**АҢДАТПА**

докторанттың диссертациялық жұмысына
6D074000 – «Наноматериалдар және нанотехнологиялар» PhD білім беру бағдарламасы бойынша

**МАЛТАЙ АНАР БҰРХАТҚЫЗЫ**

**Энергия сақтау үшін наноқұрылымды композитті материалдарды құру**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы.** Диссертация ағаш қалдықтары мен полиакрилонитрил полимерінен алынатын лигнин негізіндегі наноқұрылымды лигнині бар көміртекті талшықтарды өндіруге, сондай-ақ қарағаш және қарағай үгінділері негізінде белсендірілген көмір алуға және алынған материалдар негізінде литий-ионды батареялар мен суперконденсаторларға арналған электродтарды жасауға арналған.

**Диссертация тақырыбының өзектілігі.** Қазіргі уақытта электр энергиясын сақтау қоғамның тұрақты даму стратегиясының негізгі мәселесі болып табылады және батареялар, аккумуляторлар және суперконденсаторлар сияқты тиімді электр энергиясын сақтау құрылғыларын өндірудің жаңа әдістерін әзірлеу өте маңызды болып табылады. Бұл бағытта жаңартылатын және қолжетімді өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалану екі мәселені шешетін басым бағыттардың бірі болып табылады: қалдықтарды кәдеге жарату мәселесі және аз шығынмен тиімді энергия сақтау жүйесін құру мәселесі. Ағаш кесу, ағаш өңдеу кәсіпорындарының қызметі әртүрлі ағаш қалдықтарының жиналуына әкеледі. Айта кету керек, ағаш қалдықтарын өңдеудің қолданыстағы әдістеріне қарамастан, бірқатар технологиялық шектеулерге байланысты қалдықтардың үлкен бөлігі пайдаланылмайды және көп жағдайда өртенеді немесе полигонға тасталады, сондықтан екі жағдайда да бөлініп шығантын парниктік газдар қоршаған ортаны ластайды.

Сонымен қатар лигнин арзан жанама өнім ретінде целлюлоза және гидролиз зауыттарында көп мөлшерде жиналатын ірітоннажды ағаш қалдықтары болып табылады. Бүгінгі таңда әлемде лигниннің жинақталуы жылына шамамен 60 млн тоннаны құрайды, оның орташа есеппен 5 % ғана өңделеді және пайдаланылады. Сондықтан лигнинді пайдалану өзекті мәселелердің бірі болып саналады. Лигнин арзан, кең таралған биополимер және ірітоннажды қалдықтар бола отырып, полимер талшықтарын алу мақсатында өңдеу үшін перспективалы материал болып табылады. Арзан және қол жетімді биомассадан талшықтарды өндіру әртүрлі салаларда, соның ішінде көлік пен энергетикада композитті материалдарды жасау үшін көміртекті талшықты пайдалануды кеңейтуге көмектеседі. Көміртекті талшықтардың жоғары беріктігін, жоғары меншікті бетінің ауданын, аз салмағын, жылу және электр өткізгіштігін ескере отырып, оларды энергия сақтау материалдары ретінде пайдалану перспективалары жоғары. Полиакрилонитрил (ПАН) негізінен көміртекті талшықтарды өндіру үшін қолданылады, оның кемшілігі оның жоғары құны болып табылады.

Сондықтан диссертациялық жұмыста көміртекті талшықтарды өндіру үшін ПАН полимерін алмастыру ретінде ағаш қалдықтарынан алынатын үнемді және экологиялық таза лигнинді пайдалану ұсынылады. Болашақта лигнин мұнай мен көмірден алынған шайыр және ПАН сияқты коммерциялық прекурсорларды толықтыратын балама шикізат болады деп күтілуде.

**Жұмыстың мақсаты.** Диссертациялық жұмыстың мақсаты – электр энергиясын сақтауға арналған ағаш қалдықтары негізінде наноқұрылымды композитті материалдарды жасау әдісін әзірлеу.

**Жұмыстың міндеттері.** Қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешілді:

– органосольвентті әдісті қолдана отырып қарағаш үгінділерінен, қарағай үгінділерінен және олардың қоспаларынан лигнин алу шарттарын оңтайландыру, сондай-ақ физика-химиялық зерттеу әдістерін қолдана отырып, алынған лигниндердің морфологиялық ерекшеліктері мен сипаттамаларын анықтау;

– лигнин негізіндегі наноөлшемді талшықтарды электроспининг арқылы алу шарттарын және көміртекті наноталшықтарды алу үшін оларды карбонизациялау режимдерін анықтау;

– алынған көміртекті наноталшықтар негізінде суперконденсаторлар мен Li -ионды аккумуляторлар үшін электродтар жасау және олардың жұмыс және сыйымдылық сипаттамаларын анықтау;

– жоғары тиімді суперконденсатор электродтарын жасау үшін қарағаш пен қарағай үгінділерінен белсендірілген көмір алу шарттарын оңтайландыру және олардың электрлік сипаттамаларын анықтау.

**Зерттеу әдістері.** Қойылған мақсатқа жету және қойылған міндеттерді шешу үшін келесі зерттеу әдістері қолданылды: термогравиметриялық талдау, электронды сканерлеу микроскопиясы, Брунауэр-Эмметт-Теллер талдауы, энергетикалық дисперсиялық талдау, Раман спектроскопиясы, инфрақызыл спектроскопия, ядролық магниттік резонанс, оптикалық микроскопия, циклдік вольтаперометрия, электрохимиялық кедергі спектроскопиясы.

**Қорғауға шығарылатын негізгі қағидалар:**

– орташа диаметрі 97 нм болатын наноөлшемді талшықтарды алу үшін салмағы бойынша оңтайлы лигнин/ПАН қатынасы 30:70 қатынасы болып табылады, оның ішінде қыздыру жылдамдығы 5 °С/мин және 800 °С карбонизация температурасында 60 минут азотты ортада диаметрі 47 нм кеуекті көміртекті наноталшықтар алынады;

– 800 °С температурада, 0,1 А/г ток тығыздығында көміртекті нано өлшемді көміртекті талшықтар негізінде жасалған электродтар бастапқы меншікті сыйымдылығы 798 мАч/г және бастапқы кулондық тиімділігі 69,5 %, 900 және 1000 °С карбонизация температурасында алынған нано өлшемді көміртекті талшықтардың бастапқы меншікті сыйымдылығы 668 мАч/г және 594 мАч/г ие, және бастапқы кулондық тиімділігі 52 % және 51 %, сәйкесінше;

– 700 °С карбонизация температурасында, 5 мВ/с сканерлеу жылдамдығында алынған қарағаш және қарағай үгінділері негізінде белсендірілген көмірден жасалған электродтар 202 Ф/г және 161 Ф/г меншікті

сыйымдылыққа ие және энергия тығыздығын қамтамасыз етеді 26,0 және 22,1 Вт·сағ/кг, сәйкесінше.

**Зерттеу объектісі** ағаш қалдықтары негізіндегі наноқұрылымды композитті материалдар болып табылады.

**Зерттеу пәні -** ағаш қалдықтары (қарағаш үгінділері, қарағай үгінділері, қарағаш және қарағай үгінділерінің қоспасы) негізіндегі лигнин және полимерден алынған наноталшықтар.

**Зерттеудің ғылыми жаңалығы.** Жұмыста келесі нәтижелер алынды:

– карбонизация кезінде лигнинді термиялық өңдеу кезінде жақсартатын гуаиацилмен (G) салыстырғанда сирингил (S) бірліктерінің көп мөлшерінен тұратын қарағаш, қарағай үгінділерінен және олардың қоспаларынан органосольвенттік әдісімен лигнин алу шарттары оңтайландырылды;

– электроспиннинг әдісімен орташа диаметрі 97 нм болатын лигнин және ПАН негізіндегі композитті наноөлшемді талшықтарды алудың оңтайлы шарттары анықталды, сонымен қатар диаметрі 47 нм болатын көміртекті наноталшықтарды алу үшін карбонизация режимдері анықталды;

– суперконденсаторлар мен Li-ионды аккумуляторлар үшін қарағаш пен қарағай үгінділерінің қоспасы негізіндегі лигниннен және ПАН алынған көміртекті наноталшықтардан жасалған электродтар әзірленді және жасалды; олардың эксплуатациялық және сыйымдылық сипаттамалары анықталды: 800 °C температурада КНТ 30/70 меншікті электр сыйымдылығы 136,4 Ф/г және Li-ионды аккумуляторлардың бастапқы меншікті электрохимиялық сыйымдылығы 798 мАс/г, 500 циклда тұрақталған сыйымдылығы 400 мАс/г;

– ағаш қалдықтарынан белсендірілген көмір алу шарттары анықталды, олардың негізінде меншікті сыйымдылығы – қарағаш үшін 202 Ф/г және қарағай үшін 161 Ф/г болатын жоғары тиімді суперконденсатор электродтары жасалды.

**Диссертациялық жұмыстың теориялық маңыздылығы** электрохимиялық сақтау құрылғыларында электродтық материал ретінде пайдаланылатын қарағаш және қарағай үгінділері негізіндегі белсендірілген көмір, сонымен қатар аралас ағаш қалдықтары мен полимерден алынатын арзан көміртекті наноталшықтарды алудың негізгі параметрлерін зерттеудегі маңызды ақпараттармен толықтырылды.

**Практикалық маңыздылығы.** Практикалық тұрғыдан алғанда жұмыстың маңыздылығы, бір жағынан, аралас ағаш үгінділер негізіндегі лигнинді және ағаш қалдықтарын қайта өңдеудің экологиялық қауіпсіз әдісін әзірлеуде, екінші жағынан, тәжірибеде баламалы қолданылатын суперконденсаторлар мен Li-ионды аккумуляторлардың электродтары ретінде лигнинді, көміртекті наноталшықтарды және белсендірілген көмірлерді алу әдістерін әзірлеуде болып саналады. энергия сақтау жүйелері үшін электродтық материалдар ретінде алынған ағаш қалдықтары негізінде лигнинді және көміртекті наноталшықтары перспективалы болып табылады.

**Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі.** Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі қаржыландыратын ЖТН AP08856321 «Электроспиннинг әдісімен

талшықты композиттік материалдар алу және олардың негізінде суперконденсаторлар үшін электродтар жасау» (2020-2022 жж.), ЖТН AP14972938 «Наноқұрылымды композиттік материалдар негізінде суперконденсаторлар үшін электродтарды әзірлеу және жасау» (Жас Ғалым) (2022-2024 жж.) гранттық қаржыландыру жобасы аясында жүзеге асырылды.

**Жұмысты апробациялау.** Диссертацияның негізгі нәтижелері халықаралық және шетелдік ғылыми конференцияларда баяндалып, талқыланды:

1. Turganbay A.B. (Maltay A.B.), Zhaparova A., Nazhipkyzy M., Lesbayev B.T., Mansurov Z.A. Apllication of diatomite for energy storage devices //X International Symposium The Physics and Chemistry of Carbon and Nanoenergetic Materials, Almaty, 2018. – P. 160-162.

2. Globisz M., Turganbay A. (Maltay A.B.), Nazhipkyzy M., Zhaksilikova A., Mitchell G., Mansurov Z. Lignin based electrospun fibers // XI International Symposium «COMBUSTION and PLASMOCHEMISTRY» November 20-22, 2019, Almaty, Kazakhstan.

3. Turganbay Anar (Maltay A.B.), Nazhipkyzy Meruyert, Lesbayev Bakhytzhan, Geoffrey Robert Mitchell and Naurzbayeva Gulmira Lignin based electrospun fibers // Polymer Science and Composite Materials Conference, Portugal, 26.02.2020-28.02.2020.

4. Тұрғанбай А.Б. (Малтай А.Б.), Нажипкызы М., Лесбаев Б.Т., Жапарова А., Исанбекова А. Получение лигниновых волокон // Международный казахстанско-российский симпозиум «Химическая физика и наноматериалы». – 2021. – С. 4.

5. Turganbay A.B. (Maltay A.B.), Nazhipkyzy M., Sultakhan Sh., Asylkhanova D., IsSanbekova A.T. Fabrication of lignin fibers from wood by electrospinning method // “Combustion and Plasmochemistry. Physics and Chemistry of Carbon and Nano Energy Materials” October 12-13, 2021, Almaty, Kazakhstan. – P. 89.

6. Nazhipkyzy M., Asylkhanova D., Turganbay A. (Maltay A.B.), Kurmanbayeva I., Mansurov Z., Bakenov Zh. Use of vegetable raw materials as electrode materials for Li-ion batteries. XII International Symposium «Combustion and Plasmochemistry. Physics and Chemistry of Material Science». October 12-13, 2021. Almaty, Kazakhstan.

7. Maltay A.B., Nazhipkyzy M., Sultakhan Sh., Askaruly K., Assylkhanova D., Niyazbaeva A.I. Biomass-Derived Porous Carbon Materials for Electrochemical Storage Devices // International Chemistry Conference, June 27-29, 2022.

8. Nazhipkyzy M., Maltay A.B., Sultakhan Sh., Assylkhanova D., Zhaparova A., Issanbekova A.T., Mansurov Z.A. Fabrication of lignin based carbon fibers from wood wastes by electrospinning method // Carbon - 2022.

9. Nazhipkyzy M., Sultakhan Sh., Maltay A.B., Yeleuov M., Assylkhanova D., Apaydın-Varol E., Gamzenur Ozsin. Preparation of Activated Carbon from Pine and Elm Sawdust for Supercapacitor // International Chemistry Conference, June 27-29, 2022.

**Докоранттың әрбір жарияланымды дайындауға қосқан жеке үлесі.** Автордың жеке үлесі эксперименттерді жоспарлау және жүргізу, алынған нәтижелерді қорытындылау және түсіндіру, мақалалар мен баяндамалар жазудан тұрады. Мақсат пен міндеттер, эксперименттерді жоспарлау, нәтижелерді талқылау және қорғаудың негізгі ережелері екі ғылыми жетекшімен талқыланды.

**Жарияланымдар.** Орындалған жұмыстың нәтижелері 3 ғылыми еңбекте көрсетілген:

1. Турганбай А.Б. (Малтай А.Б.), Лесбаев Б.Т., Нажипкызы М., Джеффри Митчелл Создание наноструктурированных композитных материалов для хранения энергии // Горение и плазмохимия 17 (2019) 158-166.

2. Турганбай А.Б. (Малтай А.Б.), Нажипкызы М., Жапарова А.А., Султахан Ш. Получение лигниновых волокон из опилок методом электроспиннинга // Вестник КазНИТУ. – 2021. – №4. – С. 127-132.

3. Малтай А., Жапарова А., Нажипкызы М. Получение волокон из лигнина методом электроспиннинга. Белая книга по нанотехнологиям, 2022.

**Scopus** дерекқорындағы мақалалар 3:

1. Nazhipkyzy M., Yeleuov M., Sultakhan Sh.T., Maltay A.B., Zhaparova A.A., Assylkhanova D.D., Nemkayeva R.R. Electrochemical Performance of Chemically Activated Carbons from Sawdust as Supercapacitor Electrodes // Nanomaterials. – 2022. – Vol. 12, №19. – P.3391. Индексируемый в Scopus, 80 percentile.

2. Nazhipkyzy M., Maltay A., Askaruly K., Assylkhanova D., Seitkazinova A., Mansurov Z. Biomass-Derived Porous Carbon Materials for Li-Ion Battery // Nanomaterials. – 2022. – Vol. 12, № 20. – P.3710. Индексируемый в Scopus, 80 percentile.

3. Nazhipkyzy M., Assylkhanova D., Maltay A., Dinistanova B., Tureshova G., Issanbekova A., Kudyarova Zh. Use of Vegetable Raw Materials as Electrode Materials for Li-Ion Batteries // Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 95. – P. 247-252. Индексируемый в Scopus, 35 percentile.

**Патенттер:**

1. Патент өнертабысқа №35439 ҚР. Лигнинді наноталшықтарды алу әдісі / Тұрғанбай А.Б. (Малтай А.Б.), Нажипқызы М., Лесбаев Б.Т., Сейтказинова А.Р., 31.12.2021.

2. Патент пайдалы модельге №7505 ҚР. Гибридті суперконденсаторлардың электродын дайындау тәсілі / Лесбаев Б.Т., Әуелханқызы М., Рахымжан Н.Б., Устаева Г.С., Елеуов М.А., Толынбеков А.Б., Марал Е.М., Малтай А.Б., 07.10.2022.