлар қалыптасқан: табиғи ресурстар қоры, өндірістік және ғылыми инфрақұрылым жеткілікті деңгейде дамыған. Елде «жасыл» экономикаға көшу тұжырымдамасы қабылданып, баламалы энергия көздерінің үлесін арттыру бойынша нақты индикаторлар айқындалған. Өнеркәсіпте сутегін өндірудің негізгі әдісі – метанның бумен конверсиясы, алайда экологиялық қауіпсіз және энергия тиімді технологияларды әзірлеу өзекті болып отыр. Осыған байланысты метанды катализдік айналдыруды сутегіні селективті бөліп алуға мүмкіндік беретін мембраналық технологиялармен біріктіру перспективті бағыт болып табылады.

Қазіргі уақытта сутегі өткізгіш мембраналарда асыл металдар қолданылғанымен, олардың жоғары құны мен тұрақсыздығы балама материалдарды іздеуді талап етеді. Осы тұрғыда лантан ортониобаттары негізіндегі керамикалық материалдар жоғары химиялық тұрақтылығымен ерекшеленеді, алайда олардың электрөткізгіштігі шектеулі. Протондық өткізгіштікті арттыру допирлеу және металл–оксидтік нанокompозиттерді әзірлеу арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Мұндай композиттер жоғары

протондық және электрондық өткізгіштікке, сондай-ақ механикалық және термиялық беріктікке ие болып, сутегі өткізгіш мембраналар үшін перспективті материалдар ретінде қарастырылады.

Жұмыстың мақсаты- лантан ортониобаттары мен металл құймалары негізінде жаңа нанокомпозиттік материалдарды әзірлеу, оларды мембрананың функционалдық қабатын қалыптастыру үшін пайдалану және алынған материалдарды метанның көмірқышқылдық айналымы арқылы сутек өндіруге арналған мембраналық катализдік реактор жағдайында зерттеу.

Зерттеу міндеттері:

1. Кальций (Ca) катиондарымен А-қосымша торында және титан (Ti) катиондарымен В- қосымша торында допирленген лантан ортониобаттарының күрделі оксидтері мен (Ni, Cu, Co, Ag) құймаларын синтездеп, олардың негізінде $La_{0,99}Ca_{0,01}NbO_4:NiCuO_x$ және $La_{0,99}Ca_{0,01}NbO_4:NiCoO_x$ композиттерін жоғары критикалық изопропанол ортасында сольвотермалды әдіспен алу.

2. Алынған материалдардың фазалық құрамын, құрылымын және морфологиясын физика-химиялық әдістермен зерттеу.

3. Композиттердің тасымалдау қасиеттерін айқындайтын факторларды: протондық өткізгіштігін және торлық оттегінің қозғалғыштығын зерттеу.

4. Үздік сипаттамасы бар композиттік материалды кеуекті металл негізге қондыру арқылы мембрана алу және оны метанның көмірқышқылдық айналымында катализдік мембраналы реактор жағдайында зерттеу.

Зерттеу әдістері

Мембраналық реакторда сутекті талғамды түрде бөліп алу үшін протон өткізгіш композиттерді синтездеу және олардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу саласындағы Отандық және шетелдік ғалымдардың еңбектеріне негізделген. Ақпарат көзі ретінде мерзімді және ғылыми басылымдар, мемлекеттік стандарттар пайдаланылды. Протон өткізгіш композиттерді зерттеуде Брунауэр–Эммет–Теллер (БЭТ) әдісі бойынша меншікті беттік ауданын анықтау, рентгенофазалық талдау (РФТ), элементтік талдаумен үйлескен жоғары ажыратымдылықтағы трансмиссиялық электрондық микроскопия (АЖ ТЭМ/EDX), тығыздықты өлшеу, ағынды реактор жағдайындағы протондық изотоптық алмасу және сутегімен температуралық-бағдарламаланған тотықсыздандыру (H_2 -ТБТ) әдістері қолданылды. Метанның көмірқышқылдық айналымы арқылы сутек өндіру тәжірибелері ең тиімді композит негізінде жасалған катализдік мембраналық реакторда жүргізілді.

Диссертациялық жұмыстың зерттеулері М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің «Химия және химиялық технология» кафедрасының ғылыми зертханасында, Новосибирск мемлекеттік университетінің ғылыми зерттеу орталығында (Новосибирск қ), Ресей Ғылым Академиясы Сібір бөлімшесінде (РГА СБ), сондай-ақ Г.К. Боресков атындағы Катализ институтының «Гетерогенді катализ» бөлімінде (Новосибирск қ.) 2020 жылы 2 наурыздан 14 маусымға дейін және 2023 жылы 20 мамырдан 16 маусымға дейін жеке оқу жоспары бойынша ғылыми тағылымдамадан өту кезінде жүргізілді (Қосымша А).

Зерттеу нысандары: ортониобат лантан негізіндегі күрделі оксидтер

мен Ni-құймалары негізінде синтезделген композиттік материалдар, олардың негізінде дайындалған асимметриялық мембраналар, сондай-ақ метанның көмірқышқылдық айналымында сутек өндіруге арналған мембраналық катализдік реактор жүйелері.

Зерттеу пәні: ортониобат лантан негізіндегі композиттердің фазалық морфологиялық ерекшеліктері мен тасымалдау процестері, олардың сутекке өткізгіштік қасиеттері, сонымен қатар метанның көмірқышқылдық айналымындағы катализдік белсенділігі мен жұмыс тұрақтылығы.

Қорғауға ұсынылатын негізгі ережелер:

- Изопропанол спиртiнiң қатысында жоғары критикалық параметрлерде ($T = 400\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 120\text{ атм}$) үздіксіз ағынды типтегі реакторда жүргізілген сольвотермалды синтездеу әдісі күрделі оксидтерді (LaNbO_4 , $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4$, $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{Nb}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_{4-\sigma}$), металл құймаларды (NiCu , NiCo), сондай-ақ олардың негізіндегі $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$, $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCuO}_x$ композиттерді алуға мүмкіндік береді.

- $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$ композиті жоғары өткізгіштік қасиеттерге ($\sigma \approx 10^{-4}-10^{-5}\text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$) және оттегінің диффузиялық сипаттамаларына ($D \approx (5-6)\cdot 10^{-20}\text{ см}^2/\text{с}$, $E_a \approx 260\text{ кДж/моль}$) ие болып, асимметриялық протонөткізгіш мембраналарда зерттеуге тиімді материал болып табылады.

- $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$ негізіндегі асимметриялық протонөткізгіш мембрана $5\%\text{Ni}+1\%\text{Ru}/\text{Pr}_{0,3}\text{Ce}_{0,35}\text{Zr}_{0,35}\text{O}_2$ катализаторымен бірге метанның көмірқышқылдық айналымында $700\text{ }^\circ\text{C}$ температурада 110 сағат бойы сыналып, сутектің шығымы $\sim 45\%$, сутекті бөлу үлесі $\sim 35\%$, және мембрана арқылы сутектің ағыны $1,4\text{ мл H}_2/(\text{см}^2\cdot\text{мин})$ деңгейінде болатынын, ал мембрананың жұмыс тұрақтылығы 100 сағаттан астам уақыт сақталатынын көрсетеді.

Зерттеудің негізгі нәтижелері

1. Жоғары критикалық параметрлерде ($T = 400\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 120\text{ атм}$) үздіксіз ағынды типтегі реакторда изопропанол спиртiнiң қатысында алғаш рет Ni, Cu, Co, Ag құрамды құймалар, күрделі оксидтер LaNbO_4 , $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4$, $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{Nb}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_{4-\sigma}$ және олардың негізінде композиттер $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$, $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCuO}_x$ сольвотермалды әдіспен алынды. РФТ нәтижелері бойынша LaNbO_4 моноклиндік [PDF 01-083-1911] және жоғары температуралық тетрагональдық [PDF 00-050-0919] фазалардың қоспасынан тұратыны және олардың арақатынасы күйдіру температурасының жоғарылауымен тәуелді түрде өзгередінін көрсетті.

2. Синтезделген Ni, Cu, Co, Ag құрамды құймалар, LaNbO_4 , $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4$, $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{Nb}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_{4-\sigma}$ күрделі оксидтер, олардың негізіндегі $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$, $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCuO}_x$ композит үлгілерінің құрылымдық, текстуралық және беттік қасиеттеріне синтездеу әдістерінің әсері БЭТ (Брунауэр-Эммет-Теллер), рентгендік фазалық талдау (РФТ), EDX үйлесімді жоғары ажыратылымдықты трансмиссиялық электронды микроскопия (ЖА ТЭМ), тығыздықты өлшеу, төрттік зондты әдіс және импеданстық спектроскопия арқылы электрөткізгіштікті анықтау, ағынды реакторда изотоптық алмасу, сутекпен температуралық-бағдарламалық тотықсыздандыру (H_2 -ТБТ) әдістері арқылы зерттелді.

3. Синтезделініп алынған $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$,

$\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4\text{NiCuO}_x$ композиттердің электр өткізгіштігі, оттегінің диффузиялық коэффициенттері зерттелді. $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$ композиттердің электрөткізгіштігі $\sigma \sim 3,2 \cdot 10^{-4} - 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$ (500–700 К аралығында), $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4\text{NiCuO}_x$ үлгілерге қарағанда біршама жоғары екені анықталды. Оттегінің диффузия коэффициенттері $((5-6) \cdot 10^{-20} \text{ см}^2/\text{с})$ және белсендіру энергиясы ($\sim 260 \text{ кДж/моль}$) бұл материалдардың протондық және иондық тасымалдау механизмдерін айқындауға мүмкіндік берді. Алынған деректер композиттердің мембраналық және катализдік қолдануға перспективалы екенін дәлелдеді.

4. $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$ негізіндегі асимметриялық протонөткізгіш мембрана және $5\% \text{ Ni} + 1\% \text{ Ru} / \text{Pr}_{0,3}\text{Ce}_{0,35}\text{Zr}_{0,35}\text{O}_2$ катализаторымен бірге МКА жағдайында жоғары тиімділік көрсетті. 700 °С температурада реакция нәтижелері бойынша CH_4 айналымы $\sim 60\%$, CO_2 айналымы $\sim 80\%$, сутек шығымы $\sim 45\%$, ал мембрана арқылы талғамды бөлініп алынған сутектің үлесі $\sim 35\%$ болды. Сутектің өту ағыны $j(\text{H}_2) = 1,4 \text{ мл H}_2/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ болып тіркелді. 100 сағаттық тұрақтылық сынақтары барысында мембрананың жұмыс қабілеті бірқалыпты сақталып, сутек ағыны 1,4-тен 0,88 мл $\text{H}_2/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ дейін біршама төмендеді. Деградация жылдамдығының сағатына $\sim 1,2\%$ деңгейінде болуы Pd-негізіндегі мембраналар мен допирленген барий цереттері үшін әдебиетте келтірілген көрсеткіштерге сәйкес келетіні анықталды.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу - Алғаш рет NiCuO_x , NiCoO_x , CoCuO_x , NiCoAgO_x құймаларын, шеелит құрылымды күрделі оксидтерді және олардың негізіндегі композиттерді синтездеудің әдістемесі изопропанол ортасында жоғары критикалық параметрлер жағдайында әртүрлі тәсілдермен әзірленді.

- Композиттердің тасымалдау қасиеттері протондық өткізгіштік импеданстық спектроскопия әдісімен, ал торлық оттегінің қозғалғыштығы изотоптық алмасу әдісімен алғаш рет анықталып зерттелді; оттегі диффузиясының коэффициенттері есептелді.

- Композиттерді кеуекті металл негізге қондыру әдістемесі жасалды және орташа температуралық диапазонда сутектің жоғары өткізгіштігін қамтамасыз етті.

- $\text{La}_{0,99}\text{Ca}_{0,01}\text{NbO}_4:\text{NiCoO}_x$ негізіндегі асимметриялық протонөткізгіш мембраналардың және $5\% \text{ Ni} + 1\% \text{ Ru} / \text{Pr}_{0,3}\text{Ce}_{0,35}\text{Zr}_{0,32}\text{O}_2$ катализаторы бар үлгілер дайындалды; кеуекті металл тасымалдағыштар негізінде мембраналық реактор жасалып, 700–800 °С температурада метанның көмірқышқылдық айналымы реакциясында зерттелді.

Диссертациялық жұмыстың теориялық маңыздылығы лантан ортониобаттары мен металл-оксидтік композиттер негізіндегі материалдарда протондық және электрондық тасымалдау процестерінің физика-химиялық заңдылықтарын анықтаудан, сондай-ақ асимметриялық протонөткізгіш мембраналардың құрылымдық ерекшеліктері мен тасымалдау қасиеттері арасындағы өзара байланысты теориялық тұрғыдан негіздеуден тұрады.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы - жоғары критикалық жағдайларда оксидтерді, құймаларды және композиттерді синтездеудің ұсынылған әдістемелері басқа құрылымдық типтегі оксидтерге және жалпы алғанда әртүрлі материалдарға бейімделіп қолданылуы мүмкін.

Дәстүрлі сутек өндіру технологиялары (отынның булы айналымына негізделген өнеркәсіптік процестер) энергияны көп қажет етеді және шағын қондырғылар жасауға қолайсыз. Ал катализдік мембраналы реакторларды пайдалану арқылы таза сутек өндіру тәсілі баламалы бағыт ретінде қарастырылып, шалғай аймақтарда қолдануға перспективалы болып табылады. Мысалы, протон өткізгіш мембрана негізіндегі отын элементтерін қуат көзімен қамтамасыз ету үшін пайдалануға болады.

Оттек пен сутектің жоғары қозғалғыштығы бар материалдарды әзірлеу, олардың құрамын және құрылымын оңтайландыру, процестердің параметрлерін таңдау мен математикалық модельдеу, сондай-ақ пилоттық катализдік реакторларды дайындау және сынау көміртек құрамды отындар мен спирттерді синтез-газ бен сутекке тиімді түрлендіруге мүмкіндік береді. Сонымен бірге мембраналы реакторды және құрамында бағалы металдар аз материалдарды қолдану арқылы процестің өзіндік құнын төмендетуге болады.

Автордың жеке үлесі. Тақырыпқа сәйкес ғылыми әдебиеттерді жинақтау, құрылымдау және мазмұндық талдау жүргізу, құймалар, күрделі оксидтер мен композиттерді синтездеу, алынған нәтижелерді өңдеу мен талдау, сондай-ақ жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша ғылыми басылымдарға мақалалар әзірлеу жұмыстарында автордың тікелей қатысуы болды.

Докторанттың әрбір басылымды дайындауға қосқан үлесінің сипаттау:

Диссертациялық зерттеу жұмысының нәтижелері бойынша 11 жұмыс жарияланды, оның ішінде: *Scopus ғылыми-метриялық дерекқорына енгізілген халықаралық ғылыми журналдарда 2 мақала (Journal of Composites Science (Ceramics and Composites) Q2 65% және Chimica Techno Acta (General Chemical Engineering Q3 30%) жарияланды:*

1. D.T. Altynbekova, B.K. Masalimova, Yu.N. Bespalko, K.R. Valeev, N. Eremeev, E. Sadovskaya, T. Kriger, A. Ulikhin, A. Ukhina, M. Simonov, V.A. Sadykov. Simple Approach to the Fabrication of Lanthanum Orthoniobates and Nanocomposites with Ni, Cu, and Co Metal Nanoparticles Using Supercritical Isopropanol. (Web of Science – Q2) J. Compos. Science. 2022, 6, 243. <https://doi.org/10.3390/jcs6090243> - Мақаланың бастапқы нұсқасын әзірлеу, зерттеу нәтижелерін мәтін түрінде рәсімдеу және негізгі бөлімдерді қалыптастыру (бастапқы қолжазба).

2. N. Eremeev, D.T. Altynbekova, Yu.N. Bespalko, K.R. Valeev, T. Kriger, A. Ishchenko, E. Suprun, V.A. Sadykov. Hydrogen production by dry reforming of methane in a catalytic reactor with La niobate-based hydrogen separation membrane. (Web of Science – Q3) Chimica Techno Acta (General Chemical Engineering Q3 30%) - Деректерді жинақтау және жүйелеу, формалды талдау, зерттеу жүргізу, нәтижелерді көрнекі түрде ұсыну.

ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған жарияланымдарда 4 мақала жарияланды:

1. D.T. Altynbekova, B.K. Masalimova, Yu.N. Bespalko, K.R. Valeev, T. Kriger, V.A. Sadykov. Жоғары критикалық спирттер ортасында нанокристалдық күрделі оксидтерді синтездеу. Қазақстан Республикасы

Ұлттық ғылым академиясының хабаршысы. «Химия және технология» сериясы. – 2020. – 4 том. – 6 – 13 бб. - Тұжырымдама жасау, әдістеме, формалды талдау, зерттеу, жазу- түпнұсқа қолжазба.

2. Т.Алтынбекова, Б.К. Масалимова, К.Р.Валеев, Ю.Н.Беспалко, В. А.Садыков. Жоғары критикалық сұйықтықтарды қолдану арқылы метал нанобөлшектері мен олардың құймаларын синтездеу. Қазақстан-Британ техникалық университетінің хабаршысы Серия: Химия. № 3. Б. 13-20.- Деректерді жинақтау және жүйелеу, формалды талдау, зерттеу жүргізу, нәтижелерді көрнекі түрде ұсыну, жазу- түпнұсқа қолжазба.

3. Алтынбекова Д.Т., Масалимова Б.К., Ю.Н.Беспалко, В. А.Садыков. Лантан ортониобаты негізіндегі электролиттерге шолу. Құрылымы және протондық өткізгіштігі. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. «Химия. География. Экология» сериясы. № 4. Б. 18-34. - Әдебиеттерді іздеу және іріктеу, сыни талдау, жүйелеу және салыстыру, қорытынды тұжырымдар жасау, мәтінді жазу және редакциялау.

4. Алтынбекова Д.Т., Бегенова Б.Е., Дарменбаева А., Аканова М.Д., Масалимова Б.К. Күрделі оксид (LaNbO_4) пен құйма (NiCoO_x) негізіндегі нанокомпозитті синтездеу және протонөткізгіштігін зерттеу. Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары.– 2025. – Т. 2, №354. – Б. 152–163. – DOI: <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.350> - Деректерді жинақтау және жүйелеу, формалды талдау, зерттеу жүргізу, нәтижелерді көрнекі түрде ұсыну, жазу- түпнұсқа қолжазба.

Халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдарында 5 баяндама тезистері жарияланды:

1. Д.Т.Алтынбекова, Б.К. Масалимова, К.Р.Валеев, Ю.Н.Беспалко, В. А.Садыков. Нанокристалдық күрделі оксидтерді сольвотермалдық әдіспен синтездеу. «Функционалдық материалдардың химиялық технологиясы» атты VI Халықаралық Ресей–Қазақстан ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары. Алматы қ., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. Б. 15-18, 2020 ж. - Түпнұсқа жобасы.

2. Д.Т.Алтынбекова, К.Р.Валеев, Ю.Н.Беспалко, М.Н.Симонов, В. А.Садыков. Жоғары критикалық спирттер ортасында протонөткізгіш мембраналарға арналған жаңа материалдарды алу. Халықаралық қатысумен өткен XI ғылыми-тәжірибелік конференция «Жоғары критикалық флюидтер: іргелі негіздер, технологиялар, инновациялар». 2021 жылғы 21–25 маусым, Новосибирск қ. - Түпнұсқа жобасы.

3. Д.Т.Алтынбекова, Б.К. Масалимова, К.Р.Валеев, Ю.Н.Беспалко, В. А.Садыков. Жаңа әдістерді қолдану арқылы нанокристалды лантан ниобаттарын синтездеу. Химия және химиялық технология бойынша XI халықаралық Бірімжанов съезінің еңбектері Алматы қ. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ. Б.203-204 2021ж. - Түпнұсқа жобасы.

4. Д.Т.Алтынбекова, Б.К. Масалимова. Жаңа әдістермен протонөткізгіш мембраналар үшін күрделі оксидтер мен құймалардың қатысында нанокомпозиттерді синтездеу. «Қазіргі әлемдегі жаратылыстану және техникалық ғылымдардың даму тенденциялары» халықаралық ғылыми тәжірибелік конференцияның материалдары. Петропавл 2022 ж, 18 қараша.

Б.251-253. - түпнұсқа жобасы.

5. Д.Т.Алтынбекова, А.Б. Мейрамбек, Ж.Ж.Елемес, Б.К. Масалимова. Сутегін өндірудегі қолданылатын әдістер. Жаратылыстану ғылымдарының өзекті мәселелері» Қазақстан ғылым Академиясының тұңғыш президенті Қ.И. Сатпаевтың 125 жыл толуына арналған XII Халықаралық ғылыми практикалық конференцияның материалдары 12 сәуір 2024 ж. Б. 429-432. - түпнұсқа жобасы.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс стандартты бөлімдерден құралған: нормативтік сілтемелер, белгілеулер мен қысқартулар, кіріспе, әдебиеттік шолу, тәжірибелік бөлім, тәжірибе нәтижелері және оларды талқылау, пайдаланылған әдебиеттер тізімі және қосымша.