

Өнеркәсіптік өндіріс қалдықтары негізінде өндірілетін белсендірілген көмірді алу технологиясы және физика-химиялық сипаттамалары

С.В. Нечипуренко^{1,2}, Д.Ә. Аманкелді¹,
А.Ж. Аликулов^{1,2*}, Н.А. Забара^{1,2},
Б.Б. Ермухамбетова^{1,2}, С.А. Ефремов^{1,2},
Г.А. Мун^{1,2}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Қазақстан Республикасының Ұлттық инженерлік академиясы, Алматы, Қазақстан

*e-mail: alikulov.adilet@gmail.com

Жұмыста «Шұбаркөл көмір» АҚ арнайы кокстың өнеркәсіптік өндірісінің қалдығы болып табылатын кондициясыз ұсақ түйіршікті көміртекті фракциялардан түйіршіктелген белсендірілген көмір алу технологиясының ерекшеліктері қарастырылды. Түйіршіктеу, карбонизациялау және белсендіру әдістері мен режимдерімен қатар, арнайы кокстың өнеркәсіптік өндірісінің қалдықтары негізінде белсендірілген көмір алудың технологиялық сызбанұсқасы әзірленді. Алынған мақсатты көміртекті материалдардың физика-химиялық сипаттамалары мен құрылымын бағалау жүргізілді.

Құрамында 60% кокс ұнтағы, 35% байланыстырғыш зат, 5% химиялық белсендіргіш агент бар кокс ұнтақтары негізінде түйіршіктелген және ұнтақты белсендірілген көмірлер алынды. Белсендіру үдерісінің температураға тәуелділігі анықталды. Адсорбциялық-құрылымдық талдау әдістерімен белсендірілген көмірдің құрылымы зерттелді, саңылаулардың мөлшері 2-ден 32 нм-ге дейінгі мезокеуектерді қамтитын дамыған кеуекті құрылымның болуы көрсетілді.

Түйін сөздер: көміртекті материалдар; белсендірілген көмір; сорбциялық сипаттамалар; белсендіру; кокс ұнтағы; құрылымдық сипаттамалар.

Технология получения и физико-химические характеристики активированного угля, производимого на основе отходов промышленного производства

С.В. Нечипуренко^{1,2}, Д.Ә. Аманкелді¹,
А.Ж. Аликулов^{1,2*}, Н.А. Забара^{1,2},
Б.Б. Ермухамбетова^{1,2}, С.А. Ефремов^{1,2},
Г.А. Мун^{1,2}

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

*e-mail: alikulov.adilet@gmail.com

В работе рассмотрены особенности технологии получения гранулированного активированного угля из некондиционных мелкозернистых углеродных фракций, являющихся отходом промышленного производства спецкокса АО «Шубарколь комир». Разработана технологическая схема получения активированного угля на основе отходов промышленного производства спецкокса, включая методы и режимы грануляции, карбонизации и активации. Проведена оценка физико-химических характеристик и структуры полученных целевых углеродных материалов.

Получены гранулированные и порошковые активированные угли на основе коксовой мелочи с составом: 60% коксовая мелочь, 35% связующее вещество, 5% химический активирующий агент. Определены температурные зависимости процесса активации. Методами адсорбционно-структурного анализа изучена структура активированного угля, показано наличие развитой пористой структуры, включающей мезопоры с размером щелей от 2 до 32 нм.

Ключевые слова: углеродные материалы; активированный уголь; сорбционные характеристики; активация; коксовая мелочь; структурные характеристики.

Technology of production and physicochemical properties of activated carbon derived from industrial waste

S.V. Nechipurenko^{1,2}, D.A. Amankeldi¹,
A.Zh. Alikulov^{1,2*}, N.A. Zabara^{1,2},
B.B. Ermukhambetova^{1,2}, S.A. Efremov^{1,2},
G.A. Mun^{1,2}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: alikulov.adilet@gmail.com

This study examines the specific features of the production technology of granular activated carbon obtained from substandard fine-grained carbon fractions, which are by-products of the special coke industrial production at JSC «Shubarkol Komir.» A technological scheme was developed for producing activated carbon based on this industrial waste, including the methods and conditions for granulation, carbonization, and activation. The physicochemical properties and structural characteristics of the resulting target carbon materials were evaluated.







Granular and powdered activated carbons were produced from coke fines with the following composition: 60% coke fines, 35% binder, and 5% chemical activating agent. The temperature dependencies of the activation process were determined. Using adsorption-structural analysis methods, the structure of the activated carbon was studied, revealing a well-developed porous structure that includes mesopores with slit sizes ranging from 2 to 32 nm.

Keywords: carbon materials; activated carbon; sorption properties; activation; coke fines; structural characteristics.



Мақала (Article)

Өнеркәсіптік өндіріс қалдықтары негізінде өндірілетін белсендірілген көмірді алу технологиясы және физика-химиялық сипаттамалары

С.В. Нечипуренко^{1,2} , Д.Ә. Аманкелді¹, А.Ж. Аликулов^{1,2*} , Н.А. Забара^{1,2} ,
Б.Б. Ермухамбетова^{1,2} , С.А. Ефремов^{1,2} , Г.А. Мун^{1,2} 

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даң. 71, Алматы 050040, Қазақстан

²Қазақстан Республикасының Ұлттық инженерлік академиясы, Бөгенбай батыр көш. 80, Алматы 050010, Қазақстан

*e-mail: alikulov.adilet@gmail.com

1. Кіріспе

Заманауи өндірістердің өзекті міндеті техногендік қалдықтарды кешенді пайдалану және қалдықсыз технологияларды әзірлеу болып табылады [1]. Соңғы жылдары өнеркәсіптік қалдықтарға деген көзқарас айтарлықтай өзгерді және олар екіншілік материалдық ресурстар ретінде қарастырыла бастады. Құрамында көміртек бар материалдарды өңдеу кезінде пайда болатын көміртек қалдықтарына ерекше назар аударылады [2]. Белсенді көмір өндірісінде белсендірудің екі негізгі әдісі кеңінен қолданылады: физикалық және химиялық белсендіру [3-5]. Екі әдіс те көміртекті материалдардың кеуекті құрылымын құруға бағытталған [6], бұл олардың адсорбциялық қасиеттерін едәуір арттырады, бірақ олар әртүрлі принциптер мен технологияларға негізделген [7-9].

Өңдеудің өзекті нысандарының бірі – кокс-химия өндірісінің қалдықтары, атап айтқанда арнайы кокс ұнтағы – дәстүрлі технологиялық сызбанұсқаларда қолданылмайтын кондициялық емес фракциялар. Бұл материалды белсендірілген көмірді алу процестеріне тарту экологиялық және экономикалық тұрғыдан ұтымды тәсіл болып табылады. Оны шикізат ретінде пайдалану өнімнің өзіндік құнын төмендетуге, қалдықтарды көму көлемін азайтуға, сондай-ақ сорбциялық материалдардың шикізат базасын кеңейтуге ықпал етуі мүмкін.

Осы жұмыста берілген сипаттамалары бар сорбциялық материалдарды алу мақсатында арнайы кокс өндірісінің қалдығы болып табылатын «Шұбаркөл көмір» АҚ (Қарағанды облысы, ҚР) кондициялық емес көміртек өнімін қайта өңдеу тәсілдері қарастырылады.

2. Тәжірибелік бөлім

«Шұбаркөл көмір» АҚ кокс-химия цехының кондициялық емес көміртекті өнімі жалпы коксты сұрыптау, құрғақ сәндіру, шамадан тыс жүктеме және ұсақтау нәтижесінде пайда болатын кокс ұнтағы болып табылады, оның фракциялық құрамы 10 мм-ден аз агломераттардан тұрады. Материалдардың дисперсиялық құрамы мен ұсақталу индексін анықтау үшін фракциялар бойынша електен талдау жасалды. Зерттеулер арнайы кокстың өкілдік сынамасында жүргізілді, көлемі: 9,0 дм³ МШЛ-7 шар диірменінде мөлшері минус 10 мм, шар жүктемесінің жалпы салмағы 5,4 кг, шарлардың диаметрі 3,7-ден 15,0 мм-ге дейін. Ұсақталған өнімді електен шығару 4-тен 0,074 мм-ге дейін жүргізілді. Содан кейін дайын өнім кептірілді, өлшенді және бастапқы өлшендіден айырмашылығы бойынша өлшенді електегі қалдықтың шығымы +0,074 мм анықталды. Содан кейін оған салмағы бойынша бастапқы материал өлшендінің қабылданған қатынасына дейін қосылды: су, ол 1:3 болды. Осылайша дайындалған диірменнің қуаты келесі ұнтақтау цикліне енгізілді. Ұнтақтау ұзақтығы диірмен барабанының айналу жылдамдығымен өлшенді. Барабанның айналу жиілігі 73 мин⁻¹. Егер айналымдағы жүктеменің 250-270%-ы үшін қажетті массаға жақын дайын өнімнің шығуы қамтамасыз етілсе, тұйық циклді сынақ тұрақты болып саналады. Ұсақтау индексін анықтау бойынша сынақ нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Ұнтақтау көрсеткіштері тұрақтанғаннан кейін дайын өнімнің гранулометриялық сипаттамасы анықталды (2-кесте).

Received 13 Apr 2025; Received in revised form 10 Jun 2025; Accepted 12 Jun 2025; Available online 29 Jun 2025.

© 2025 The Authors

This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1-кесте – Ұнтақтау индексін анықтау бойынша сынақ нәтижелері

Ұнтақтау циклдері	1 циклдегі диірмен айналым-дарының саны	Циклдерде пайда болған материал саны -0,074 мм, г	Електегі қалған материал +0,074 мм, г	Айналым жүктемесі, %
1	145	230,0	770,0	335
2	325	205,0	795,0	388
3	425	260,0	740,0	285
4	438	275,0	725,0	264
5	438	272,0	728,0	268
6	438	271,5	728,5	268

2-кесте – Бастапқы және дайын ұнтақтау өнімдерінің гранулометриялық сипаттамасы

Бастапқы өнім			Дайын өнім			
Електің өлшемі, мм	Електе қалған класстардың шығымы, %		Електен өткен класстардың жиынтық шығымы, %	Електе қалған класстардың шығымы, %		Електен өткен класстардың жиынтық шығымы, %
	жеке	жиынтық		жеке	жиынтық	
-4,5+1,0	62,0	62,0	100	10,02	10,02	100,00
-1,0+0,5	13,0	75,0	38,0	5,11	15,13	89,98
-0,5+0,2	11,6	86,6	25,0	25,05	40,18	84,87
-0,25+0,15	7,4	94,0	13,4	10,74	50,92	59,82
-0,12+0,07	4,0	98,0	6,0	21,47	72,39	49,08
-0,07+0,04	1,8	99,8	2,0	14,83	87,22	27,61
-0,04+0,03	0,2	100,0	0,2	12,78	100,00	12,78
Жалпы:	100,0			100,0		

Кокс ұнтағының құрылымы мен физика-химиялық қасиеттерін техникалық талдау оның сапасын бағалаудың бірқатар әдістерін қамтиды.

Жұмыстың бастапқы кезеңі шикізаттың бірқатар стандартты сипаттамаларын анықтауды қамтиды. Механикалық төзімділік ГОСТ 16188-70 [10] және ГОСТ 6217-74 [11] бойынша, күлділік – ГОСТ 12596-67 [12] сәйкес, ылғалдылық – ГОСТ 12597-67 әдістемесі бойынша [13], ұшқыш заттардың шығымы – ГОСТ Р 55660-2013 [14] бойынша бағаланды. Адсорбциялық белсенділік йод саны бойынша ГОСТ 33618-2015 [15] сәйкес және метилен көгі (ГОСТ 4453-74) [16] бойынша анықталды, бұл кокс ұнтағының беткі қасиеттерін жан-жақты сипаттауға мүмкіндік берді. Құрылымдық және морфологиялық ерекшеліктер сканерлеуші электронды микроскопияны қолдану арқылы (Quanta 3D 200i, FEI, АҚШ) [17], ал текстуралық сипаттамалары Nova 3200e (Quantachrome Instruments, АҚШ) аспабында 77 К температурада азотты адсорбциялау-десорбциялау деректері бойынша ВЈН-моделін пайдалана отырып, БЭТ әдісімен зерттелді [18].

2.1 Кокс ұнтағы/шаңы негізінде түйіршіктелген сорбенттерді алу әдістемесі

Кокс ұнтағынан түйіршікті сорбенттерді алу үдерісі бастапқы шикізатты дайындаудан басталады. Кокстың ұсақ

фракциялары белгілі бір минералогиялық құрылымға ие, бұл кокстың ұсақ бөлшектерінен алынған дайын өнімнің қажетті адсорбциялық сипаттамаларына қол жеткізуді қиындатады. Алдын ала карбонизацияны қамтитын дәстүрлі әдістермен белсендірілген көмірді алу тәжірибелерінде [19], содан кейін 850-900°С температурада өткір су буымен белсендірілгенде, негізгі адсорбциялық сипаттамалар: йод саны, меншікті адсорбциялық бет, кеуектілік көміртеккі материалдардан алынған сорбенттерге арналған стандартты талаптардан төмен екендігі анықталды [30]. Осыған байланысты химиялық агенттермен де, бу-ауа агенттерімен де аралас белсендіруді қолдана отырып, берілген нысандағы агломераттарды алу мен өңдеудің технологиялық сызбанұсқасын өзгерту туралы шешім қабылданды.

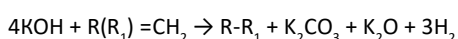
Бастапқы шикізатты дайындау МШЛ-7 шар диірменінде ұнтақтау және кейіннен елеу арқылы қол жеткізілген <0,071 мм бөлшектердің мөлшеріне дейін фракциялауды қамтиды. Содан кейін алынған ұнтақты 60:40 массалық қатынасында көмір пекімен (ГОСТ 10200-2017 [20]) араластыру жүргізілді. Белсендіргіш реагенттің біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін КОН сулы ерітіндісінің бір бөлігі (38 мас.%) тікелей пекке қосылды, содан кейін барлық пастаны илеу кезінде сілтінің қалған мөлшері қосылды. Араластыру жақсы қалыпталатын

біртекті масса алынғанша 30-40 мин бойы жүргізілді. Түйіршіктеу диаметрі 1-4 мм иіргіштері бар бұрандалы түйіршікте орындалды. Қалыптасқан түйіршіктер 90-110°C температурада 1,5 сағат бойы кептірілді.

Алынған үлгілер екі сатылы термиялық өңдеуге ұшырады: 450°C температурада карбонизация және GSL-1100X ағынды пиролиз пешінде 850°C температурада өткір су буымен белсендіру. Қызып кеткен буды беру 3,5-4,0 л/кг шығынмен қамтамасыз етілді, реакция аймағына кіру температурасы 260°C болды.

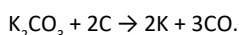
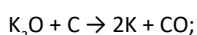
Калий гидроксидімен (KOH) құрамында көміртек бар бастамашыны белсендіру механизмі келесі кезеңдерді қамтиды:

1) калий карбонатының түзілуімен жүретін дегидрлеу:



2) көміртек диоксидінің бөлінуімен және C-OK фрагментімен беттік құрылымдардың түзілуімен жүретін 450-500°C кезінде K_2CO_3 көмірмен әрекеттесуі;

3) реакциялар бойынша 650-700°C температурада металл калийдің түзілуі:



Жалпы жағдайда сілтілік белсендірудің механизмдері үш негізгі үдерісті қамтиды:

1) беттік функционалдық топтардың MOH-пен әрекеттесуі нәтижесінде аралық өнімдер – C–O–M тобы бар беттік құрылымдар түзілуі;

2) олардың көміртекпен, әсіресе графендердің шеткі бөліктеріндегі көміртек атомдарымен жүретін реакцияларында металлқұрамды қосылыстарға (негізінен M_2CO_3 және M_2O) айналуы;

3) M_2CO_3 және M_2O қосылыстарының металл M-ге дейін қалпына келуі, бұл металл кристаллиттердің қабатаралық кеңістіктеріне интеркаляцияланады.

Бұл үдерістер микрокеуекті құрылымның дамуымен және меншікті беттің ұлғаюымен қатар жүрді.

Осылайша, кокстық шаң негізінде белсендірілген көмір алу үшін ұсынылған технологиялық сызбанұсқаға сәйкес, таңдалған әдістемелер жиынтығы өнеркәсіптік маркалардағы белсендірілген көмірлерге қойылатын

талаптарға сай сипаттамалар алу үшін жеткілікті екені атап өтіледі.

3. Нәтижелер және оларды талқылау

Зерттеу нәтижелері кокстық қалдықтарды белсендірілген көмірлер мен басқа да көміртекқұрамды материалдарды алу үшін екінші ретті шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл кокс-химия өнеркәсібінде қалдықсыз технологияларды дамытуға ықпал етеді.

3.1 Түйіршіктелген белсендірілген көмірлердің физика-химиялық көрсеткіштері

Жұмыс барысында зерттелетін белсендірілген көмірдің тозуға төзімділігі мен кокос жаңғағы қабығына негізделген екі коммерциялық үлгіні салыстыру жүргізілді (RPMC 1004 және Haucarb YAO-60). 3-кестеде көмірді шламдардан жуу бойынша сынақтардың нәтижелері келтірілген. Кокс ұнтағына негізделген үлгі анықтамалық материалдармен (0,08-0,09%) салыстырғанда бөлшектердің 0,63 мм-ден (1,32%) аз үлесін көрсетті, бұл механикалық деструкцияның рұқсат етілген деңгейін көрсетеді.

3-кесте – Белсендірілген көмірлерді 0,63 мм електе шламдардан тазарту сынағының нәтижелері

Көмір маркасы	Көмірдің түйіршіктілік бойынша массалық үлесі, %	
	0,63 мм-ден ірі	0,63 мм-ден ұсақ
Түйіршіктелген белсендірілген көмір Haucarb, RPMC1004	96,68	1,32
Haucarb, RPMC1004	99,91	0,09
Haucarb YAO-60	99,92	0,08

Тозудың сәл жоғары дәрежесіне қарамастан, кокс негізіндегі көмірдің механикалық сипаттамалары сүзу жүйелерінде қолданылатын сорбенттер үшін қалыпты шектерде. Бұл осы материалды функционалды түрде жарамды деп санауға мүмкіндік береді.

4-кестеде бастапқы шикізат – кокстық ұнтақ пен алынған белсендірілген көмірлердің физика-химиялық сипаттамаларының орташа нәтижелері келтірілген.

4-кесте – Физика-химиялық қасиеттердің жиынтық кестесі

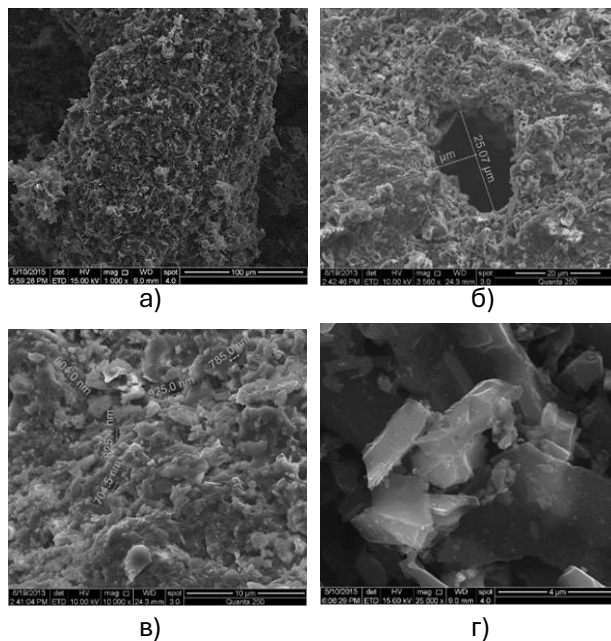
Физика-химиялық қасиеттері	Су бойынша жиынтық көлем, см ³ /г	W_2 Ылғалдың массалық үлесі, %	$S_{уд}$ меншікті беткі аудан, м ² /г	X Йод саны, %	A_d Күлділік, %	V_{daf} Ұшқыш заттардың массалық үлесі, %	Механикалық (құрылымдық) беріктік, %
Түйіршіктелген белсендірілген көмір	1,4	0,7	300	42,3	9,3	9,2	98,6
Кокс ұнтағы, фр 1-4 мм	-	0,2	12	6,9	7,2	6,2	99,3

Кокстық ұнтақ негізінде алынған белсендірілген көмірдің физика-химиялық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері алынған үлгілердің жоғары меншікті беткі ауданға ие екенін көрсетті, бұл олардың тиімді адсорбциялық қасиеттерін қамтамасыз етеді. Микрокеуектер мен мезокеуектерді қамтитын дамыған кеуекті құрылым көмірдің сорбциялық сыйымдылығын арттырып, әртүрлі өлшемдегі молекулаларды тиімді ұстап тұруға мүмкіндік береді. Үлгілер ылғалдылық пен ортаның рН деңгейі сияқты әртүрлі пайдалану жағдайларында тұрақты сорбциялық қасиеттерін көрсетеді, бұл оларды сұйық орталарды тазалау процестерінде қолдануға лайық етеді. Үлгілердің жоғары механикалық беріктігі оларды өнеркәсіптік сүзу және тазарту жүйелерінде қолдануға қолайлы етеді, өйткені мұндай жағдайларда көмір айтарлықтай механикалық жүктемелерге ұшырайды. Өндіріс кезінде қолданылған термиялық өңдеу ұшқыш заттардың массалық үлесінің төмен болуын және көмір құрылымының жоғары тұрақтылығын қамтамасыз етіп, оны пайдалану барысында термиялық өзгерістерге төзімді етеді.

3.2 Белсендірілген көмірлердің құрылымдық және элементтік талдауы

Кокстық ұнтақ негізінде алынған белсендірілген көмірдің морфологиялық ерекшеліктерін СЭМ әдісімен зерттеу нәтижесінде оның аморфты, борпылдақ беткі құрылымға ие екені анықталды, бұл құрылымда 600 нм-ден 25 мкм-ге дейінгі макрокеуектер жүйесі жақсы дамыған. $\times 25\,000$ есе үлкейткенде мезокеуекті құрылымды түзетін көміртекті пластиналар байқалды (1-сурет).

Брунауэр, Деминг және Теллер (БЭТ) классификациясына сәйкес, адсорбция изотермалары алты негізгі түрге (I-VI) бөлінеді [32-36], олардың әрқайсысы адсорбенттің құрылымы мен қасиеттерін сипаттайды.

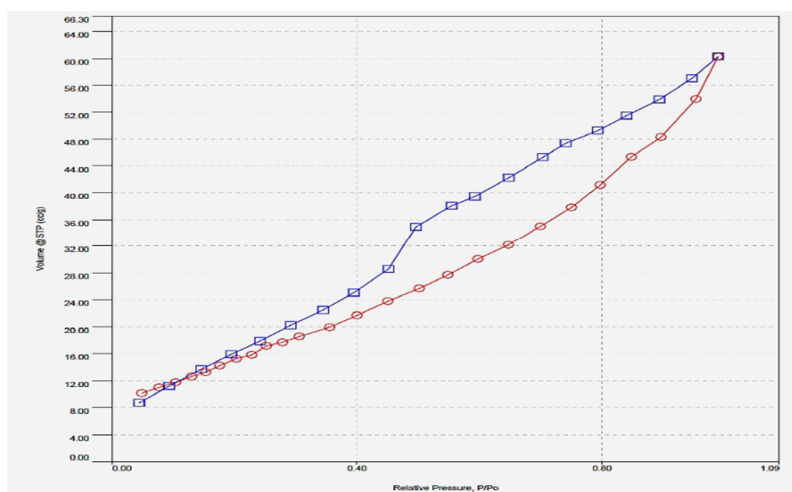


а) $\times 1\,000$ үлкейту; б) $\times 3\,560$ үлкейту; в) $\times 10\,000$ үлкейту; г) $\times 25\,000$ үлкейту

1-сурет – Белсендірілген көмірдің әртүрлі үлкейту деңгейіндегі СЭМ микрофотосуреттері

Адсорбция және десорбция изотермалары 2-суретте көрсетілген.

Изотермада мезокеуекті материалдарға тән гистерезис ілмегінің болуы анық байқалады. Төмен салыстырмалы қысым аймағы ($p/p < 0,05$) шектеулі түрде ұсынылғанымен, қысық пішіні мен гистерезистің болуы IUPAC [29] классификациясына сәйкес изотерманың IV типке жататындығын растайды (2-сурет).



2-сурет – Белсендірілген көмірлер үшін алынған адсорбция изотермалары

5-кесте – Сорбенттердің физика-химиялық қасиеттері бойынша салыстырмалы сипаттамасы

Физика-химиялық қасиеттері	Кокс ұнтағы	Түйіршіктелген белсендірілген көмір	Белсендірілген көмір (ағаш)	Белсендірілген көмір (қабық)
Кеуектердің көлемі, см ³ /г	–	1,4	0,6	0,7
Ылғалдылық, %	0,2	0,7	2,0	1,0
Меншікті беті, м ² /г	12	300	700	1000
Йод саны, %	6,9	42,3	75	85
Күлділік, %	7,2	9,3	6,5	5,5
Ұшқыш заттар, %	6,2	9,2	8,5	8,0
Механикалық беріктілік, %	99,3	98,6	95	97

БЭТ (Брунауэр, Эмметт және Теллер) әдісімен жүргізілген адсорбциялық талдау үлгінің меншікті беткі ауданының 245 м²/г екенін көрсетті. Баррет-Джойнер-Халенда (БДХ) әдісі бойынша 17-25 нм аралығындағы тар кеуек үлестірімі расталды.

Алынған сорбенттің тиімділігін бағалау үшін оның физика-химиялық қасиеттеріне өнеркәсіптік өндірілген ағаш негізіндегі белсендірілген көмірмен [30] және қабықпен [31] салыстырмалы талдау жүргізілді. Нәтижелер 5-кестеде келтірілген.

4. Қорытынды

«Шұбаркөл көмір» АҚ кокс-химия цехының кондициялық емес арнайы кокс ұнтағы негізінде құрамында 60% кокс ұнтағы, 35% байланыстырғыш (таскөмір шайыры, ГОСТ 10200-2017), 5% химиялық белсендіруші агент (КОН, ГОСТ 24363-80) және 12% техникалық су (стехиометриялық мөлшерден артық) бар түйіршіктелген және ұнтақ тәрізді белсендірілген көмірлер алынды. Үдерістің температуралық тәуелділіктері анықталды.

Алынған түйіршіктелген белсендірілген көмірдің физика-химиялық параметрлері анықталды: себілмелі

тығыздығы – 0,71 кг/м³, ылғалдылығы – 0,7%, йод бойынша адсорбциялық сыйымдылығы – 42,3%, судың негізінде анықталған кеуектердің жиынтық көлемі – 1,4 см³/г, беріктігі – 98,6%, меншікті беткі ауданы – 300 м²/г, су экстрактісінің рН мәні – 10, күлдің массалық үлесі – 9,3%, ұшқыш заттардың массалық үлесі – 9,2%, метилен көгі бойынша сорбциялық сыйымдылығы – 180 мг/г.

Алынған белсендірілген көмірдің құрылымы зерттелді. Нәтижесінде, үлгілердің жақсы дамыған кеуекті құрылымға ие екені анықталды, ол негізінен саңылау тәрізді мезокеуектермен сипатталады, олардың басым көпшілігінің өлшемі 2-32 нм аралығында орналасқан.

Алынған нәтижелер түйіршіктелген белсендірілген көмірді өнеркәсіптік деңгейде сулы орталардан ластаушы заттарды сорбциялау және рекуперациялау үдерістерінде қолдануға ұсынуға мүмкіндік береді.

Алғыс

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (Грант № BR21882289).

Дебиеттер

- Chentsova LI (2012) Purification and processing of industrial emissions and waste: textbook. Stipend [Ochistka i pererabotka promyshlennyh vybrosov i othodov: ucheb. posobie] / LI Chentsova, EV Ignatova, SV Soboleva, VM Voronin. Krasnoyarsk, SibGTU. (In Russian)
- Li H, Wang L, Shen L, Shen F (2012) Energy Policy 41:393-401. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.061>
- Mukhin VM, Klushin VN (2012) Production and application of carbon adsorbents [Proizvodstvo i primeneniye uglerodnyh adsorbentov]. RHTU, Moscow. (In Russian)
- Kel'cev NV (1984) Fundamentals of adsorption technology [Osnovy adsorbtsionnoi tekhniki]. Himiya, Moscow. (In Russian)
- Tian W, Zhang H, Duan X, Sun H, Shao G, Wang S (2020) Adv Function Mater 30:1909265. <https://doi.org/10.1002/adfm.201909265>
- Heidarinejad Z, Dehghani MH, Heidari M, Javedan G, Ali I, Sillanpää M (2020) Environ Chem Lett 18:393. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00955-0>
- Tounsadi H, Khalidi A, Farnane M, Abdennouri M, Barka N (2016) Process Safety Environ Protect 102:710-723. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.05.017>
- Foo KY, Hameed BH (2012) Bioresource Technol 116:522-525. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.123>
- Marsh H, Rodríguez-Reinoso F (2006) Activation Processes (Thermal or Physical). In Activated Carbon (Eds H Marsh, F Rodríguez-Reinoso, H Marsh, F Rodríguez-Reinoso). Oxford. P. 243.

- 10 GOST 16188-70. Activated carbons. Method for determining the abrasion resistance of granules [Ugli aktivirovannyye. Metod opredeleniya prochnosti granul na istiraniye]. (In Russian)
- 11 GOST 16188-70. Sorbents. Method for determining the abrasion resistance [Sorbenty. Metod opredeleniya prochnosti pri istiraniy]. (In Russian)
- 12 GOST 12596-67. Active coals. Determination of the mass fraction of ash [Ugli aktivnye. Opredelenie massovoi doli zoly]. (In Russian)
- 13 GOST 12597-67. Sorbents. Method for determining the mass fraction of water in activated carbons and catalysts based on them [Sorbenty. Metod opredeleniya massovoj doli vody v aktivnyh uglyah i katalizatorah na ih osnove]. (In Russian)
- 14 GOST 6382-2001. Solid mineral fuel. Method for determining the yield of volatile substances [Toplivo tverdoe mineral'noe. Metod opredeleniya vyhoda letuchih veshchestv]. (In Russian)
- 15 GOST 33618-2015. Activated carbon. The standard method for determining the iodine number [Ugol' aktivirovannyj. Standartnyj metod opredeleniya jodnogo chisla]. (In Russian)
- 16 GOST 4453-74. Charcoal is an active lightening wood powder. Technical specifications [Ugol' aktivnyj osvetlyayushchij drevesnyj poroshkoobraznyj. Tekhnicheskie usloviya]. (In Russian)
- 17 Brunauer S, Emmett PH, Teller E (1938) J. Amer. Chem. Soc. 60:309-319. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>
- 18 Echlin P (2009) Handbook of Sample Preparation for Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Springer Science + Business Media, LLC.
- 19 Kinle H, Bader E (1984) Activated carbons and their industrial applications [Aktivnye ugli i ih promyshlennoe primeneniye]. Himiya, Moscow. (In Russian)
- 20 GOST 10200-2017. Coal, lignite and anthracite, bayonet, semi-finished products and products of coal processing. General technical conditions [Ugli kamennyye, burye i antracit, shtyb, polufabrikaty i produkty pererabotki uglej. Obshchie tekhnicheskie usloviya]. (In Russian)
- 21 Härmas M, Palm R, Thomberg T, Härmas R, Koppel M, et al. (2020) J Appl Electrochem 50:15. <https://doi.org/10.1007/s10800-019-01364-5>
- 22 Mopoung S, Dejang N (2021) Sci Rep 11:13948. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93249-x>
- 23 Lin Y, Xu H, Gao Y, Zhang X (2023) Biomass Conv Bioref 13: 3785.
- 24 Sing KSW (1985) Pure Appl Chem 57:603-619. <https://doi.org/10.1351/pac198557040603>
- 25 Kumar KV, Gadipelli S, Wood B, Ramisetty KA, Stewart AA, et al. (2019) J Mater Chem A 7:10104-10137. <https://doi.org/10.1039/C9TA00287A>
- 26 Chen K, Zhang T, Chen X, He Y, Liang X (2018) Petrol Expl Devel 45:412-421. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(18\)30046-6](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(18)30046-6)
- 27 Wang Z, Cheng Y, Wang G, Ni G, Wang L (2022) Fuel 309:122120. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122120>
- 28 Schlumberger C, Thommes M (2021) Adv Mater Interfaces 8:2002181. <https://doi.org/10.1002/admi.202002181>
- 29 Thommes M, Kaneko K, Neimark AV, et al. (2015) Pure and Applied Chemistry 87(9-10):1051-1069.
- 30 GOST 6217-74. Crushed active wood coal. Technical specifications [Ugol' aktivnyj drevesnyj droblenyj. Tekhnicheskie usloviya]. (In Russian)
- 31 Baklanova ON, Plaksin GV, Drozdov VA (2004) Microporous carbon sorbents based on vegetable raw materials [Mikroporistyje uglerodnye sorbenty na osnove rastitel'nogo syr'ya]. Rossijskij himicheskij zhurnal 48(3):89-94. (In Russian)

Авторлар туралы мәлімет

1. Нечипуренко Сергей Витальевич – т.ғ.к., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аналитикалық, коллоидтық химия және сирек элементтер технологиясы кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: necipurenkos@mail.ru);

2. Аманкелді Дара – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың 2 курс магистранты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: daro4ka02@mail.ru);

3. Аликулов Әділет Жеңісбекұлы (корреспонденттік автор) – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ органикалық заттардың, табиғи қосылыстар мен полимерлердің химиясы және технологиясы кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: alikulov.adilet@gmail.com);

4. Забара Назар Арманұлы – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың 2 курс магистранты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: [nzs.zabara@gmail.com](mailto:nzr.zabara@gmail.com));

5. Ермұхамбетова Баяна Бисеналиқызы – х.ғ.к., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, ҚР Ұлттық Инженерлік академиясы РҚБ жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: baya_yerm@mail.ru);

6. Ефремов Сергей Анатольевич – х.ғ.д., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аналитикалық, коллоидтық химия және сирек элементтер технологиясы кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: efremsa@mail.ru);

7. Мун Григорий Алексеевич – х.ғ.д., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер химиясы және технологиясы кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: mungrig@yandex.ru).