

Information about the authors

Almira Orazymbetova – PhD doctoral student of the chair «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: almira.oao1976@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5325-7673>.

Guzaliya Sagitova* – Candidate of technical sciences, Professor of the chair «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: guzalita.f1978@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7913-7453>.

Abdujalol Sidikov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, of the Department «General Chemistry, Chemistry of Oil and Gas» branch of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) branch in Tashkent, Tashkent, Republic of Uzbekistan; e-mail: sidikov_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

Saule Sakibayeva – Candidate of technical sciences, Professor of the chair «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: saule.sakibayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8697-9309>.

Aliya Suigenbayeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, of M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: syaljo@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-5001>.

Редакцияға енуі 27.01.2025

Өңдеуден кейін түсуі 01.04.2025

Жариялауға қабылданды 02.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-58](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-58)

FTAXP: 31.01.05



Б.С. Гайсина*, Б.Б. Баяхметова¹, Т. Южакова², Г.А. Сатыбалдинова¹, Б.Б. Нұржан¹

¹Шәкәрім университеті,

071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка көшесі, 20 А

²Паннония университеті,

8200, Венгрия, Эггетем 10, Веспрем

*e-mail: balzhan-1982@mail.ru

СЕМЕЙ ЦЕМЕНТ ЗАУЫТЫНДА ЫЛҒАЛДЫ ӘДІСПЕН КЛИНКЕРДІ КҮЙДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Аңдатпа: Мақалада «Семей цемент зауыты» ЖШС-нің негізінде ылғалды өндіріс әдісімен клинкерді күйдіру технологиясы қарастырылады. Зерттеу объектісі – цемент өндірісіндегі ылғалды әдіс. Зерттеу әдістері – әдеби шолу, технологиялық процестерді талдау және өндірістік тиімділік көрсеткіштерін бағалау. Негізгі нәтижелер: ылғалды әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері анықталып, оның өндірістік шығындары мен экологиялық әсеріне баға берілді. Ғылыми жаңалығы – пештің айналу жылдамдығын арттыру арқылы клинкердің күйдіру тиімділігін жақсарту мүмкіндігі ұсынылды. Практикалық маңыздылығы – ұсынылған әдістерді қолдану арқылы өндірістік тиімділікті арттыру және экологиялық әсерді азайтуға болатындығы дәлелденді. Зерттеуде ылғалды және құрғақ әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері салыстырылып, олардың өндірістік тиімділігі талданады. Ылғалды әдістің негізгі артықшылығы – шикізатты ұнтақтаудың оңайлығы мен біртекті шлам алу мүмкіндігі, алайда оның отын шығыны жоғары. Сонымен қатар, цемент өндірісінің технологиялық процестері, шикізат дайындау әдістері мен олардың химиялық құрамының әсері сипатталады. Зерттеу нәтижелері цемент өндірісінде ылғалды және құрғақ әдістердің өзара тиімді қолданылуын көрсете алады. Ылғалды әдіс технологиялық тұрғыдан қарапайым болса, құрғақ әдіс отын үнемдеуге және өнімділікті арттыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: цемент өндірісі, клинкер, ылғалды әдіс, айналмалы пеш, экология, технология, өндірістік тиімділік.

Кіріспе

Қазіргі уақытта Қазақстан экономикасының маңызды салаларының бірі - құрылыс индустриясы. Цемент өндірісі елдің экономикалық дамуында маңызды орында. "Семей цемент зауыты" Қазақстанның ең ірі өндірістік кешендерінің бірі болып табылады. Зерттеу мақсаты – ылғалды әдіспен клинкер өндіру технологиясының тиімділігін зерттеу және оның өндірістік, экологиялық, экономикалық көрсеткіштерін бағалау. Сонымен қатар, цемент өндірісін заманауи технологиялармен жетілдіру мүмкіндіктерін қарастыру.

Соңғы кездері цемент өнеркәсібінде құрғақ өндіріс әдісі көбірек пайдаланылды, онда табиғи ылғалмен шикізат су қоспай өңделеді. Бұл әдіс көптеген шетел кәсіпорындарында кең таралған. Осы технология бойынша клинкерді жағу үшін шартты отын шығыны айтарлықтай төмен және тоннасына 120-140 кг құрайды [1-4].

Әрбір әдістің өз артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Ылғалды әдіспен өңдеу кезінде ұнтақтау процесі барысындағы электроэнергия, тасымалдау және шикізат қоспаларын орташаландыру шығыны азаяды. Өндірісте ылғалды әдіспен өңдеудің басты кемшілігі отын шығынының жоғарылығы болып табылады.

Құрғақ әдіс кезінде отын шығыны төмендейді және пештің өнімділігі жоғарылайды. Алайда құрғақ әдіс кезінде электроэнергия қажеттілігі айтарлықтай артады, сонымен қатар шикізат құрамына қатал талаптар қойылады.

Көп жағдайда, циклон жылу алмастырғыштарында қабырға аккрециттерінің қалыптасу қаупі салдарынан шикізатта сілті мен хлордың мөлшері шектелген болады [5].

Әрбір әдістің өз артықшылықтары мен кемшіліктері бар болуына байланысты, өнеркәсіпте екі әдіс те параллельді түрде қолданылып отырады. Бір әдістің екіншісін басып озуы тек өнеркәсіптің әр түрлі елдегі технико-экономикалық даму ерекшеліктеріне байланысты болды.

Портландцемент өндірісінің технологиялық процесі келесі операцияларды қамтиды: шикізатты өндіру; шикізатты дайындау; шикізат пен клинкер өндірісін қуыру; қоспалар мен цемент өндірісі бар ұнтақтау целлюлозасы. Шикізатты дайындау процесі құрамында шикізатты ұнтақтау, майдалау, шикізатты араластыруды орташалау операциялары бар. Шикізатты күйдіруге дайындау түріне қарай портландцемент клинкерінің ылғалды, құрғақ, жартылай құрғақ және аралас әдістері бар. Ылғалды өндіріс әдісі кезінде шикізат суда өңделеді, ал орташаландырығыш және реттелетін қоспалар шикізат шламдары арқылы жасалады, бұл ылғалдылық мөлшері 32-50% болатын ерітілген шикізаттың су суспензиясын көрсетеді. Содан кейін шикі шлам айналмалы пешке күйдіруге жіберіледі. Құрғақ әдіспен қоспасы ұсақ ұнтаққа айналады, араластыру, орташалау және реттеу шикізат түріндегі қоспамен жасалады. Содан кейін шикізат ұны күйдіруге жіберіледі. Араластырылған әдіспен шикізат қоспасы ылғалды немесе құрғақ болады. Егер қоспа құрғақ әдіспен дайындалса, шикізат 12-15% дейін ылғалдандырылған, түйіршіктелген және алынған түйіршіктер күйдіру үшін жіберіледі [6-9].

Өндірістің ылғалды тәсілінің артықшылықтары:

1. Судың қатысуымен шикізатты ұнтақтау шығындары едәуір азаяды, өйткені кейбір шикізат материалдары (мысалы, бор, саз) суда оңай еритін қасиетке ие. Ұнтақтау процесінде су пленкалары диспергирленетін материалдың микро жарықтарына еніп, олардың ыдырауын жеңілдетеді.

2. Шикізат шламын тасымалдау, біркелкілендіру және түзету шикізат ұнына қарағанда әлдеқайда оңай жүзеге асырылады.

3. Ылғалды тәсіл кезінде шаң аз мөлшерде болғандықтан шаң ұстау шығындары аз болады.

4. Ылғал пештер қарапайым және сенімді жұмыс істеуде, жоғары кәдеге жарату жылдамдығына ие.

5. Тұнбаны жақсы гомогенизациялау мүмкіндіктері, пештердің пайдалану қасиеттері әртүрлі химиялық құрамның шикізатын пайдалануға мүмкіндік береді.

Шикізат қоспаларын күйдіру кезінде өтетін процестерге шикізатқа тән қасиеттер (шикізаттың химиялық және минералогиялық құрамы, балқытудың температуралық интервалы, қоспалардың түрі мен саны және т.б.), сондай – ақ трансформация тиімділігіне елеулі әсер ететін клинкер-шикізат, бірақ реттеуге болатын ауыспалы параметрлердің қатары (қанықтыру коэффициенті және модульдік сипаттамалар, дисперсия және гранулометрия, жылыту жылдамдығы және температурасы және т.б.) әсер етеді. Бұл факторлардың клинкер қалыптасу процесінің кинетикасына әсері төменде келтірілген. [10-12].

Шикізат материалдарын ұнтақтаудың технологиялық сызбасын таңдау шикізаттың физикалық қасиеттеріне байланысты. Шикізат шихтасының карбонатты және сазды компоненті қасиеттерінің үш нұсқасы болуы мүмкін: 1. Ж + Ж- жұмсақ + жұмсақ (бор + саз); 2. Қ + Ж - қатты + жұмсақ (әктас + саз); 3. Қ + Қ - қатты + қатты (әктас + мергель, мергель + мергель).

Бор мен саздың жұмсақ жыныстарын пайдаланған кезде сазбалшықтарда, роторлы диірмендерде немесе «Гидрофол» диірмендерінде 40-60% су болған кезде ұнтақтауға

ұшырайды және одан әрі шикізат шламын дайындау үшін тік не бірден көлденең шлам бассейндеріне жіберіледі, түзетіледі және гомогенделеді. Қатты карбонатты жынысты пайдаланған кезде әктас тозаңды шарлы диірменде ұсақтауға ұшырайды, онда түзетуші қоспаның қажетті мөлшерін анықтайды. Сазды шламы балшықтан немесе роторлы диірменнен дайындалады және түтік диірмендегі әктаспен бірге тегістеуге арналған. Технологиялық сызбаның басқа әдісі бойынша бөлек ұсақталған әктастар және сазды шлам көлденең шлам бассейндеріне жіберіледі, мұнда ол компоненттер орташаланады.

1. Клинкерді күйдіру технологиясы

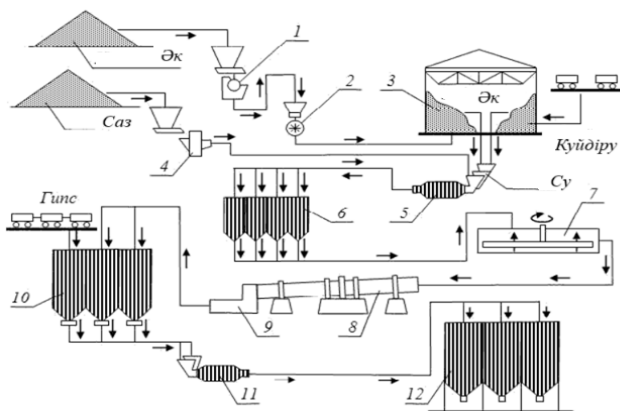
Шикізат қоспасын зауытта күйдіру үшін төрт айналмалы пеш қолданылады. Айналмалы пеш қарсы ағында күйдіргіш қондырғы болып табылады, мұнда шикізат қоспасы пеш бойынша жанғанға дейін асықпай қозғалады. Шламға қарсы ыстық газ ағыны қозғалып жүреді. Ыстық газ пештегі түтін шығатын құрылғы әсерінен қозғалады. Шикізат цехындағы көлденең бассейндерден берілген шлам труба бойынша шаң бергішке жіберіледі де, шикізат қоспасын бақылау бөшекелерінде дозалайды, содан кейін $d=219$ мм труба арқылы пешке беріледі.

Пеште шлам жоғары температура әрекетіне түседі. Шлам қызған кезде сұйылып, айтарлықтай жылжымалы болады. Ылғал кепкен кезде тұтқырлық артады да, үлкен түйіншектер пайда болады, олар кейіннен астық-түйіршіктерге айналады. Пештің шлам кептірілетін бөлігі – кептіру зонасы деп аталады [13].

Шикізат қоспасы әрі қарай қыздыру зонасына жіберіледі. Бұл зонада химиялық реакция басталады. Бұл жерде сонымен қатар, шикізат қоспасының физикалық қасиеттері де өзгереді. Одан кейін шикізат қоспасы келесі зонаға, яғни кальцийлеу зонасына өтеді, мұнда әктасты ыдыратады.

Материалды одан әрі жылжыту кезінде және қатты күйдегі әктас пен саз арасындағы реакциядағы температура артқан кезде тезірек жүреді. Байланыссыз кальций тотығының құрамы силикаттар, алюминат және кальций ферриттері әсерінен төмендейді.

Осы қосылыс пайда болған реакция экзотермиялық болып табылады, олар жылу бөліну арқылы жүреді. Одан кейін материал біріктіру зонасына жіберіледі, мұнда ол біртіндеп еріп, сұйық фаза қалыптасады. Бірігу 1300°C температурада басталып, 1450°C -қа дейін жүреді. Бірігу зонасында материал 15-30 минут болады. Бірігу зонасында пайда болған клинкер суыту зонасына, одан кейін тоңазытқышқа, сосын клинкерлі транспортерге – біріктірілген қоймаға жіберіледі [14]. Аталған технологияның жалпы нұсқасы 1 – суретте берілген.



Сурет 1 –Цементті клинкерді күйдіру әдісімен алу технологиясының технологиялық сұлбасы

1 – жақтық үгіткіш; 2 – балғалы үгіткіш; 3 – шикізат қоймасы; 4 – «Гидрофол» диірмені;
5 – ылғалды ұнтақтау диірмені; 6 - тік шламбассейн; 7 – көлденең шламбассейн; 8 – айналмалы пеш;
9 – салқындатқыш; 10 – клинкер қоймасы; 11 – диірмен; 12 – цемент силосы

2. Цемент клинкерінің сипаттамасы

Цемент клинкерінің сапасы оның құрамындағы жеке оксидтердің мөлшері (химиялық құрамы), негізгі оксидтердің пайыздық мөлшерлері арасындағы сандық қатынастарды сипаттайтын модульдердің мәндері, сондай-ақ клинкердің микроқұрылымы – кристалды минералдардың өлшемдері мен формалары арқылы анықталады.

Клинкердің сипаттамасы оның құрамындағы негізгі оксидтердің пайыздық мөлшерін талдау арқылы беріледі. Шикізат қоспасы мен клинкер үшін модульдік мәндер сандық түрде

өзара байланысты. Бастапқы кезеңде клинкер (отқа төзімді, суға төзімді кірпіш) құрамында бір гидравликалық модуль қолданылған. Бұл модуль байланысты кальций оксиді мөлшерінің (ОМ) қышқыл оксидіне қатынасын анықтайды:

$$OM = (CaO_{\text{жалпы}} - CaO_{\text{еркін}}) / [(SiO_2_{\text{жалпы}} - SiO_2_{\text{еркін}}) + [Al_2O_3 - Fe_2O_3]].$$

Қазіргі заманғы цемент клинкерлерінде ОМ негізгі модулінің мәні 1,7-2,4 аралығында өзгереді. Алайда, клинкер сапасын тек гидравликалық модульмен бағалау жеткіліксіз болғандықтан, қосымша екі модуль – силикатты және глиноземді модульдер енгізілді.

Силикатты немесе кремнеземді модуль (СМ) клинкердегі кремнеземнің басқа оксидтермен әрекеттесу дәрежесін және глинозем мен темір оксиді мөлшерінің арақатынасын сипаттайды:

$$CM = (SiO_2_{\text{жалпы}} - SiO_2_{\text{еркін}}) / (Al_2O_3 - Fe_2O_3).$$

Бұл модуль цементтің силикатты және алюмоферритті фазаларының қатынасын көрсетеді. Оның мәні қарапайым портландцемент үшін 1,7-3,5 аралығында болса, сульфатқа төзімді цемент үшін 4 және одан жоғары болуы мүмкін.

Глиноземді немесе алюминатты модуль (ГМ) глиноземнің темір оксидіне қатынасын көрсетеді:

$$GM = Al_2O_3 / Fe_2O_3.$$

Бұл модуль клинкердегі үш кальцийлі алюминат (C_3A) пен темір құрамды қосылыстардың қатынасын анықтайды. Қарапайым портландцемент үшін бұл модуль 1-2,5 аралығында болады.

СМ жоғары болған жағдайда шикізат қоспасының күйдірілуі күрделене түседі, ал цемент баяу қатады, бірақ ұзақ мерзімді беріктігі жоғары болады. ГМ төмен болғанда портландцемент тұрақты беріктікке ие болады. Ал ГМ жоғары цементтер жылдам қатайды, бірақ олардың беріктігі төменірек келеді.

Клинкердегі оксидтер мен цементтің құрамын тек модульдердің көмегімен толық сипаттау мүмкін емес. Сондықтан Г. Кюль «мінсіз клинкер» түсінігін енгізіп, оны $3CaO-SiO_2$, $3CaO-Al_2O_3$ және $2CaO-Fe_2O_3$ жоғары тұрақты қосылыстары ретінде сипаттады.

Зауытта өндірілетін клинкерлердің қаныққан коэффициенті (КН) шикізат материалдарының құрамы мен құрылымына, клинкерді күйдіру құрылғысының түріне және күйдіру шарттарына байланысты 0,85-0,95 аралығында болады. КН жоғары болған сайын клинкерде C_3S мөлшері көбейіп, нәтижесінде цементтің беріктігі артады және қату жылдамдығы жоғарылайды. Қазіргі таңда клинкер сапасы КН қанығу коэффициенті, силикатты СМ және глиноземді ГМ модульдері бойынша анықталады.

3. Клинкерді дайындау әдістері

Портландцементті өндіру келесі негізгі кезеңдерді қамтиды: шикізат материалдарын алу; шикізат қоспасын дайындау (ұсақтау, майдалау, араластыру); шикізат қоспасын күйдіру (клинкер алу); клинкерді ұсақтап, ұнтақтау.

Портландцемент клинкерін өндірудің үш негізгі тәсілі бар: ылғалды, құрғақ және аралас әдістер.

3.1. Ылғалды әдіс

Бұл әдісте шикізат материалдары су қосу арқылы ұнтақталып, араластырылады. Нәтижесінде 32-45% ылғалдылыққа ие шикізат шламы түзіледі. Ылғал әдіспен жұмыс істейтін цемент зауыттарында жұмсақ саз және қатты әктас компоненттері жиі қолданылады. Шикізат шламы белгілі химиялық құрамға сәйкес түзетіледі, содан кейін пешке жіберіледі.

Клинкерді күйдіру үшін ішкі жылу алмастырғыш құрылғылары бар ұзын айналмалы пештер қолданылады. Пештен шыққан клинкер тоңазытқышта салқындатылады, содан кейін қоймаға немесе тікелей ұнтақтағышқа жіберіледі. Клинкерді ұнтақтау алдында оған гипс және басқа да гидравликалық немесе модификациялық қоспалар қосылады.

3.2. Құрғақ әдіс

Бұл әдісте шикізат материалдары сусыз күйде ұсақталып, араластырылады және пешке жіберіледі. Құрғақ әдіс шикізаттың физикалық және химиялық құрамына байланысты таңдалады.

3.3. Аралас әдіс

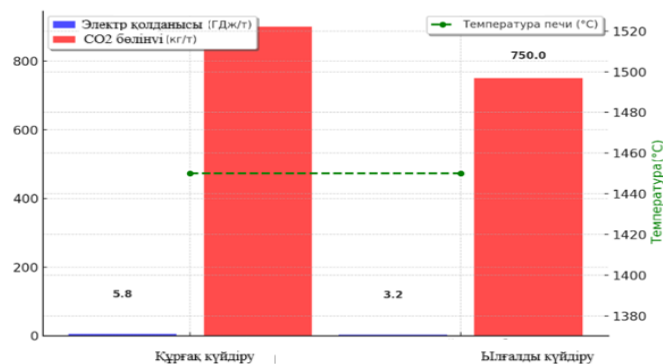
Бұл әдісте шикізат қоспасы алдымен ылғал тәсілмен дайындалып, кейіннен арнайы құрылғылар арқылы сусыздандырылады және жартылай құрғақ күйде пеште күйдіріледі.

Әр әдістің өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Ылғал әдіс шикізатты жақсылап араластыруға мүмкіндік береді, бірақ энергия шығыны жоғары. Құрғақ әдіс

энергияны үнемдейді, бірақ шикізат құрамына қойылатын талаптар қатаң болады. Аралас әдіс екі тәсілдің артықшылықтарын біріктіреді, алайда өндіріс күрделене түседі.

Клинкерді алу процесінде шикізатты ұсақтау маңызды рөл атқарады. Егер әктас компоненті ретінде бор қолданылса, оны ұсақтағышта өңдейді, ал қатты әктас бірнеше кезеңде уатылады. Дайын шикізат шламы пешке жіберіліп, күйдіріледі.

Қазіргі уақытта портландцемент өндіру технологиясы шикізат құрамына, оның біртектілігіне, ылғалдылығына, жану деңгейіне және басқа да факторларға байланысты таңдалады [16-17].



Сурет 2 – Құрғақ және ылғалды әдіспен күйдіру әдістерін салыстыру

4. Клинкерді күйдіру

Клинкерді күйдіру – цемент өндірісіндегі соңғы және шешуші технологиялық процесс болып табылады. Бұл кезеңде шикізат қоспасы жоғары температурада өңделіп, нәтижесінде клинкердің құрамына кіретін төрт негізгі минералдан тұратын химиялық қосылыстар түзіледі.

Клинкердің минералдық құрамын шикізат қоспасының бастапқы компоненттері анықтайды. Мысалы, үш кальцийлі силикат (C_3S) – үш молекулалық CaO (кальций оксиді) мен бір молекулалық SiO_2 (кремнезем) арасындағы химиялық реакция нәтижесінде түзіледі. Сол сияқты, басқа үш негізгі клинкер минералдары – екі кальцийлі силикат (C_2S), үш кальцийлі алюминат (C_3A) және төрт кальцийлі алюмоферрит (C_4AF) пайда болады. Бұл минералдар шикізат қоспасындағы негізгі компоненттер – кальций оксиді (CaO) мен балшықтағы силикат, алюминат және темір оксидтері арасындағы химиялық әрекеттесу нәтижесінде түзіледі.

Шикізат қоспасының бастапқы компоненттері – әк, балшық және басқа да минералдар – бастапқыда химиялық тұрғыдан инертті болады, яғни олар бір-бірімен реакцияға түспейді. Алайда, температура көтерілген сайын олардың химиялық белсенділігі артып, өзара әрекеттесу қабілеті күшейеді. Бұл құбылыс молекулалардың қозғалғыштығының артуымен түсіндіріледі: жоғары температурада молекулалар мен атомдар арасында алмасу процестері күшейіп, жаңа химиялық қосылыстар түзіледі.

Қатты күйдегі химиялық реакциялар қатты фазалық әрекеттесу деп аталады. Жоғары температура кезінде материалдар балқу сатысына жақындағанда химиялық әрекеттесу жылдамдығы артады. Бұл процесті пісу деп атайды, ал осындай күйге жеткен материал піскен материал деп аталады. Портландцемент клинкерін өндіру үшін шикізат қоспасын толық пісу дәрежесіне дейінк үйдіреді.

Клинкерді күйдіру температуралық аймақтары

Клинкерді күйдіру үшін әр түрлі жылу агрегаттары қолданылады. Ең кең таралған технология – айналмалы пештер, олардың үлесі жалпы цемент өндірісінде 95%-ға дейін жетеді. Бұдан басқа, шахталық пештер (3,5%) және қайнаған қабаттағы жылу агрегаттары (1,5%) да қолданылады.

Айналмалы пеш – ішкі жағы отқа төзімді материалмен қапталған көлбеу барабан. Пешке шикізат қоспасы жоғары жағынан беріледі, ал төменгі жағынан жоғары температурадағы отын жағу арқылы қыздырылады. Барабанның айналуы нәтижесінде шикізат біртіндеп төмен қарай қозғалып, күйдіру аймағына өтеді.

Пешке енген шикізат қоспасы бірден жоғары температуралы түтін газдарымен әрекеттесіп, қыза бастайды. Бұл процесс барысында газдардың температурасы 800-1000°C-тан 160-200°C-қа дейін төмендейді.

Күйдіру процесі бірнеше негізгі температуралық аймақтарға бөлінеді:

1. **Булану аймағы (200°C дейін).** Бұл кезеңде шикізат қоспасындағы механикалық ылғал буланып, материал біртіндеп құрғайды.

2. **Жылыту аймағы (200-700°C).** Осы температура аралығында органикалық қоспалар жанып кетеді, ал саз минералдарындағы химиялық байланысқан су бөлініп шығады (дегидратация процесі). Бұл кезеңде шикізат бөлшектері ұнтаққа айналады.

3. **Кальцинация аймағы (700-1200°C).** Бұл кезеңде әктастың құрамындағы кальций карбонаты (CaCO_3) ыдырап, кальций оксиді (CaO) және көмір қышқыл газы (CO_2) түзіледі. Бұл процесс энергияны көп қажет етеді, өйткені 1 кг CaCO_3 ыдырауы үшін шамамен 425 ккал жылу жұмсалады.

4. **Қатты фазалық реакциялар аймағы (1200-1300°C).** Осы температура диапазонын да шикізат қоспасындағы оксидтер өзара әрекеттесіп, клинкер минералдарының түзілуі басталады. Бұл процесс экзотермиялық сипатқа ие, яғни жылу бөлініп шығады.

5. **Пісіру аймағы (1300-1450°C).** Бұл кезеңде шикізаттың сұйық фазасы түзіліп, кальций оксиді (CaO) мен кремнезем (SiO_2) әрекеттесіп, негізгі клинкер минералы – үш кальцийлі силикат (C_3S) түзіледі. Бұл аймақ клинкердің толық қалыптасу кезеңі болып табылады.

Клинкер пештен шыққаннан кейін тоңазытқыш камерада салқындатылады. Салқындатылған клинкер қоймаға жөнелтіледі немесе тікелей цемент ұнтақтағыштарда өңделеді. Клинкерді ұнтақтау процесінде оған белгілі бір мөлшерде гипс және басқада минералды қоспалар қосылады, бұл цементтің физикалық-механикалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Клинкерді күйдіру – цемент өндірісінің ең маңызды кезеңдерінің бірі, өйткені дәл осы процесте оның түпкілікті минералдық құрамы қалыптасады, ол цементтің беріктігі мен сапасына тікелей әсер етеді [18].

Клинкерді ылғалды әдіспен күйдірудің негізгі параметрлерге әсері

2-суретте көрсетілгендей, ылғалды әдіспен күйдіру кезінде энергия тұтыну (ГДж/т) және көмірқышқыл газының (CO_2) шығарындылары құрғақ әдіске қарағанда жоғары болады. Пештің жұмыс температурасы шамамен бірдей болғандықтан, бұл параметр графикте көрсетілмеген.

Клинкерді пісіру аймағында ұзақ уақыт ұстау немесе салқындату процесін ұзақ жүргізу қажеттілігі жоқ, өйткені құрамында $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ бар портландцементтің құрылымы ұсақ кристалды болып келеді, бұл оның беріктігін арттырады.

Клинкер түзілу процесі пісіру аймағындағы температураға тікелей байланысты: температура жоғарылаған сайын реакциялар қарқынды жүреді және клинкер жылдамырақ түзіледі. Алайда, температураның шамадан тыс артуы немесе оны күрт жоғарылату нәтижесінде сұйық фаза көп мөлшерде түзіліп, ерітінділер бірігіп, ірі түйіршіктер (агломераттар) қалыптасуы мүмкін. Мұндай жағдайда түзілген ірі түйіршіктердің еруі қиынға соғып, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ -нің $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ -ға айналу процесі бұзылады.

Клинкердің түзілу процесін жеделдету және құрамында $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ мөлшері жоғары өнім алу үшін шикізат қоспасының балқу температурасын төмендететін арнайы қосылыстар қолданылады. Оларға, мысалы, кальций фториді (CaF_2), темір оксиді (Fe_2O_3) және басқа да компоненттер жатады. Сұйық фазаның ерте түзілуі клинкер қалыптасу процесін жоғары температура аймағына қарай ығыстырады, бұл жалпы реакция жылдамдығын арттырады.

Клинкер күйдіру кезінде кейбір жағдайларда қоспадағы кальций оксиді (CaO) кремнеземмен (SiO_2) толық әрекеттесіп үлгермейді. Бұл әсіресе $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ мөлшері артқан сайын байқалады. Нәтижесінде, жоғары қаныққан клинкерде $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ максималды концентрациясын алу үшін избестің толық сіңірілуі қажет болады. Алайда, әрдайым аз мөлшерде (1-2%) бос күйдегі избес (CaO) сақталады. Егер оның мөлшері осы деңгейден асып кетсе, цементтің қатаю біркелкілігі бұзылып, сапасына теріс әсер етеді.

Клинкер пісіру аймағынан салқындату аймағына (VI) өткенде оған салқын ауа беріледі. Бұл процестің нәтижесінде клинкер 1000-1100°C температурада пештен шығады және оны толық салқындату үшін арнайы тоңазытқышқа жіберіледі.

Кесте 1 – Клинкерді күйдіру әдісімен алған өнімнің қасиеттері

Құрамы, %					Физикалық көрсеткіштер		
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Беріктік (МПа)	Тығыздығы (г/см ³)	Бос көлем (%)
65.2	22.5	5.5%	3.2	1.1	42.3	3.15	18.7

Эксперименттік зерттеулер нәтижесінде ылғалды әдіспен алынған клинкердің сапасы бағаланды. Пештің айналу жылдамдығын арттыру арқылы шикізаттың біркелкілігі мен күйдіру тиімділігі жақсарды. Фазалық құрамын зерттеу нәтижелері клинкердің беріктігін арттыру үшін C_3S мөлшерін көбейту тиімді екенін көрсетті. Экологиялық көрсеткіштерді жақсарту мақсатында электрофилтрлер мен газ тазарту жүйелерін қолдану ұсынылады. Сонымен қатар, отын шығынын төмендету және энергия тиімділігін арттыру бойынша қосымша зерттеулер жүргізу қажет [19-20].

Қорытынды

Пештің айналу жылдамдығын 1.5-2.0 айн/мин аралығында реттеу клинкердің механикалық беріктігін 8-10%-ға жақсартты. C_3S мөлшерінің артуы цементтің бастапқы беріктігін 15%-ға дейін арттыруға мүмкіндік берді. Технологиялық процестерді оңтайландыру отын шығынын 7%-ға азайтуға ықпал етті. Газ шығарындыларының деңгейі стандарттарға сәйкескелді, бұл қоршаған ортаға кері әсердің төмендегенін көрсетті. Ұнтақталу қабілеті жақсарды, бұл цементтің гидратация жылдамдығын арттырып, құрылыстағы қолдану тиімділігін жоғарылатты.

Әдебиеттер тізімі

1. Experiences of utilising mass-stabilised low-quality soils for infrastructure construction in the capital region of Finland – case absoilsproject / J. Forsman et al // In Proceedings of the 28th International Baltic Road Conference, Vilnius, Lithuania. – 2013. – P. 452-461.
2. Applicability of excavated rock material: A European technical review implying opportunities for future tunneling projects / M. Haas et al // Journal of Cleaner Production. – 2021. – № 315. – P. 128049.
3. Sustainable management of excavated soil and rock in urban areas – A literature review / S. Magnusson et al // Journal of Cleaner Production. – 2015. – № 93. – P. 18-25.
4. Sustainable reuse of excavated soil and recycled concrete aggregate in manufacturing concrete blocks / W. Luo et al // Construction and Building Materials. – 2022. – № 342. – P. 127917.
5. Cost, F.N. Reduction in CO₂ emissions during production of cement, with partial replacement of traditional raw materials with civil construction waste (CCW) / F.N. Costa, D.V. Ribeiro // J. Clean. Prod. – 2020. – № 276. – P. 123302.
6. Singh G.B. Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste / G.B. Singh, K.V. Subramaniam // J. Clean. Prod. – 2019. – № 239. – P. 118024.
7. Ozbay E. Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties- A review / E. Ozbay, M. Erdemir, H.I. Durmuş // Constr. Build. Mater. – 2016. – № 105. – P. 423-434.
8. Ghezloun A. The COP 22 New commitments in support of the Paris Agreement / A. Ghezloun, A. Saidane, H. Merabet // Energy Procedia. – 2017. – № 119. – P. 10-16.
9. Scrivener K.L. Eco-Efficient Cements: Potential Economically Viable Solutions for a Low-CO₂ Cement-Based Materials Industry / K.L. Scrivener, V.M. John; E.M. Gartner // United Nations Environment Program: Nairobi, Kenya. – 2016.
10. Compressive Strength of Sustainable Geopolymer Concrete Composites: A State-of-the-Art Review / H.U. Ahmed et al // Sustainability. – 2021. – № 13. – P. 13502.
11. Taimasov B.T. Chemical Technology of Binding Materials / B.T. Taimasov, V.K. Klassen // Additional; BSTU Publishing House: Belgorod, Russia, 2017. – 448 p.
12. Klassen V.K. Technogenic Materials in Cement Production, Monograph / V.K. Klassen, I.N. Borisov, V.E. Manuilov // Publishing House of BSTU: Belgorod, Russia. – 2008.
13. Taylor H.F.W. Cement Chemistry; Thomas Telford Publishing / H.F.W. Taylor // Thomas Telford Services Ltd.: London, UK, 1997. – P. 457.
14. Pavel K. Compressive Strength of Concrete / K. Pavel // IntechOpen: London, UK. – 2020. Available online: <https://dlib.hust.edu.vn/bitstream/HUST/20480/1/OER000001759.pdf> (accessed on 14 May 2024).
15. Best Available Techniques and Sustainable Development Goals / M. Hjort et al // In Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Albena, Bulgaria, 28 June-7 July 2019. – P. 185-189.

16. Technological, technical, organizational and managerial solutions for the sustainable development and decarbonization of cement sector / E.N. Potapova et al // Tech. Technol. Silic. – 2023. – № 30. – P. 104-115.
17. Cement Sector Decarbonization and Development of Environmental and Energy Management Systems / I.A. Bashmakov et al // Stroit. Mater. – 2023. – P. 4-12.
18. Decarbonising cement and concrete production: Strategies, challenges and pathways for sustainable development / S. Barbhuiya et al // J. Build. Eng. – 2024. – № 86. – P. 108861.
19. Production of Portland cement clinker from French Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash. / J. Kleib et al // Case Stud. Constr. Mater. – 2021. – № 15. – P. e00629.
20. Stabilization and characterization of dicalcium silicate belite phase by metallic zinc / J. Moudar et al // Mater. Today Proc. – 2022. – № 58. – P. 1442-1446.

Б.С. Гайсина^{1*}, Б.Б. Баяхметова¹, Т. Южакова², Г.А. Сатыбалдина¹, Б.Б. Нұржан¹

¹Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, Глиники 20 А

²Университет Паннонии,
8200, Венгрия, Эгьетем 10, Веспрем

*e-mail: balzhan-1982@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЖИГА КЛИНКЕРА ВЛАЖНЫМ МЕТОДОМ НА СЕМЕЙСКОМ ЦЕМЕНТНОМ ЗАВОДЕ

В статье рассматривается технология обжига клинкера методом влажного производства на основе ТОО «Семей цемент зауыты». Объект исследования – влажный метод производства цемента. Методы исследования – литературный обзор, анализ технологических процессов и оценка показателей производственной эффективности. Основные результаты: определены преимущества и недостатки влажного метода, дана оценка его производственных затрат и экологического воздействия. Научная новизна – предложена возможность повышения эффективности обжига клинкера за счет увеличения скорости вращения печи. Практическая значимость – доказано, что применение предложенных методов позволяет повысить производственную эффективность и снизить экологическое воздействие. В исследовании проведено сравнение преимуществ и недостатков влажного и сухого методов, а также анализ их производственной эффективности. Основное преимущество влажного метода – легкость измельчения сырья и возможность получения однородного шлама, однако его топливные затраты выше. Кроме того, описаны технологические процессы производства цемента, методы подготовки сырья и влияние их химического состава. Результаты исследования показали целесообразность совместного применения влажного и сухого методов в цементном производстве. Влажный метод технологически проще, тогда как сухой метод позволяет экономить топливо и повышать производительность.

Ключевые слова: цементное производство, клинкер, влажный метод, вращающаяся печь, экология, технология, производственная эффективность.

B.S.Gaisina^{1*}, B.B. Bayakhmetova¹, T. Yuzhakova², G.A. Satybaldinova¹, B.B. Nurzhan¹

¹Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinki street 20

²University of Pannonia,
8200, Hungary, Egyetem 10, Veszprem

*e-mail: balzhan-1982@mail.ru

TECHNOLOGY OF CLINKER FIRING BY WET METHOD AT SEMEY CEMENT PLANT

The article examines the clinker firing technology using the wet production method based on LLP «Semey Cement Plant». The research object is the wet method of cement production. Research methods include a literature review, analysis of technological processes, and assessment of production efficiency indicators. Main results: The advantages and disadvantages of the wet method have been identified, and its production costs and environmental impact have been evaluated. Scientific novelty: A possibility of improving clinker firing efficiency by increasing the rotary kiln speed has been proposed. Practical significance: It has been proven that applying the proposed methods can enhance production efficiency and reduce environmental impact. The study compares the advantages and disadvantages of wet and dry methods and analyzes their production efficiency. The main advantage of the wet method is the ease of raw material grinding and the ability to obtain a homogeneous slurry; however, it has higher fuel consumption. Additionally, the technological

processes of cement production, raw material preparation methods, and the influence of their chemical composition are described. The research results demonstrate the feasibility of the combined application of wet and dry methods in cement production. The wet method is technologically simpler, whereas the dry method allows for fuel savings and increased productivity.

Key words: cement production, clinker, wet method, rotary kiln, ecology, technology, production efficiency.

Авторлар туралы мәліметтер

Балжан Сайлауқызы Гайсина* – магистр, «Химия және экология» кафедрасының аға оқытушысы; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: balzhan-1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2744>.

Булбул Баяхметовна Баяхметова – х.ғ.к., «Химия және экология» кафедрасының аға оқытушысы; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: bulbul.bayahmetova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-5107>.

Татьяна Южакова – Паннония университетінің биохимиялық, экологиялық және химиялық инженерия ғылыми орталығының доценті, Венгрия; e-mail: juzsakova.tatjana@mk.uni-pannon.hu. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3956-3844>.

Гаухар Айдыңқызы Сатыбалдинова – магистр, «Химия және экология» кафедрасының оқытушысы; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: satybaldinova@inbox.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5942-9147>.

Нұржан Бекарыс Бақытбекұлы – «Химия және экология» кафедрасының 6B05301-Химия ББ студенті; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: nurzanbekarys2007@gmail.com.

Сведения об авторах

Балжан Сайлауовна Гайсина* – магистр, старший преподаватель кафедры «Химия и экология»; Шәкәрім университет, Казахстан; e-mail: balzhan-1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2744>.

Булбул Баяхметовна Баяхметова – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры «Химия и экология»; Шәкәрім университет, Казахстан; e-mail: bulbul.bayahmetova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-5107>.

Татьяна Южакова – доцент, исследовательский центр биохимической, экологической и химической инженерии, Университет Паннонии, Венгрия; e-mail: juzsakova.tatjana@mk.uni-pannon.hu. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3956-3844>.

Гаухар Айдыңқызы Сатыбалдинова – магистр, преподаватель кафедры «Химия и экология»; Шәкәрім университет, Казахстан; e-mail: satybaldinova@inbox.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-5107>.

Нуржан Бекарыс Бакытбекұлы – студент ОП «6B05301-Химия» кафедры «Химия и экология»; Шәкәрім университет, Казахстан; e-mail: nurzanbekarys2007@gmail.com.

Information about the authors

Balzhan Gaisina* – Master's degree, Senior Lecturer of the Department of «Chemistry and Ecology»; Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: balzhan-1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2744>.

Bulbul Bayakhmetova – Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer of the Department of «Chemistry and Ecology»; Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: bulbul.bayahmetova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-5107>.

Tatyana Yuzhakova – Associate Professor, Research Center for Biochemical, Environmental and Chemical Engineering, University of Pannonia, Hungary; e-mail: juzsakova.tatjana@mk.uni-pannon.hu. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3956-3844>.

Gaukhar Satybaldinova – Master's degree, Lecturer of the Department of «Chemistry and Ecology»; Shakarim University; e-mail: satybaldinova@inbox.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-5107>.

Nurzhan Bekarys – a student of the 6B05301 – Chemistry educational program at the Department of «Chemistry and Ecology»; Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: nurzanbekarys2007@gmail.com.

Редакцияға енуі 27.02.2025

Өңдеуден кейін түсуі 30.04.2025

Жариялауға қабылданды 02.05.2025