

ТЕКСТИЛЬ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ГИДРОФОБТЫ ЖӘНЕ ОЛЕОФИЛЬДІ ҚАСИЕТТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

А.Б. ДАУКЕНОВА* , И.М. ДЖУРИНСКАЯ 

(Алматы Технологиялық Университеті, Қазақстан Республикасы,
050012, Алматы қ., Төле би к-сі, 100)

Автор – корреспонденттің электрондық поштасы: aidana_-2000@mail.ru*

Зерттеу тақырыбы мақта және аралас маталар негізінде гидрофобты және олеофильді текстиль материалдарын жасауға бағытталған. Жұмыстың негізгі мақсаты – текстиль талшықтарын гидрофобтылығы мен олеофильділігін арттыру үшін химиялық модификациялаудың тиімді әдісін әзірлеу, бұл суды мұнай ластануынан тазарту кезінде қолданыстағы текстиль материалдарының жеткіліксіз сорбциялық қабілеті мен шектеулі функционалдығы мәселесін шешуге мүмкіндік береді. Зерттеу барысында материалдардың гидрофобтылығы мен олеофильділігін басқаруға мүмкіндік беретін натрий силикаты және калий метилсиликонатпен маталарды өңдеу әдістері зерттелді. Жұмыстың ғылыми маңыздылығы текстиль талшықтарының беткі қасиеттерін мақсатты түрде өзгерту мүмкіндігі және химиялық модификацияның сорбциялық сипаттамаларға әсері туралы білімді кеңейту болып табылады. Практикалық маңыздылығы суды мұнай ластануынан тазартуға және экологиялық таза сорбенттер жасауға жарамды функционалды текстиль материалдарын жасауда көрінеді. Зерттеу әдістемесінде маталарды химиялық өңдеуді, су мен майды итеру қабілеті, олардың ылғалға сіңуі және беттік сулануға төзімділік қасиеттері және мұнай өнімдерін сіңіру қабілеті бағаланды. Негізгі нәтижелер текстиль бұйымдарын өңдеу оның гидрофобтылығы мен олеофильділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетті, ал мақта маталары ең жоғары тиімділікті көрсетеді. Модификатордың концентрациясы мен материалдың сорбциялық қасиеттері арасында байланыс орнатылған. Алынған нәтижелер модификация процесінің басқарылуын растайды және әзірленген материалдарды өнеркәсіпте қолдануға мүмкіндік береді. Жұмыстың қосқан үлесі экология мен өнеркәсіп үшін маңызы бар реттелетін қасиеттері бар функционалды текстиль сорбенттерін алудың жаңа әдісін жасау болып табылады.

Негізгі сөздер: текстиль материалы, калий метилсиликонаты, лимон қышқылы, натрий силикаты, гидрофобтылық, олеофильділік, пенетрометр.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОФОБНЫХ И ОЛЕОФИЛЬНЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Б. ДАУКЕНОВА*, И.М. ДЖУРИНСКАЯ

(Алматинский технологический университет, Республика Казахстан,
050012, г. Алматы, ул. Төле би 100)

Электронная почта автора - корреспондента: aidana_-2000@mail.ru*

Тема исследования направлена на создание гидрофобных и олеофильных текстильных материалов на основе хлопчатобумажных и смешанных тканей. Основная цель работы - разработка эффективного метода химической модификации текстильных волокон для повышения их гидрофобности и олеофильности, что позволит решить проблему недостаточной сорбционной способности и ограниченной функциональности существующих текстильных материалов при очистке воды от нефтяного загрязнения. В ходе исследования были изучены методы обработки тканей силикатом натрия и метилсиликонатом калия, которые позволяют контролировать гидрофобность и олеофильность материалов. Научная значимость работы заключается в расширении знаний о возможности целенаправленного изменения поверхностных свойств текстильных волокон и влиянии химических модификаций на сорбционные характеристики. Практическая значимость выражается в создании функциональных текстильных материалов, пригодных для очистки воды от нефтяного загрязнения и создания экологически чистых сорбентов. Методология исследования оценивала химическую обработку тканей, способность отталкивать воду и масло, их влагопоглощающие и поверхностно-влагостойкие свойства, а также

способность поглощать нефтепродукты. Основные результаты показали, что обработка текстильных изделий значительно повышает ее гидрофобность и олеофильность, тогда как хлопчатобумажные ткани демонстрируют наибольшую эффективность. Установлена связь между концентрацией модификатора и сорбционными свойствами материала. Полученные результаты подтверждают управляемость процесса модификации и позволяют применять разработанные материалы в промышленности. Вклад работы заключается в разработке нового метода получения функциональных текстильных сорбентов с регулируемыми свойствами, имеющих значение для экологии и промышленности.

Ключевые слова: текстильный материал, метилсиликонат калия, лимонная кислота, силикат натрия, гидрофобность, олеофильность, пенетрометр.

INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGY FOR FORMING HYDROPHOBIC AND OLEOPHILIC PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS

A.B. DAUKENOVA*, I.M. JURINSKAYA

(Almaty Technological University, Kazakhstan, 050012, Almaty, Tole bi st., 100)

Corresponding author's e-mail: aidana_-_2000@mail.ru*

The research topic is aimed at creating hydrophobic and oleophilic textile materials based on cotton and mixed fabrics. The main goal of the work is to develop an effective method of chemical modification of textile fibers to increase their hydrophobicity and oleophilicity, which will solve the problem of insufficient sorption capacity and limited functionality of existing textile materials when treating water from oil pollution. In the course of the study, methods for processing fabrics with sodium silicate and potassium methylsiliconate were studied, which made it possible to control the hydrophobicity and oleophilicity of materials. The scientific significance of the work is to expand knowledge about the possibility of purposefully changing the surface properties of textile fibers and the effect of chemical modification on sorption characteristics. Practical importance is manifested in the creation of functional textile materials suitable for water purification from oil pollution and the creation of environmentally friendly sorbents. The research methodology evaluated the chemical treatment of fabrics, the ability to push water and oil, their moisture absorption and surface wetting resistance properties and the ability to absorb petroleum products. The main results showed that the processing of textile products significantly increases its hydrophobicity and oleophilicity, and cotton fabrics show the highest efficiency. A relationship is established between the concentration of the modifier and the sorption properties of the material. The results obtained confirm the controllability of the modification process and allow the developed materials to be used in industry. The contribution of the work is the development of a new method for obtaining functional textile sorbents with regulated properties that are important for ecology and industry.

Keywords: textile material, potassium methyl silicate, citric acid, sodium silicate, hydrophobicity, oleophilicity, penetrometer.

Kіpіcne

XXI ғасырда өнеркәсіптің қарқынды дамуы, урбанизацияның күшеюі және табиғи ресурстарды белсенді пайдалану қоршаған ортаға түсетін антропогендік жүктеменің артуына алып келді. Әсіресе мұнай-газ саласының кеңеюі нәтижесінде мұнай және мұнай өнімдерімен байланысты экологиялық тәуекелдер айтарлықтай өсті. Мұнайдың өндірілуі, тасымалдануы, сақталуы және қайта өңделуі барысында орын алатын апаттар мен технологиялық ақаулар су объектілерінің ластануына себеп болып, су экожүйелерінің табиғи қалпын бұзады. Мұндай ластану ұзақ уақыт бойы сақталып, гидробионттардың

тіршілігіне, су сапасына және адам денсаулығына теріс әсер етеді.

Осыған байланысты соңғы жылдары мұнай өнімдерін судан тазарту үшін сорбциялық әдістерге ерекше назар аударылуда. Сорбциялық материалдар қарапайым қолданылуымен, жоғары тиімділігімен және локальды тазалау мүмкіндігімен ерекшеленеді. Дегенмен қазіргі уақытта кеңінен қолданылатын синтетикалық сорбенттер (полипропилен, полиуретан, полистирол негізіндегі материалдар) экологиялық тұрғыдан қауіпсіз емес, биологиялық ыдырауға бейім емес және оларды утилизациялау қосымша экологиялық мәселе туындатады. Бұл жағдай табиғи, жаңартылатын және экологиялық таза шикізатқа негізделген

баламалы сорбенттерді әзірлеудің маңыздылығын арттырады.

Осыған байланысты ғылыми қауымдас-тық алдында гидрофобты және олеофильді текстиль материалдарын алу үшін қарапайым, энергия үнемдейтін, қауіпсіз және экологиялық талаптарға сай технологияларды әзірлеу мәселесі туындап отыр. Әсіресе алынған материалдардың эксплуатациялық қасиеттерін, көп рет қолдану мүмкіндігін, жууға төзімділігін және қоршаған орта мен адам денсаулығы үшін қауіпсіздігін кешенді түрде бағалау қажеттілігі айқындалуда. Бұл аспектілерді ескермей жасалған материалдар практикалық қолдану тұрғысынан шектеулі болады.

Осылайша, мұнай өнімдерімен ластанған суды тазарту саласында экологиялық таза, тиімді және қауіпсіз сорбциялық материалдарға деген сұраныс, сондай-ақ целлюлозалық текстиль материалдарының табиғи кемшіліктерін жою қажеттілігі зерттеу проблемасының қалыптасуына негіз болды. Аталған проблеманы шешу гидрофобты және олеофильді қасиеттері бар жаңа буын текстиль материалдарын әзірлеуді, олардың құрылымдық, функционалдық және қауіпсіздік сипаттамаларын жан-жақты зерттеуді талап етеді. Бұл өз кезегінде экологиялық қауіпсіз технологияларды дамытуға және су ресурстарын қорғау мәселелерін шешуге маңызды үлес қоса алады [1].

Зерттеу жұмысының мақсаты - мұнай және мұнай өнімдерімен ластанған ортаны тазартуға арналған, жоғары тиімді арнайы қасиеттері бар текстиль материалдарын әзірлеу, оларды алу технологиясын ғылыми негіздеу және алынған материалдардың физика-механикалық, сорбциялық қасиеттерін, пайдалану тиімділігі мен қауіпсіздігін кешенді түрде бағалау.

Зерттеу нысаны - целлюлоза талшықтарына негізделген текстиль материалдары (мақта және аралас маталар).

Зерттеу жұмысының мақсатына жету барысында қойылған міндеттері:

- текстиль материалдарының функционалды модификациясы бойынша зерттеулердің қазіргі жағдайын талдау;

- химиялық реагенттерді және маталарды өңдеу режимдерін таңдаудың негіздемесі;

- өңдеу жағдайларының текстиль материалдарының физика-химиялық және сорбциялық қасиеттеріне әсерін зерттеу;

- мұнай өнімдерін сорбциялаудағы модификацияланған материалдардың тиімділігін бағалау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу материалдары ретінде 1030 мақта матасы және 81421 premier standard 250 аралас мата (65% полиэстер, 35% мақта) таңдалды. Химиялық модификация үшін талшықтардың бетінде гидрофобты және олеофильді қабаттың пайда болуын қамтамасыз ететін натрий силикаты (Na_2SiO_3), лимон қышқылы ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) және калий метилсиликонаты (CH_3KOSi) пайдаланылды.

Натрий силикаты - сұйық шыны деп те аталатын бейорганикалық натрий тұзы. Компонент жоғары тұтқыр, гидроокшаулағыш, антисептикалық, отқа төзімді және қорғаныс қасиеттеріне ие. Ол химия өнеркәсібінде, құрылыста және беріктігін, отқа төзімділігі мен суға төзімділігін арттыру үшін материалдарды өңдеуде кеңінен қолданылады.

Лимон қышқылы - оксикарбон қышқылдары класындағы органикалық химиялық қосылыс. Бұл суда және спирттерде жақсы еритін түссіз немесе ақ кристалдар, әлсіз үш негізді қышқылдарға жатады. Химиялық процестерде лимон қышқылы қышқылдық және комплексті қасиеттерді көрсетеді, металл иондарын байланыстыра алады. Бұл оның рН-ны реттеуге, ерітінділерді тұрақтандыруға және әртүрлі материалдарды өзгерту реакцияларында қолданылуына әкеледі.

Калий метилсиликонаты - метилсиликон қышқылының калий тұзы болып табылатын органосиликон қосылысы. Зат суда жақсы ериді және сілтілі ерітінділер түзеді. Калий метилсиликонаты айқын гидрофобты қасиеттерге ие және материалдардың бетімен әрекеттескенде ылғалдану мен суды сіңіруді төмендететін жұқа силикон пленкасын түзе алады. Целлюлоза мен минералды беттердің гидроксил топтарымен химиялық байланысу қабілетінің арқасында ол тоқыма материалдарына су мен майға қарсы қасиеттер беру үшін кеңінен қолданылады.

Зерттеу процесі келесі қадамдарды қамтыды: үлгілерді дайындау, оларды химиялық реагенттермен өңдеу, содан кейін жоғары температурада кептіру және бекіту. Содан кейін маталардың су мен майды итеру қабілеті, олардың ылғалға сіңуі және беттік сулануға төзімділік қасиеттері және мұнай өнімдерін сіңіру қабілеті бағаланды.

Суға төзімділікті анықтау үшін судың қысымын өлшейтін МТ-158 пенетрометрді қолданылды. Гигроскопиялық МЕМСТ 3816-81 сәйкес бағаланды, беттік сулануға төзімділік МЕМСТ 30292-96 бойынша МТ – 032

құрылғысына шашырау әдісімен, ал адсорбциялық белсенділік МЕМСТ 33627-2015 бойынша бағаланды.

Алынған нәтижелерді талдау реагенттердің құрамы мен өңдеу жағдайлары маталардың қасиеттеріне қалай әсер ететінін анықтауға мүмкіндік берді. Бұл бастапқы гипотезаны растады және мұнай өнімдерін судан шығару үшін ең қолайлы материалдарды анықтауға көмектесті.

Әдебиеттерге шолу

Бірқатар зерттеулер текстиль бетін нанобөлшектер мен силан қосылыстарымен наномодификациялаудың тиімді әдістерінің бірі екенін көрсетті. Zhang L., Zhong Y., Wang P. ғалымдары мұнай мен суды бөлудің жоғары тиімділігін қамтамасыз ететін мақта маталарына супергидрофобты жабын жағу үшін золь-гель әдісін қолданды [2]. Дегенмен, органикалық еріткіштерді пайдалану және көп сатылы өңдеу технологияның экологиялық қауіпсіздігі мен өнеркәсіптік ауқымын шектейді. Сол сияқты, Mohamed & Abd-El-Nabeu жууға және механикалық жүктемелерге төзімділікті арттыратын күміс нанобөлшектері бар тұрақты гидрофобты тіндерді жасау мүмкіндігін көрсетті, бірақ әдіс сонымен қатар улы реагенттерді және күрделі химиялық өңдеуді қажет етеді [3].

Бұл зерттеуде экологиялық жоғары басымдыққа ие болды, мұнда су дисперсиясына негізделген өзін-өзі ұйымдастыратын супергидрофобты жабындар қолданылды. Бұл тәсіл органикалық еріткіштерді пайдалануды азайтады және өндіріс құнын төмендетеді, дегенмен материалдар механикалық зақымға жоғары сезімталдықты көрсетеді [4]. Қытай ғалымдары мақтаны модификациялау әдістеріне шолу жасай отырып, қазіргі заманғы тәсілдердің көпшілігі мұнайды судан тиімді бөлуге мүмкіндік беретінін, бірақ беріктігі мен тұрақтылығы шектеулі болып қалатынын атап өтті [5].

Сонымен қатар, бірқатар жұмыстар өзін-өзі тазартатын жабындарға және ұзақ уақыт жұмыс істеген кезде гидрофобты қасиеттерді сақтауға қабілетті функционалды текстиль материалдарына назар аударады. Тиімділігіне қарамастан, бұл материалдардың көпшілігі механикалық зақымға сезімтал, сонымен қатар қолданылатын химиялық қосылыстардың экологиялық аспектісін толық ескермейді [6].

Coatings журналындағы мақалада полиуретанды губканы редуцирленген графен оксидімен, $MgFe_2O_4$ магниттік нанобөлшек-

терімен және силикон майымен модификациялау арқылы супергидрофобты және магнитпен басқарылатын сорбент алу әдісі ұсынылған. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, модификацияланған губка 16–45 г/г аралығында май және органикалық сұйықтықтарды сіңіреді, жанасу бұрышы 150° -тан жоғары, яғни айқын супергидрофобтық көрсетеді. Материалдың суперолеофильдік қасиеті мұнай өнімдерін толық және тез сіңіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар губка 20 циклдан астам қайта қолданылғанда да тиімділігін жоғалтпайды және магниттік қасиеттердің арқасында су бетіне төгілген ластануды оңай жинауға болады. Бұл қасиеттер материалды практикалық қолдануға өте қолайлы етеді [7].

Бұл жұмыста ғалымдар Vtmeos@fabric гидрофобты матаны қалыпты температура мен қысымға батырудың қарапайым әдісімен жасады. VTMEOS-ты (винилтрис (2-метоксиэтокси) силан) мақта матасының бетіне тікелей жағу үшін алдымен золь-гель реакциясын қолдана отырып, teos көмегімен кремний диоксиді гидрозолын синтездеді. Модификация матаның беткі энергиясын төмендетіп, микро-нано құрылымды қалыптастырды [8].

Зерттеуде фитин қышқылы мен металл иондарының кешендері негізінде құрылым қалыптастырып, кейін полидиметилсилоксанмен модификациялау арқылы супергидрофобты беттер алудың қарапайым стратегиясы ұсынылған. Әдіс әмбебап болып табылады және тек мақта матасына ғана емес, сонымен қатар сүзгі қағазына, полиэтилентерефталат (ПЭТ) матасына және губкаға қолдануға болады. Ag^+ , Fe^{3+} , Ce^{3+} , Zr^{4+} және Sn^{4+} иондары супергидрофобты жабындарды қалыптастыруда жоғары тиімділік көрсеткен. Фитин қышқылы ультракүлгін сәулеге, жоғары температураға, органикалық еріткіштерге және механикалық тозуға төзімділігімен ерекшеленеді. Алынған супергидрофобты/ суперолеофильді мата май мен суды бөлу кезінде 99,5 %-ға дейін жоғары тиімділік көрсетті. Жалпы алғанда, ұсынылған тәсіл экологиялық қауіпсіз, экономикалық тиімді және масштабтауға оңай болғандықтан, су ортасын тазарту саласында практикалық қолдануға үлкен әлеуетке ие [9].

Осы зерттеуде супергидрофобтық және суперолеофильді меламиналық губкаларды сумұнай қоспаларын бөлу үшін қарапайым және практикалық әдіс көрсетілді. Ол үшін алдымен гидрофильді SiO_2 нанобөлшектерін гексаметилдисилазан (HMDS) силандық қосылысы арқылы модификациялау арқылы гидрофобтық

нанобөлшектер алынды. SiO₂ нанобөлшектерін модификациялауға эксперименттік айнымалылардың әсерін оңтайландыру үшін Бокс-Бенкин жоспарына (BBD) негізделген әдіс (RSM) қолданылды. Содан кейін су негізіндегі акрилді шайырды байланыстырғыш ретінде пайдаланып, оны меламиндік губканың барлық бетіне жағып, акрилді шайырға SiO₂ нанобөлшектерін шашу арқылы гидрофобтық қабат жасалды [10].

Sankaranarayanan және бірлескен авторлар (2021) Sustainable Materials and Technologies журналында жарияланған шолуда биокөміртектерді мұнай мен суды бөлуге арналған перспективалы және төзімді сорбенттер ретінде қарастырды. Олар өсімдік биомассасынан және агроөнеркәсіптік қалдықтардан алынған биокөміртектердің кеуектілігі жоғары және мұнай ластаушы заттардың тиімді адсорбциясын қамтамасыз ететін үлкен меншікті беті бар екенін атап өтті. Сонымен қатар, олар биокөміртектердің әртүрлі формаларын — биокөмірді, белсендірілген көміртекті, талшықтарды және аэрогельдерді қарастырды және олардың қайта пайдалану, төмен құны және экологиялық қауіпсіздік әлеуетін көрсетті. Осылайша, жұмыс биокөміртектердің су объектілерін мұнай ластануынан тазартуда практикалық қолдану үшін тұрақты және қол жетімді сорбенттердің перспективалы класы екенін растайды [11].

Бұл зерттеу мақта матасында гидрофобты жабынды жасау үшін күміс нанобөлшектерді (AgNPs) және мономерасканирлеуші электронды микроскоптың, 3-(триметоксисил)пропил метакрилатты (TMSPM) фторсыз силанды пайдалана отырып, батыру әдісімен жабудың қарапайым және ыңғайлы екі сатылы әдісін әзірлеуге арналған. Ылғалға қарсы қасиеттері, бетінің морфологиясы, химиялық құрамы және мақта матасының модификацияға дейінгі және кейінгі функционалдығы сәйкесінше ылғалдандырудың шеткі бұрышын өлшеу, (сканерлейтін электронды микроскопия), энергетикалық дисперсиялық рентгендік талдау (EDX) және ИҚ-Фурье спектроскопиясы арқылы жақсы зерттелген. Алынған мақта мата рН деңгейі әртүрлі ерітінділерге төзімді. Ылғалданудың шеткі бұрышының мәндері (сумен суланудың шеткі бұрышы 148,3 ± 2° және маймен суланудың шеткі бұрышы 0°) өзгертілген мақтаның маңызды гидрофобты/олеофильді қасиеттерге ие екендігін көрсетеді [12].

Бұл жұмыста тұрақты гидрофобты және олеофильді макрокеуекті Fe–Cu пленкалары электро тұндыруды коллоидты литография әдісімен біріктіретін қарапайым, арзан және экологиялық таза екі сатылы процедура арқылы жасалған. Алынған жалған реттелген торларға элементтік, морфологиялық және құрылымдық сипаттама, сондай-ақ пленканың екі түрлі құрамы үшін ылғалдандырудың шеткі бұрышын өлшеу арқылы сулануды бағалау жүргізілді. Ылғалдандырудың шеткі бұрышының өлшенген мәндері шамамен 109,0-ден 155,1° - қа дейін (беттің кез-келген функционалдығы жоқ), ал супергидрофобты үлгілерде ылғалдандырудың шеткі бұрышының гистерезисі төмен. Пленкалардың гидрофобты қасиеттерінің жоғарылауы беттің кедір-бұдырының жоғарылауымен жақсы байланысты, ал құрамдағы айырмашылықтар екінші роль атқарады [13].

Тиімді мақсатта әртүрлі майларды бөлу және өңдеу мәселелерін шешу үшін биомиметикалық супергидрофобты маталарды алу үшін бір сатылы батыру жабыны әдісі қолданылды. Көміртекті микросфералар (CMS) және кеңейтілетін графит (EG) мақта маталарының бетіне полидиметилсилоксан (PDMS) көмегімен жағылды. Мұндай маталарда статикалық сумен жанасу бұрышы (WCA) сәйкесінше 153,5° және судың сырғанау бұрышы (WSA) 8° болды. Мұндай өзгертілген маталар өзін-өзі тазартудың керемет қабілетіне ие болды. Мұнай мен суды бөлудің бірнеше циклынан кейін де C-EG-P@Cotton бөлінудің жоғары жылдамдығы мен тиімділігін сақтап қалды. Сонымен қатар, модификацияланған мақта маталарының температурасы 1000 Вт/м² Жарық қарқындылығында 70 °C-қа дейін тез көтеріліп, тұтқырлығы жоғары шикі мұнайды тез сіңіруге мүмкіндік берді. Сонымен қатар, C-EG-P@Cotton тамаша отқа төзімділікке, механикалық тұрақтылыққа, химиялық төзімділікке және ауа райына төзімділікке ие болды [14].

Зерттеуде судың липидтермен және бояғыш заттармен ластану мәселесін қарастырады және май сіңіргіштігі жоғары гидрофобты және олеофильді аэрогельдерді (CNF-Xs) алу үшін целлюлоза нанофибрине (CNV) негізделген тәсілді ұсынады. Модификатор ретінде метилтриметоксисилан (MTMS) төмен дозада қолданылады, ал аэрогельдер экологиялық таза, үнемді және технологияның қарапайымдылығын қамтамасыз ететін мұздату, кептіру әдісімен алынады.

CNF-XS аэрогелі кеуекті торлы архитектурасы бар үш өлшемді торлы құрылымға ие, тығыздығы өте төмен (0,08 г / см³) және икемділігі жоғары, деформация кезінде тұрақтылықты 80% дейін сақтайды. Сумен сулану бұрышы 133°-қа жетеді, бұл тиімді гидрофобтылықты растайды, ал әр түрлі майлар мен тағамдық майларға адсорбция қабілеті 17,82-39,41 г/г құрайды. май мен суды бөлу тиімділігі 10 циклден кейін де 98% - дан асады.

Жұмыстың жаңалығы гидрофобты аэрогельдерді алудың неғұрлым күрделі және қымбат әдістерінен ерекшеленетін модификатор мен шикізаттың төмен шығындарымен жоғары май сіңіру қабілеті мен механикалық беріктіктің үйлесімінде жатыр [15].

Қытай ғалымдары кез-келген ауа-райына төзімді өзін-өзі емдейтін супергидрофобты қабаты бар және өзін-өзі тазартудың фотокалитикалық қасиеттері бар көп функциялы маталарды құрды, олар Tiп және TiO₂-ді микроеріген полипирролды/мақта маталарына қолданды. Нәтижелер көрсеткендей, өзгертілген маталар тіпті қатал жағдайларда да супергидрофобты қасиетті сақтайды (сумен сулану бұрышы (WCA) 160,0° дейін, судың сырғанау бұрышы (WSA) 3,9° дейін), сонымен қатар абразияға төзімділік пен тұрақтылыққа ие. Маталарды иондық маринадтау арқылы супергидрофобтылығын жоғалтқаннан кейін де, супергидрофобтылықты фототермиялық немесе электротермиялық өңдеу арқылы 13 минут ішінде тез қалпына келтіруге болады.

Сонымен қатар, алынған көпфункционалды маталардың гидрофобты және олеофильді қасиеттері, сондай-ақ май мен суды бөлудің жоғары тиімділігі бар (98,8 %). Маймен ластанғаннан кейін тамшы температурасы матаның фотокалитикалық қасиеттеріне байланысты 135,0° - тан 160,0° - қа дейін төмендейді. Сонымен қатар, маталар керемет мұздан қорғайтын қасиеттерге ие. Бұл зерттеу барлық маусымдық өзін-өзі емдейтін қасиеттері бар супергидрофобты маталардың қызмет ету мерзімін ұзартудың жаңа мүмкіндіктерін ашады [16].

Нәтижелер және оларды талқылау

200 × 200 мм өлшемді маталардың үлгілері аналитикалық таразылардағы нақты массаны анықтағаннан кейін химиялық заттардың ерітіндісімен сіңдірілді, содан кейін зертханалық екі білікті плюсовкада 90% сығу процесі болды, ал кептіру ине жақтауларында жылу реттегішпен термошкафта жүргізілді. Содан кейін 150°C температурада 1 минут термоөңдеу процесі іске асты. Кептіруден және термоөңдеуден кейін үлгілер тазартылған суда жуылды, содан кейін бөлме температурасында кептірілді.

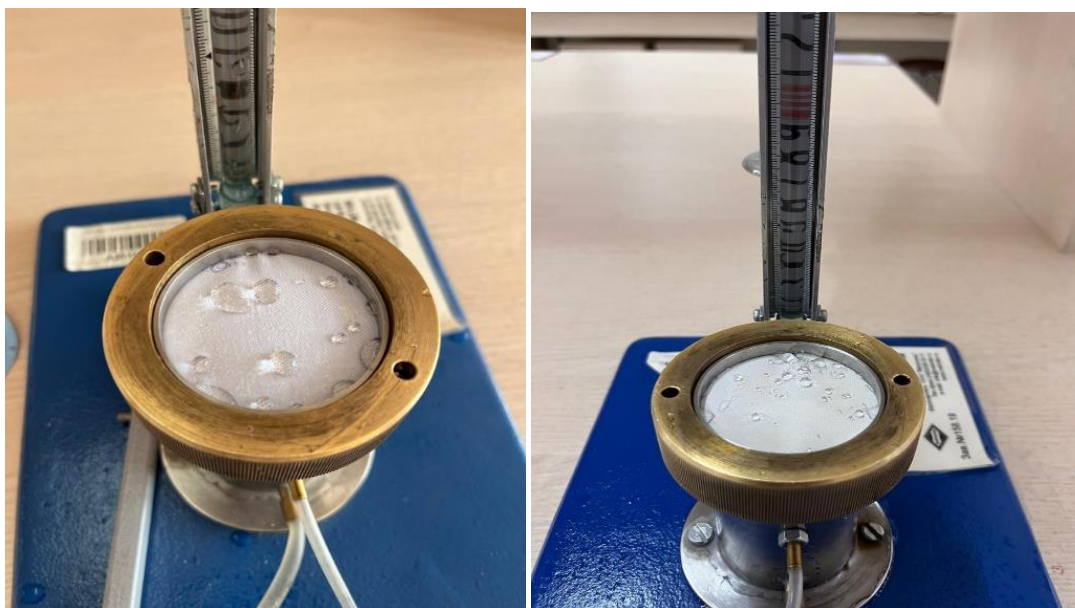
Үлгілерді сынау сынақ үлгісі үшін қажетті су қысымын қамтамасыз ететін МТ-158 пенетрометр құрылғысында жүргізілді. Текстиль материалдарының суға төзімділігін анықтау әдісі МЕМСТ 3816-81 сәйкес, беттік сулауға тұрақтылығын анықтау әдісі МЕМСТ 30292 – 96 сәйкес жүргізілді (кесте 1).

Кесте 1. Мақта матасы мен аралас матаның гидрофобты (су өткізбейтін) қасиеттерін анықтау

Көрсеткіштің атауы	Мағынасы							
	өңделмеген мақта матасы	өңделген мақта матасы			өңделмеген premier standard 250 аралас матасы	өңделген premier standard 250 аралас матасы		
		30 мл	40 мл	50 мл		30 мл	40 мл	50 мл
Маталардың беттік сулануға төзімділік қасиеттерін анықтау, %	0 %	60 %	70 %	90 %	50 %	100 %	100 %	100 %
Пенетрометр құрылғысымен суға төзімділікті анықтау	0 мм су бағанасы	90 мм су бағ.	100 мм су бағ.	110 мм су бағ.	20 мм су бағ.	230 мм су бағ.	240 мм су бағ.	260 мм су бағ.

Мақта мен аралас маталардың гидрофобты қасиеттерін зерттеу нәтижелері өңделмеген мақта матаның су өткізбейтін қасиеттерін көрсетпейтінін көрсетеді, ал химиялық өндеуден кейін беттік сулануға төзімділік 60-90%-ға дейін артады және суға төзімділік 90-110 мм су бағанына жетеді. Бастапқы күйіндегі аралас мата полиэфир талшықтарының болуына байланысты суға

төзімділіктің жоғары көрсеткіштерімен сипатталады. Модификациядан кейін бұл материал гидрофобтылықтың максималды мәндерін (100%) және су бағанының 230-260 мм дейінгі су қысымына төзімділігін көрсетеді. Нәтижелер тандалған өндеу әдісінің тиімділігін көрсетеді және текстиль материалдарының гидрофобты қасиеттерін мақсатты түрде қалыптастыру мүмкіндігін растайды (сурет 1, 2).



а

б

а – өңделген мақта матасы, б – өңделген аралас мата

Сурет 1. Пенетрометрде өңделген материалдардың гидрофобтылығының көрсеткіштері



а

б

а – өңделген мақта матасы, б – өңделген аралас мата

Сурет 2. Өңделген маталардың беттік сулануға төзімділік қасиеттерінің көрсеткіштері

Өңделген үлгілерде су бетіне жайылмай тұрақты тамшылар түзеді, бұл айқын гидрофобты қасиеттерді көрсетеді. Сонымен қатар, өңделмеген маталарда су материалға тез сіңіп, олардың жоғары гидрофильділігін көрсетеді. Бұл айырмашылықтар модификацияланған текстиль материалдарының бетінде

біркелкі гидрофобты қабаттың пайда болуын растайды.

Маталардың олеофильді қасиеттері МЕМСТ 33627 - 2015 сәйкес адсорбцияланатын зат ретінде мұнай өнімін қолдану арқылы анықталды (сурет 3).



а

б

а, б – өңделген мақта матасы

Сурет 3. Өңделген текстиль материалдарының мұнай өнімін сіңіріп, суды итеруі

Қажетті өңделген материалдарды және оларға қажетті қасиеттерді (гидрофобты және олеофильді) алғаннан кейін, әзірленген материалдардың қаншалықты мұнай өнімін сіңіретінін

тексеру ғана қалады. Ол үшін МЕМСТ 33627 - 2015 бойынша сынақ өткізілді. Нәтижелері кесте 2,3-те көрсетілген.

Кесте 2. Мақта матасының мұнай өнімін сіңіру бойынша сараптама

№	Концентрация			Мұнай өнімін сіңіру бойынша сараптама, гр		
	Калий метилсили конаты, мл	Натрий силикаты, мл	Лимон қышқылы, г	Сіңіру уақыты - 15 мин		
				Мұнаймен өңделмеген мақта матасы	Мұнаймен өңделген мақта матасы	Мұнай өнімінің адсорбциялануы
1	30	20	10	1,5689	4,8892	2,12
2	40			1,75	4,85	1,77
3	50			1,6879	4,4121	1,61

Бірінші концентрация бойынша мұнаймен өңделмеген мақта матасының бастапқы салмағы = 1,6972 г.

Бірінші концентрация бойынша мұнаймен өңделген мақта матасының салмағы = 4,6168 г.

Мұнда:

$S_s = (S_{ST} - S_0) = 4,8892 - 1,5689 = 3,3203$ г - адсорбцияланған мұнай өнімінің массасы.

Мұнай өнімінің адсорбциялануы $m = \frac{S_s}{S_0}$,

демек

$m = 3,3203 / 1,5689 = 2,12$

Кесте 3. Аралас матаның мұнай өнімін сіңіру бойынша сараптама

№	Концентрация			Мұнай өнімін сіңіру бойынша сараптама, гр		
	Калий метилсили конаты, мл	Натрий силикаты, мл	Лимон қышқылы, г	Сіңіру уақыты - 15 мин		
				Мұнаймен өңделмеген аралас матасы	Мұнаймен өңделген аралас матасы	Мұнай өнімінің адсорбциялануы
1	30	20	10	3,2304	4,7292	0,46
2	40			3,3356	4,8504	0,45
3	50			3,9234	5,7802	0,47

Бірінші концентрация бойынша мұнаймен өңделмеген аралас матасының бастапқы салмағы = 3,2304 г;

Бірінші концентрация бойынша мұнаймен өңделген аралас матасының салмағы = 4,7292 г;

Мұнай өнімінің адсорбциялануы $m=0,46$

Текстиль материалдарын химиялық өңдеу олардың мұнай өнімдерін сорбциялау қабілетінің айтарлықтай артуына әкеледі. Өңделген мақта матасы целлюлоза талшықтарының белсенді функционалды топтарының көптігіне байланысты аралас матамен салыстырғанда жоғары адсорбциялық қабілетімен сипатталатыны анықталды. Модификациялаушы компоненттердің концентрациясының жоғарылауы материалдарды мұнай сіңірудің өсуіне ықпал етеді. Нәтижелер олеофильді текстиль сорбенттерін алудың әзірленген әдісінің тиімділігін растайды.

Қорытынды

Бұл жұмыста гидрофобты және олеофильді қасиеттерді беру мақсатында текстиль материалдарын өзгерту үшін натрий силикаты, лимон қышқылы, калий метил-силиконаты негізіндегі золь-гель технологиясын қолдану зерттелді.

Суға төзімділікті анықтау үшін судың қысымын өлшейтін МТ-158 пенетрометрі қолданылды. Гигроскопиялық МЕМСТ 3816-81 сәйкес бағаланды, беттік сулануға төзімділік МЕМСТ 30292-96 бойынша МТ – 032 құрылғысына шашырау әдісімен, ал адсорбциялық белсенділік МЕМСТ 33627-2015 бойынша бағаланды.

Нәтижелер текстиль материалдарын өңдеу олардың беткі қасиеттерін айтарлықтай өзгертуге, гидрофобтылық пен олеофильділікті арттыруға, сондай-ақ мұнай өнімдеріне қатысты сорбциялық қабілетін арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетті. Талшықтардағы белсенді функционалды топтардың жоғары концентрациясына байланысты мақта маталары ең

жоғары тиімділікті көрсетті. Сонымен қатар, модификациялық компоненттердің концентрациясы мен материалдың қасиеттерінің өзгеру деңгейі арасында байланыс орнатылды, бұл модификация процесінің басқарылуын растайды.

Жұмыстың әрі қарай дамыту болашағы өзгертетін ерітінділердің құрамын оңтайландыруды, өңделген материалдардың беріктігін зерттеуді және өндірістік және экологиялық міндеттер үшін функционалды маталардың жаңа түрлерін әзірлеуді қамтиды. Алынған нәтижелер текстиль сорбенттерін және қоршаған ортаны тазарту және қорғау мәселелерін тиімді шешуге қабілетті басқа да функционалды материалдарды өндіруге енгізілуі мүмкін.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған (Грант № AP26195961 «Арнайы қасиеттері бар жаңа текстиль материалдарын алу технологиясын жасау»).

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Gupta R. K. Dunderdale G. J. England M. W. Hozumi A. Oil/water separation techniques: a review of recent progresses and future directions. Journal of Materials Chemistry. 2017. - A 5 (31), 16025–16058. <https://doi.org/10.1039/C7TA02070H>
- Zhang L., Zhong Y., Wang P. Fabrication of superhydrophobic and superoleophilic textiles for oil-water separation // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 284. – P. 464–471. – <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.07.120>
- Mohamed M.E., Abd-El-Nabey B.A. Fabrication of durable superhydrophobic/ oleophilic cotton fabric for highly efficient oil/water separation // Water Science & Technology. – 2021. – DOI: 10.2166/wst.2020.562
- Yang K., Wu Y., Gong X. Ecofriendly superhydrophobic fabrics for ultra-fast oil/water separation by self-assembly // Surface and Coatings Technology. –

2023. – Vol. 474. – Article 130124. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.130124>

5. Lin T.-C., Lee D.-J., Du J. Cotton fabrics modified for use in oil/water separation: a perspective review // *Cellulose*. – 2021. – Vol. 28. – P. 4575–4594. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03850-6>

6. Liu Y., Ma J., Wu T. Recent advances in functionalized textiles for oil/water separation // *Journal of Materials Chemistry A*. – 2019. – Vol. 7. – P. 6416–6432. <https://doi.org/10.1039/C9TA00992J>

7. Rabiga Kudaibergenova, Yerzhigit Sugurbekov, Gulzat Demeuova, Gulnar Sugurbekova. Facile Fabrication of High-Performance Super-hydrophobic Reusable Oil-Absorbing Sponges // *Journal Coatings*. – 2023. - 13(10). – P.1777. <https://doi.org/10.3390/coatings13101777>

8. Abdul Saeed, Z. A Rehan, Deyi Zhan, Muhammad Zahid, Qi Hu, Asif Ali Haider, Suman Tahir, Weihong Xu, Jinhuai Liu. A facile approach for making superhydrophobic cotton fabric membrane for oil water separation // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2023. - Volume 678. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.132478>

9. Cailong Zhou, Zhaodan Chen, Hao Yang, Kun Hou, Xinjuan Zeng, Yanfen Zheng, Jiang Cheng. Nature-Inspired Strategy toward Superhydrophobic Fabrics for Versatile Oil/Water Separation // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2017. – P. 9184–9194. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b00412>

10. Hossein Kazemi Meresht, S.Siamak Ashraf Talesh, Reza Mahdavi. Fabrication of superhydrophobic and super-oleophilic melamine sponge functionalized by acrylic resin/silica nanoparticles for oil/water selective separation: A RSM@BBD optimization approach // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2025. -Volume 13, Issue 3. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.117027>

11. Sivashunmugam Sankaranarayanan, Duraikkannu Shanthana Lakshmi, Singaravelu Vivekanandhan, Chawalit Ngamcharussrivichai. Biocarbons as emerging and sustainable hydrophobic/

oleophilic sorbent materials for oil/water separation // *Sustainable Materials and Technologies*. – 2021. - Volume 28. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00268>

12. Sukanta Pal, Sourav Mondal, Prasanta Pal, Ajit Das, Jayanta Maity. Fabrication of AgNPs/Silane coated mechanical and washing durable hydrophobic cotton textile for self-cleaning and oil-water separation application // *Journal of the Indian Chemical Society*. – 2022. - Volume 99, Issue 1. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100283>

13. Evangelia Dislaki, Juho Pokki, Salvador Pané, Jordi Sort, Eva Pellicer. Fabrication of sustainable hydrophobic and oleophilic pseudo-ordered macroporous Fe–Cu films with tunable composition and pore size via electrodeposition through colloidal templates // *Applied Materials Today*. – 2018. - Volume 12. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2018.03.007>

14. Ximeng Lv, Ying Song, Zhishuang Han, Zhenlin Tang, Haidi Li, Mengru Zhang, Xinqiang Wu, Zaihang Zheng, Yan Liu, Wenjing Tang. Bio-inspired, recycled and durable construction of superhydrophobic /oleophilic cotton fabrics with excellent oil/water separation ability based on dual carbon materials // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2025. - Volume 201, Part A. – 107504. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107504>

15. Wang, Wei, Gao, Jiannan, Pei, Xiaohan, Lu, Xin, Sun, Yinyin, Wu, Jianbing. Fabrication and oil-water separation efficiency of cellulose/ methyltrimethoxysilane aerogel // *Fangzhi Xuebao/Journal of Textile Research*. – 2025. – P. 135 – 142. DOI: 10.13475/j.fzxb.2024040440

16. He, Hong-Bei, Cai, Chao-Chen, Zhu, Qing-Kai, Li, Ting-Ting, Lou, Ching-Wen, Lin, Jia-Horng, Ren, Hai-Tao. Robust multifunctional superhydrophobic and photocatalytic composites with all-weather self-healing ability // *Materials Today Communications*. – 2024. – Volume 41. - Article number 110581. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.110581>