

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/PXLE1275>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/NAXY5846>

***С. В. Ибрагимова¹, Н. С. Неберекутина²,
Г. А. Сарсенбаева³**

^{1,3}Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті
А. Байтұрсынұлы, Қазақстан Республикасы, Қостанай қ.

²МАКБМ Челябині облысының политехникалық колледжі,
Ресей Федерациясы, Магнитогорск қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2798-9149>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8098-9820>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2571-4176>

*e-mail: ibragimovasvetlana75@gmail.com

ҚҰРАМЫНДА КӨМІРТЕГІ БАР МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ БЕЛСЕНДІРІЛГЕН КӨМІРДІ АЛУ ПРОЦЕСІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ӘСЕРІ

Жұмыста температуралық режимнің құрамында көміртегі бар материалдардың электрофизикалық қасиеттеріне кедергімен тікелей және жанама қыздыру жағдайында әсері зерттеледі. Алынған нәтижелер өсімдік өндірісінің қалдықтарынан белсендірілген көмірді электротехнологиялық тәсілмен алу технологиясын әзірлеуде қолданылады. Шикізаттың электрофизикалық қасиеттерін зерттеу белсендірілген көмірдің ішкі құрылымының қалыптасу кезеңдерін анықтауға, материалдың қызып кетуді немесе жеткілікті деңгейде қыздырылғанын болдырмауына жол береді, бұл болшектердің деформациясына және сорбенттің күтілетін қасиеттерінің өзгеруіне әкелуі мүмкін. Жұмыста белсендірілген көмір өндірудің қабылданған технологиясымен реттелетін температура диапазонында графиттің әртүрлі түрлерінің үлгілерінің меншікті электр кедергісінің тәуелділігі эксперименталды түрде анықталды. Сипаттама экспоненциалды түрде төмендейтіні анықталды. Алайда, шамамен 400 °С температураға жеткенде, әр түрлі көмірдің электрофизикалық сипаттамалары бір-біріне жақындайды, бұл олардың бірдей қасиеттерге ие болуын көрсетеді. Жұмыста ұсынылған зерттеулер технологиялық процестің нақты жағдайлары

үшін өте маңызды, мұнда қайта өңделетін материал көлемінің ішіндегі температураны тікелей өлшеу техникалық тұрғыдан қиын. Сондықтан, жұмыста ұсынылған температураны өлшеудің вольтты индикациясына негізделген байланыссыз әдісі перспективалы болып саналады және технологиялық жабдықты өзгертуге байланысты күрделі шешімдерді қажет етпейді.

Кілтті сөздер: белсендірілген көмір, сорбент, электротехнологиялық әдіс, өсімдік шикізаты, қыздыру, электрофизикалық қасиеттері, температураның вольтты индикаторы.

Кіріспе

Белсендірілген көмір – құрамында көміртегі бар қатты материалдан алынған ұнтақ немесе түйіршіктер түріндегі кеуекті материал – ағаш, жаңғақ қабығы, кокос жаңғағы, синтетикалық шайырлы қант 600–950 °C температурада, оттегі болмаған кезде сұйық және газ тәрізді ортадан әртүрлі элементтерді сорып алуға қабілетті.

Белсендірілген көмірдің кеуектерінің мөлшері кең ауқымда өзгереді, шектері 106 еседен астам өзгереді – көрінетін жарықтар мен жарықтардан молекулалық деңгейде әртүрлі саңылаулар мен бос орындарға дейін. Бұл көмірді «белсендірілген» ететін және оның сорбциялық қасиеттерін анықтайтын кеуектіліктің жоғары деңгейі, ол суды, ауаны тазарту процестерінде, химиялық процестерде, азық – түлік, мұнай – газ өндіру және өңдеу өнеркәсібінде қолданылады.

Кеуектердің құрылымына оларды алу үшін бастапқы материалдар шешуші әсер етеді. Мысалы, кокос қабығынан алынған белсендірілген көмірлер микропоралардың үлкен үлесімен сипатталады, көмірге негізделген – мезопоралардың басым болуы байқалады. Макропоралардың үлкен үлесі белсендірілген ағаш негізіндегі көмірге тән. Құрылымында кеуектердің барлық түрлерін біріктіретін белсендірілген көмірді алу әмбебап органикалық сорбентті, қолданудың кең спектрін құру мәселесін шешуге әкеледі.

Зерттеулер [1, 584–6.], құрылымы әртүрлі конфигурациялар мен өлшемдегі тері тесігін біріктіретін белсендірілген көмір үшін материал ретінде өсімдік шикізатын, соның ішінде дәнді дақылдардың қалдықтарын пайдалану перспективасын көрсетті [2, 988–6.]. Авторлардың еңбектерінде [3, 30–6.] жыл сайын Солтүстік және Орталық Қазақстанның егістіктерінде мол пайда болатын бидай, арпа, жүгері және рапс дәндерін саңырауқұлақ дерттерімен жұқтырған пайдалану ұсынылады. Өсімдік қалдықтарын белсендірілген көмірге қайта өңдеу тәсілі және сорбциялық процестерде пайдаланғаннан кейін оның ықтимал регенерациясы ретінде электр

энергиясын қолдану мүмкіндігі қарастырылуда [4, 294–б.]. Жаңа технологияның негізінде шикізатты тікелей резистивті жылыту жатыр [5, 294-б.]. Белсендірілген көмірді алудың жаңа әдісін әзірлеудің алғышарттары қайнаған қабаты бар пештерде көміртегі бар шикізатты қыздырудың қолданыстағы технологияларының, шахталық, көп отты, барабанды әр түрлі жылу тасымалдағыштарды – жану газдарын, буды және түзілетін газдарды пайдалана отырып анықталған кемшіліктері болып табылады [6, 213-б.]. Бұл әдістер шикізат пен дайын өнімнің жоғары шығынымен, капитал сыйымдылығымен, материал сыйымдылығымен, экология тұрғысынан қауіпті болуымен, бір партия ішіндегі материалдың қасиеттерін басқарудың қиындығымен және біртектілік еместігімен сипатталады.

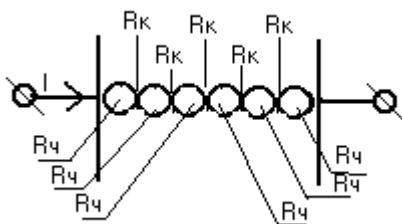
Белсендірілген көмірді алудың электротехнологиялық әдісін әзірлеу үшін оның электрофизикалық сипаттамаларын зерттеу жүргізілді. Олар жеткілікті түрде белгілі емес, өйткені ол өндіріс кезеңінде де, пайдалану кезеңінде де қолданылмайды, сондықтан көмірдің қасиеттері бойынша стандарттарға кірмейді [7, 2–3–бб.]. Көмірдің электрофизикалық қасиеттерін білу процестің техникалық параметрлерін анықтау үшін қажет, олардың өзгеруі өсімдік шикізатын түпкілікті өнімге айналдыру кезеңдерімен байланысты.

Материалдар мен әдістері.

Қыздыру процесінде өзгертін қасиеттері бар материалдар үшін ең тиімдісі, біздің ойымызша, материалды электр тізбегіне қосу арқылы Джоуль – Ленц заңы бойынша электрлік жылыту жалпы қыздырылатын көлемге «бастапқы электр өткізгіш қабатын» енгізу арқылы қарастырылуы керек. Қыздыру процесінде өзгертін физикалық қасиеттері бар материалды резистивті жылытудың ұқсас электротехнологиялық процесі жұмыстарда сипатталған [8, 68-б.].

Процестің өсімдік дәнді қалдықтарынан белсендірілген көмірді өндіру технологиясының ерекшелігі – көмірдің әрбір түйіршігін қыздыру оның ішінен бүкіл көлемде өндіріледі. Бұл сорбаттың тері тесігін шығатын су буымен және ыдырайтын көмірсутектермен тазартуға және көмірдің сорбциялық қабілетін арттыруға көмектеседі.

Бөлшектер қызған кезде олардан шыққан бу нүктелік контактілерді бұзады (1 сурет) және қатардың тізбегі үзіледі.



1 – сурет Дисперсті материалдың массасындағы электр өткізгіш арнаның моделі; электр тізбегі екі электрод арасында көмір бөлшектері арқылы түзіледі.

Электр өткізгіштік механизмін қалпына келтіру екі жолмен мүмкін:

1 Көршілес бөлшектер мен бу қабатының бұзылуы арасындағы үлкен ұзындықтағы арналар арқылы ток өткізу үшін кернеудің жоғарылауы.

2 Көмірдің массасын шайқау немесе бу немесе сұйықтық пленкасын бұзу үшін мерзімді тербелістерді қолдану арқылы. Процестің электрлік параметрлерін қалпына келтіру үшін дірілді 150°C температураға дейін қайталау керек. Әрі қарай, $250 - 280^{\circ}\text{C}$ температурада массаны шайқау қажет, өйткені осы кезеңде әртүрлі газдардың бөлінуімен бірге органикалық заттардың ыдырауы жүреді. Газдарды шығару процесі $400 - 450^{\circ}\text{C}$ температураға дейін жалғасады, содан кейін қыздыру режимі тұрақты болады, содан кейін бөлшектердің материалы температураға дейін «біртіндеп» қызады $600 - 850 - 1000^{\circ}\text{C}$ және мүмкін жоғары.

Соңғы кезең Н – көмірді алу процесімен, шикізаттың белгілі бір уақыт ішінде «активтендіру температурасында» ұсталуымен реттеледі, оның барысында көмірлер олардың белсенді қасиеттерін алады [9, 1387–6.].

Көмірдің массасы арқылы өтетін токтың шамасы бір мезгілде бар электр өткізгіштік арналарының санымен, ал электродтардағы кернеу температураның жоғарылауымен электр тізбектерінің өзгертін кедергісімен анықталады.

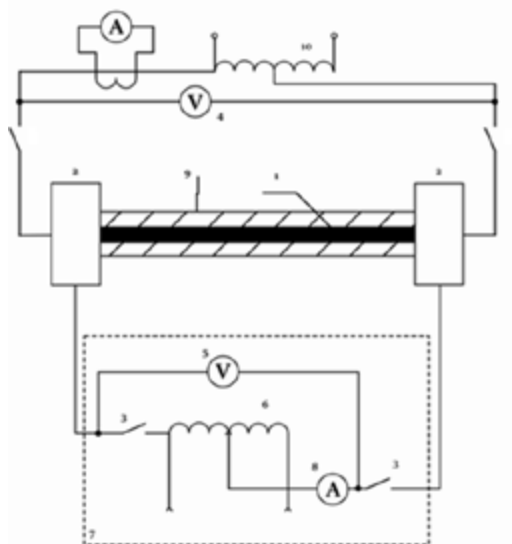
Ағын тогының шамасын шектеу жағдайында реактор электродтарына берілетін кернеу технологиялық процестің әртүрлі кезеңдерінде реттеледі. Сондықтан жылу процесінде қайта өңделетін материалдың электрофизикалық қасиеттерінің өзгеру сипатын және олардың әсер ететін шамалардың шамасына әсерін түсіну белсендірілген көмірдің ішкі құрылымын қалыптастырудың анықтаушы факторы болып табылады [10, 2159–6.].

Жаңа технологияны сәтті енгізу өңделетін шикізатты қыздыру процесінің әр сатысында температуралық режимді қатаң сақтай отырып мүмкін болады. Қыздыру жылдамдығы қыздырылған көлемнің өткізгіштігіне

тікелей байланысты, сондықтан өсімдік қалдықтарын белсендірілген көмірге айналдырудың әр фазасындағы оның мәнін білу маңызды. Белсендірілген көмірдің химиялық формуласы тұрақты емес және бастапқы шикізат пен активтендіру әдістеріне тәуелді және сутегі (H), оттегі (O), азот (N), күкірт (S) сияқты элементтерді қамтуы мүмкін. Алайда, белсендірілген көмір өндірісіндегі технологиялық процестің сипаты оның негізгі компоненті – көміртектің (C) қасиеттеріне байланысты [11, 1194–6.]. Сондықтан, зерттеу бірдей құрамы бар материалды – графит шыбықтарының әртүрлі маркаларын үлгі ретінде пайдаланған кезде үлкен ықтималдықпен сенімді болады.

Алынған нәтижелер қыздыру процесінің энергия тиімділігін арттыру, электр және жылу энергиясы мен шикізаттың шығынын азайту және пештің температуралық режимін реттеу мәселесінде шешуші мәнге ие. Зерттеу материалдың қызып кетуіне немесе қызып кетуіне жол бермейді, бұл деформацияға, күтілетін қасиеттердің өзгеруіне және өнімнің сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Эксперимент материалы: дисперсті көмірдің сипаттамаларын анықтау бойынша тәжірибелердегі электродтар арасындағы қашықтыққа сәйкес ұзындықтағы көмір бөлшектерінен түзілген электр өткізгіштік арнасының көлденең қимасы бойынша диаметрі 2,3 мм болатын қоршаған кеңістіктен жылу оқшауланған графит өзектері. Үлгі 2 қысқыштарға орнатылады, олардың біреуі қозғалыссыз, ал екіншісі қыздырылған кезде өзектердің ұзындығының өзгеруіне сәйкес қозғалу мүмкіндігіне ие (1 сурет). Штанганың жылу күйі оның энтальпиясы бойынша бағаланады, 700°C-дан жоғары температураны өлшеу үшін квази-нақты пирометр қолданылды (Quasi-Real-Time Pyrometer) A250+.



1 суреті – Электрлік қыздыру кезінде монолитті көмірдің қасиеттерін зерттеу схемасы: 1 – графит өзегі, 2 – жылытқыштың қуат тізбегінің түйреуіштері, 3 – өлшеу трансформаторын қосу және өшіру кілті, 4 – қыздыру тізбегінің жұмыс кернеуінің вольтметрі, 5 – сызықтық потенциал градиентінің сенсоры, 6 – өлшеу трансформаторы, 7 – көмір температурасының электр индикаторы, 8 – «эталонды» тогының шамасын бақылау амперметрі, 9-графит өзегінің жылу оқшаулауы, 10-жылыту автотрансформаторы.

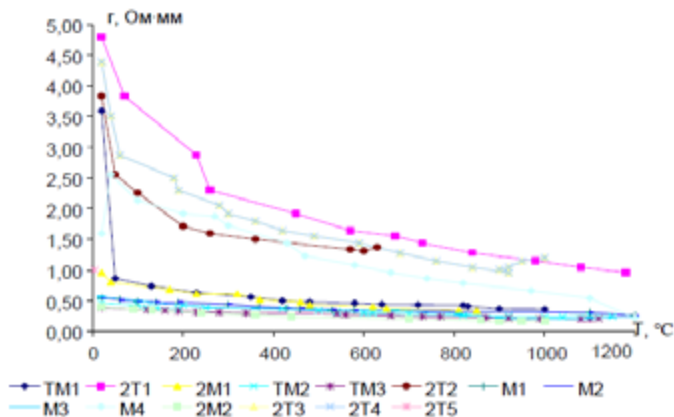
Қалыпты жағдайдағы және қоршаған орта температурасына тең температурадағы сыналатын үлгілердің меншікті электр кедергісі 1 кестеде келтірілген.

1 – Кесте эксперименттің графит шыбықтарының меншікті кедергісінің мәні.

№ кп	Өзек маркасы.	ρ , Ом·мм.
1	2Т	2,31 – 4,79
2	Т	0,21 – 0,89
3	ТМ	0,15 – 0,46
4	М	0,34 – 0,56
5	2М	0,19 – 0,96

Нәтижелер және талқылау

Эксперимент көрсеткендей, қыздырылған кезде 1200°C – ға дейінгі температуралық диапазондағы монокристалл графиттің меншікті электрлік кедергісі экспоненциалды түрде төмендейді (2 сурет). Қалыпты жағдайда меншікті кедергінің бастапқы мәні $3,6 - 4,79 \text{ Ом}\cdot\text{мм}$ (зерттелетін үлгінің маркасына байланысты) $0,25 \text{ Ом}\cdot\text{мм}$ шамасына дейін төмендейді.

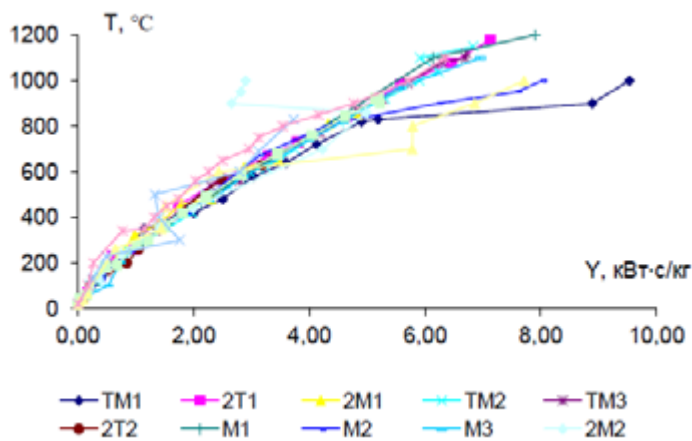


2– сурет Температура көтерілген кезде монокристалл графиттің меншікті электр кедергісінің өзгеруі

Жылу оқшаулау болған кезде өзектің энергетикалық күйі ток ағымы кезінде алынған энтальпияға сәйкес қабылданады. Сондай-ақ, көміртектің меншікті кедергісі оның энтальпиясы немесе энергия мөлшері жоғарылаған кезде төмендейтіні анықталды, бұл температураның жоғарылауымен бірге жүреді және температура режимінің тұрақтануына кіріс кернеуінің өзгеруі арқылы қол жеткізуге болады (3 сурет).

Шамамен 400°C температураға жеткенде, әр түрлі құрамдағы көмірдің электрофизикалық сипаттамалары бір – біріне жақындайды, бұл олардың 1200°C температураға дейін сақталатын бірдей қасиеттерге ие екендігін көрсетеді.

Алынған тәуелділіктер технологиялық процестің нақты жағдайлары үшін өте маңызды, мұнда қайта өңделетін материал көлеміндегі температураны тікелей өлшеу техникалық жағынан қиын. Бұл жағдайда белгілі бір уақыт аралығындағы энтальпия зат температурасының орташа мәнін көрсетеді.



3 – суреті Графит өзегінің температурасының энтальпияға тәуелділігі.

Заттың сызықтық потенциал градиенті E температураның вольтты $VIT = f(T)$ индикаторы (ВИТ) ретінде де қолданыла алады. Жұмыс тогында ол тәуелділігінің төменгі қатарының қисықтарын көрсететін температураға сезімтал емес (4 сурет). Дәлдікті арттыру үшін оның мәнін «эталонды» деп аталатын белгілі бір токқа жатқызу керек. «Эталонды» тогының мақсатты шамасын «эталонды» қуаты шегінде белгілі бір материал үшін эксперименталды түрде анықтауға болады: $P_{mes} = U_{mes} \cdot I_{mes}$, көлемі бойынша потенциалдың сызықтық градиентін өлшеу кезінде қыздырылған дене көлемінің жылу шығынына сәйкес келеді.

Сондықтан,

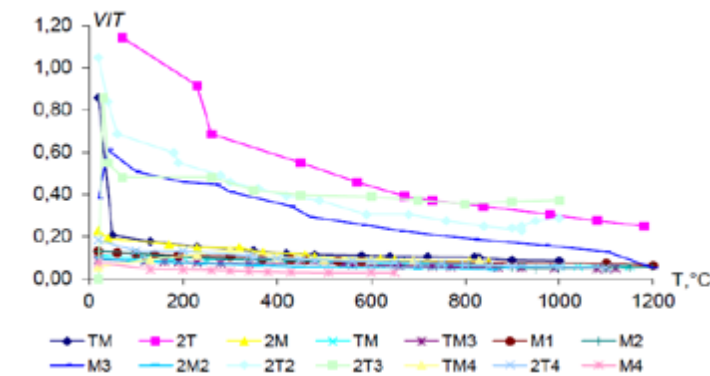
$$E_{mes} = \frac{U_{mes}}{L_{ec}} \equiv T, \quad (2)$$

мұнда U_{mes} – «эталонды» кернеу, В; L_{mes} – электр өткізгіш арнаның ұзындығы.

Жылытудың бастапқы кезеңінде «эталонды» тогы, j_{mes} , ара қатынасынан орнатылуы мүмкін:

$$I_{mes} = S_{el} \cdot j_{mes}, \quad (3)$$

мұнда j_{mes} – «эталонды» тогының тығыздығы, А/мм²; көлденең қиманың ауданына байланысты мыналар шегінде ұсынылады j_{mes} , А/мм²; S_{mes} – электр өткізгіш каналдың көлденең қимасының ауданы, мм².



4 – суреті $VIT = f(T)$.

Электр тогымен жылытылатын ортаның температурасының индикаторы ретінде потенциалдың сызықтық градиентін өлшеу технологиясы келесідей.

$t = 5 \div 7$ с шегінде өлшеу ұзақтығы кезінде j_{mes} өтуін қамтамасыз ететін потенциалдың сызықтық градиентінің пайда болатын шамасы өрнегіне $E_0 = \frac{U_{el}}{L_{el}}$ сәйкес анықталады және қалыпты жағдайда өзектің энтальпиясы мен температурасына сәйкес келеді.

Материалды ток пен кернеудің жұмыс параметрлерімен (I_w, U_w) (қыздыру кезінде «эталонды» режиміне өту I_w, U_w) мәнін $I_{max} = (0,01 \div 0,1) I_w$ мәніне дейін лезде төмендету арқылы жүзеге асырылады. Бұл токта көміртектің жылу күйінің индикаторы болып табылатын потенциалының сызықтық градиентінің белгіленген мәні (2) қатынасымен сипатталады.

Қорытынды

Өлшенген температурамен салыстырған кезде потенциалдың «эталонды» сызықтық градиенті қыздырылған материалдың температурасын көрсетеді. Қыздырылған көлемнің температурасын жанама түрде анықтаудың бұл әдісі жабдықтың қыздырылған материалмен тікелей байланысын қажет етпестен оның деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Материалдың дисперсиясы жағдайында және нәтижесінде қыздырылған көлемдегі температура өрістерінің біркелкі условияхітігі нәтижесінде алынған өнімді өңдеудің біртектілік дәрежесін бақылау қажет болады. Бұл мәселенің шешімі реакция

камерасының әртүрлі деңгейлерінде өлшеу құралдарын (термопараларды) орнату болуы мүмкін, алайда бұл шешімді технологиялық регламентке сәйкес қыздырылатын көлемге діріл әсерін араластыру және қолдану қажеттілігіне байланысты орындау техникалық жағынан қиын. Сондықтан, қыздырылған материалдың электрофизикалық қасиеттерін талдау негізінде температураны өлшеудің ұсынылған әдісін қолдану қолайлы және жабдықты өзгертуге байланысты күрделі шешімдерді қажет етпейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Paraskeva, P., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E.** (2008). Production of activated carbon from agricultural by-products. [Мәтін] *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 83(5), 581–592. doi:10.1002/jctb.1847

2 **Arjmand, C., Kaghazchi, T., Latifi, S. M., & Soleimani, M.** (2006). Chemical Production of Activated Carbon from Nutshells and Date Stones. [Мәтін] *Chemical Engineering & Technology*, 29(8), 986–991. doi:10.1002/ceat.200500325

3 **Машкина С.В.** Электрический нагрев неэлектропроводного дисперсного сырья при производстве активированного угля : автореф. дис. ... канд. техн. наук по специальности 05.09.10 – Электротехнология. [Мәтін]: - Алматы, 2009.

4 **Марковский В. П., Жанкуанышев М. К., Утегулов А. П., Ибрагимова С. В., Кошкин И. В., Сарсенбаева Г. А.** Белсендірілген көмір өндіру жөніндегі электр технологиялық реактордың өнімділігін анықтауға. [Мәтін] *Вестник ПГУ*, №1, 2020, С.292–301.

5 **Болотов А., Машкина С.** Оборудование и технологии производства активированных углей. [Мәтін] *Научно технический сборник «Новости науки Казахстана»*. 2007 (4). С.59–63. ISSN:1560–5655

6 **Ibragimova, S., Bolotov, A., Takenov, S.** (2017). Prospects of using vegetative raw material in modern technology of activated carbon production. [Мәтін] *Многопрофильный научный журнал «3i –intellect, Idea, Innovation - интеллект, идея, инновация» КГУ имени А.Байтурсынова*, 2017 (4), 210–218. ISSN 2226-6070

7 **ГОСТ 33614-2015** Угли активированные. Номенклатура показателей качества [Мәтін]

8 **Болотов А. В., Машкина С. В.** Свойства активированного угля, полученного в электрическом реакторе [Мәтін]// *Вестник национальной инженерной академии Республики Казахстан.*–2009. – № 1.– С.66–71.

9 **Ibragimova, S., Kushnir, V., Koshkin, I.** Electric Heating of Non-conductive Dispersed Raw Materials in Activated Carbon Production [Мәтін]/

In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds) Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham., p.1384-1392. doi:10.1007/978-3-030-54817-9_161

10 **Sun, J., Wu, G., & Wang, Q.** (2005). The effects of carbonization temperature on the properties and structure of PAN-based activated carbon hollow fiber. [Мәтін] Journal of Applied Polymer Science, 97(5), 2155–2160. doi:10.1002/app.21955

11 **Daley, M.A., Tandon, D., Economy, J., & Hippo, E. J.** (1996). Elucidating the porous structure of activated carbon fibers using direct and indirect methods. [Мәтін] Carbon, 34(10), 1191–1200. doi:10.1016/0008-6223(96)00065-6

REFERENCES

1 **Paraskeva, P., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E.** (2008). Production of activated carbon from agricultural by-products. [Text] Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 83(5), P. 581–592. doi:10.1002/jctb.1847

2 **Arjmand, C., Kaghazchi, T., Latifi, S. M., & Soleimani, M.** (2006). Chemical Production of Activated Carbon from Nutshells and Date Stones. [Text] Chemical Engineering & Technology, 29(8), P. 986–991. doi:10.1002/ceat.200500325

3 **Mashkina S. V.** Elektricheskij nagrev neelektroprovodnogo dispersnogo syr'ya pri proizvodstve aktivirovannogo uglya : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk po special'nosti 05.09.10 – Elektrotekhnologiya [Electric heating of non-electrically conductive dispersed raw materials in the production of activated carbon: abstract dis... Candidate of Technical Sciences in the in the specialty 05.09.10 – Electrotechnology]. [Text]: – Almaty, 2009.

4 **Markovskij V. P., Zhankuanyshev M. K., Utegulov A. P., Ibragimova S. V., Koshkin I. V., Sarsenbaeva G. A.** Belsendirilgen komir ondiru zhonindegi elektr tekhnologiyalyk reaktordyn onimdiligin anyktauga. [Determination of the productivity of the electro-technological reactor for the production of activated carbon] [Text] PSU Bulletin, №1, 2020, P. 292–301.

5 **Bolotov A., Mashkina S.** Oborudovanie i tekhnologii proizvodstva aktivirovannyh uglej [Equipment and technologies for production of activated carbons] [Text]. Scientific and Technical Digest «News of Science of Kazakhstan». 2007 (4). P.59–63. ISSN:1560-5655

6 **Ibragimova, S., Bolotov, A., Takenov, S.** (2017). Prospects of using vegetative raw material in modern technology of activated carbon production. [Text] Multidisciplinary scientific journal «3i: intellect, idea, innovation - intelligence, idea, innovation» KGU named after A.Bajtursynov, 2017 (4), P. 210–218. ISSN 2226–6070

7 GOST 33614-2015 Ugli aktivirovannyye. Nomenklatura pokazatelej kachestva [Activated carbons. Nomenclature of quality indicators]. [Text]

8 **Bolotov A. V., Mashkina S. V.** Svoystva aktivirovannogo uglya, poluchennogo v elektricheskom reaktore [Properties of activated carbon produced in an electrical reactor] [Text]// Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan.–2009.- №1.- p.66-71.

9 **Ibragimova, S., Kushnir, V., Koshkin, I.** Electric Heating of Non-conductive Dispersed Raw Materials in Activated Carbon Production [Text]/ In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds) Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham., p.1384-1392. doi:10.1007/978-3-030-54817-9_161

10 **Sun, J., Wu, G., & Wang, Q.** (2005). The effects of carbonization temperature on the properties and structure of PAN-based activated carbon hollow fiber. [Text] Journal of Applied Polymer Science, 97(5), 2155–2160. doi:10.1002/app.21955

11 **Daley, M. A., Tandon, D., Economy, J., & Hippo, E. J.** (1996). Elucidating the porous structure of activated carbon fibers using direct and indirect methods. [Text] Carbon, 34(10), 1191–1200. doi:10.1016/0008-6223(96)00065-6.

29.10.24 ж. баспаға түсті.

20.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

10.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*С. В. Ибрагимова¹, Н. С.Неберекутина², Г. А. Сарсенбаева³

^{1,3}Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, г. Костанай

²ГАПОУ Челябинской области Политехнический колледж, Российская Федерация, г. Магнитогорск

Поступило в редакцию 29.10.24

Поступило с исправлениями 20.01.25

Принято в печать 10.03.25

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

В работе исследуется влияние температурного режима на электрофизические свойства углеродосодержащих материалов, в условиях прямого и косвенного нагрева сопротивлением.

Полученные результаты используются в разработке технологии получения активированного угля из отходов растительного производства электротехнологическим способом. Исследование электрофизических свойств сырья позволит определить этапы формирования внутренней структуры активированного угля, избежать перегрева или недогрева материала, которое может привести к деформации частицы и изменению ожидаемых свойств сорбента. В работе экспериментально выведены зависимости удельного электрического сопротивления образцов различных видов графита в диапазоне температур, регламентированных принятой технологией производства активированного угля. Установлено, что характеристика имеет экспоненциально снижающийся характер. Однако, при достижении температуры приблизительно 400 °С электрофизические характеристики различного типа углей сближаются, что говорит о приобретении ими одинаковых свойств. Исследования, представленные в работе, являются исключительно важными для реальных условий технологического процесса, когда непосредственное измерение температуры внутри объема перерабатываемого материала является технически трудно осуществимым. Поэтому, предложенный в работе бесконтактный способ измерения температуры, основанный на ее вольтовой индикации, рассматривается как перспективный и не требует сложных решений, связанных с модификацией технологического оборудования.

Ключевые слова: активированный уголь, сорбент, электротехнологический метод, растительное сырье, нагрев, электрофизические свойства, вольтовый индикатор температуры.

*S. V. Ibragimova¹, N. S. Neberekutina², G. A. Sarsenbayeva³

^{1,3}Non-profit limited company «Akhmet Baitursynuly Kostanay

Regional University», Kazakhstan, Kostanay

²SAPEI of Chelyabinsk Region Polytechnic College,

Russian Federation, Magnitogorsk

Received 29.10.24

Received in revised form 20.01.25

Accepted for publication 10.03.25

INFLUENCE OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF CARBON-CONTAINING MATERIALS ON THE PARAMETERS OF THE PROCESS OF ACTIVATED CARBON PRODUCTION

The paper studies the influence of temperature regime on the electrophysical properties of carbon-containing materials under conditions of direct and indirect resistance heating. The obtained results are used in the development of technology for obtaining activated carbon from plant wastes by electro-technological method. The study of electrophysical properties of raw materials will allow to determine the stages of formation of the internal structure of activated carbon, to avoid overheating or underheating of the material, which can lead to particle deformation and change the expected properties of the sorbent. In the work the dependences of specific electrical resistance of samples of different types of graphite in the range of temperatures regulated by the adopted technology of activated carbon production are experimentally derived. It was found that the characteristic has an exponentially decreasing nature. However, when the temperature reaches approximately 400 °C, the electrophysical characteristics of different types of coal converge, which indicates that they acquire the same properties. The studies presented in this paper are extremely important for real process conditions, when direct temperature measurement inside the volume of the processed material is technically difficult. Therefore, the non-contact method of temperature measurement proposed in this work, based on its volt indication, is considered to be promising and does not require complex solutions associated with modification of process equipment.

Keywords: activated carbon, sorbent, electro-technological method, vegetable raw materials, heating, electrophysical properties, volt temperature indicator.

Теруге 10.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4358

Сдано в набор 10.03.2025 г. Подписано в печать 28.03.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4358

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz