

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті

ӘОЖ 666.942 / 666.3

Қолжазба құқығында

ҚУАНДЫҚОВА АҚНҰР ЕРХАНҚЫЗЫ

**Мырыш және қорғасын зауытының қалдықтарын қолдана отырып
цемент клинкерін өндірудің энергияны аз қажет ететін технологиясы**

8D07190 – Балқуы қиын бейметалл және силикатты материалдардың химиялық
технологиясы

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алуға арналған диссертация

Ғылыми жетекшісі
техника ғылымдарының докторы,
профессор
Таймасов Б.Т.

Шетелдік кеңесшісі
техника ғылымдарының докторы,
профессор
Потапова Е.Н.
(Д.И. Менделеев атындағы
Ресей химия – технологиялық
университеті)

Қазақстан Республикасы
Шымкент, 2025

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР.....	4
АНЫҚТАМАЛАР.....	5
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР.....	6
КІРІСПЕ.....	7
1 ӘДЕБИ ШОЛУ. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ӨНДІРІСІНДЕ ТЕХНОГЕНДІК ШИКІЗАТТЫ ПАЙДАЛАНУДЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ.....	14
1.1 Портландцемент өндірісінде шикізат компоненттері ретінде техногендік өнімдерді пайдалану жолдары.....	14
Бөлім бойынша қорытындылар.....	32
2 ШИКІЗАТ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ.....	33
2.1 Қолданылатын шикізаттарға сипаттама және техногендік материалдар.....	33
2.2 Шикізат және алынатын материалдарды зерттеу әдістері.....	42
Бөлім бойынша қорытындылар.....	44
3 ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЭНЕРГИЯ ҮНЕМДЕЙТІН, ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗА ШИКІЗАТ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ КЛИНКЕР ТҮЗІЛУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	46
3.1 Күйдіру процестерін зерттей отырып, Састөбе әктасын, Ащысай клинкерін және қорғасын шлагын ұсақтау қалдықтарын пайдалана отырып, энергия үнемдейтін, экологиялық таза шикізат қоспаларын іріктеу және есептеу.....	46
3.2 Оңтүстік Қазақстан цемент зауыттарының шикізат шихталарының компоненттерін әртүрлі техногендік қалдықтармен ішінара немесе толық ауыстыру бойынша зерттеулер.....	59
3.3 Толығымен өнеркәсіп қалдықтарынан тұратын шикізат шихталарының құрамын және күйдіру процестерін таңдау.....	66
3.4 Ачисай темір зауытының клинкерін белит клинкерін синтездеу үшін пайдалану.....	81
3.5 Әктас, көмір өндіру, тефритобазальт және қорғасын шлагының қалдықтарын қамтитын шикізат қоспаларын күйдіру процестерін зерттеу.....	86
Бөлім бойынша қорытындылар.....	92
4 ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЦЕМЕНТ ӨНДІРУДІҢ АЗ ЭНЕРГИЯНЫ ҚАЖЕТ ЕТЕТІН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТЕХОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ.....	94
4.1 Цемент өндіруге жарамды Оңтүстік Қазақстанның минералды қалдықтарының кадастрын әзірлеу.....	94
4.2 Карьерлік шикізатты өнеркәсіптік қалдықтармен толық ауыстыру кезінде портландцемент өндірісінің энергия-ресурс үнемдеуші технологиясының технологиялық схемасын әзірлеу.....	100

4.3 Маркерлерді, сондай-ақ цемент өндірісінің аз энергияны қажет ететін «жасыл» технологиясының экологиялық және технологиялық тиімділігінің көрсеткіштерін таңдау және негіздеу.....	102
4.4 Карьерлік шикізатты өнеркәсіптік қалдықтармен толық ауыстыру кезінде портландцемент өндірісінің энергия-ресурс үнемдеу технологиясының технологиялық регламентін әзірлеу.....	105
4.5 Мырыш кендерін вельцилену клинкерінің дозиметриялық бақылауы.	107
4.6 Энергия – ресурс үнемдеу технологияларын пайдалану кезінде CO ₂ шығарындыларын есептеу.....	108
Бөлім бойынша қорытындылар.....	113
5 ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ӨНДІРІСІНІҢ ЭНЕРГИЯ-РЕСУРС ҮНЕМДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН ЕСЕПТЕУ.....	115
Бөлім бойынша қорытындылар.....	116
ҚОРЫТЫНДЫ.....	118
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	120
ҚОСЫМША А – Патент.....	127
ҚОСЫМША Ә – Дозиметриялық бақылау хаттамасы.....	128
ҚОСЫМША Б – Енгізу акт.....	130
ҚОСЫМША В – Технологиялық регламент.....	132

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертациялық жұмыста келесідей мемлекеттік үлгіқалыптарға сілтемелер жасалды:

EN 196-1. Methods of testing cement. Determination of strength.

EN 196-6. Methods of testing cement. Determination of fineness.

МЕСТ 310.2-76. Ұнтақтаудың ұсақтылығын анықтау әдістері.

МЕСТ 310.3-76. Цементтер. Қалыпты тығыздығы, ұстасу уақытын және көлемінің өзгеруінің біркелкілігін анықтау әдістері.

МЕСТ 310.4-81. Цементтер. Иілу және қысу кезінде беріктік шегін анықтау әдістері.

МЕСТ 5382-91. Цемент және цемент өндірісінің материалдары. Химиялық талдау әдістері.

МЕСТ 10178-85. Портландцемент және шлакопортландцемент. Техникалық шарттар.

МЕСТ 22266-2013. Сульфатқа төзімді цементтер. Техникалық шарттар.

МЕСТ 31108-2020. Жалпы құрылыс цементтері. Техникалық шарттар.

МЕСТ Р54194-2010. Ресурстарды үнемдеу. Цемент өндірісі. Энергия тиімділігін арттырудың ең жақсы қолжетімді технологиялары.

АНЫҚТАМАЛАР

Диссертациялық жұмыста төмендегідей анықтамаларға сәйкес терминдер қолданылды:

Портландцемент – суда және ауада қатайтатын бейорганикалық тұтастырғыш зат, портландцемент клинкері мен гипсті бірге ұнтақтау.

Клинкер – жоғары негізді силикаттардың, алюминаттардың және кальций алюиноферриттерінің синтезін қамтамасыз ететін шикізат қоспаларының 1400-1500°C температурада жентектелу дейін күйдіру өнімі.

Мырыш кендерін вельцилеу клинкері – мырыш пен қорғасынның төменгі сұрыпты кендерін байыту кезінде айналмалы құбырлы пеште мырыш, қорғасын және кадмийді қалпына келтіру процесінде түзіледі.

Көмір өндірудің қалдықтары–бұл құрамында жанғыш материалдар бар шахта үйінділері.

Әктас-негізінен сазды материал, доломит, кремний диоксиді, темір оксидтерінің қоспалары бар кальций карбонатынан тұратын шөгінді тау жынысы.

Әктас ұсақтау қалдықтары – әктасты ұсақтау және елеу нәтижесінде түзілетін, бөлшек өлшемі 0-ден 15-20 мм-ге дейінгі майда дисперсті іріктеме болып табылады.

Тефритобазальт – қалыпты қатардағы негізгі эффузивті жыныс, кайнотипті жыныстардың ең кең таралғаны, тефриттерден базальттарға ауысады.

Қорғасын шлағы-дәндерінің мөлшері негізінен 0,25-3 мм болатын қара түсті ұсақ түйіршікті материал.

Саз – бірнеше сазды минералдардан тұратын жұқа түйіршікті шөгінді тау жынысы, ылғалданған кезде икемділікке ие болады немесе қышқылданады.

Лесс – әр түрлі қоспалары бар құм, саз және кальций көмірқышқыл газының ұсақ түйіршіктерінен тұратын өте ұсақ түйіршікті, сарғыш құмды-мергельді шөгінділер.

Бос СаО - кальций оксиді пеште шикізат шихтасын күйдіру процесінде клинкер минералдарына қосылуға үлгермеген.

Беріктік – материалдың сыртқы күштердің әсерінен болатын кернеулер кезінде сынуға қарсы тұру қабілеті.

Марка – цемент үлгілерінің иілу және қысу беріктігінің көрсеткіші.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

$\text{CaO}_{\text{бос}}$	– бос кальций оксиді
C_3S	– алит
C_2S	– белит
C_3A	– үш кальций алюминат
C_4AF	– Төрт кальцийлі алюминий феррит
КН	– Қанығу коэффициенті
n	– силикатты модуль
p	– глиноземді модуль
МПа	– мегапаскаль
кг.ш.о.	– кг шартты отын
ККСЖ	– Күйдіру кезіндегі салмақтың жоғалуы
ДТА	– дифференциалды-термиялық анализ
РФА	– рентгенофазалық анализ
РЭМ	– растролы электронды микроскопты анализ
ҒЖБССҚК	– Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті
ҚР ҒЖБМ	– Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім министрлігі
БҒМ	– Білім және ғылым министрлігі
ҚР	– Қазақстан Республикасы
МЕСТ	– Білім және ғылым министрлігі
СЭДМ	– сканерлеуші энергия дисперсиялық микроанализ
га	– гектар
ИБАСЗ	– Инженерлік бейіндегі аймақтық сынақ зертханасы
ЭДҚ	– экспозициялық дозаның қуаты
РССЗ	– 3 компонентті шикізат қоспасын есептеу бағдарламасы
ДРОН-3	– Жалпы мақсаттағы рентгендік Дифрактометр
ПЦ	– портландцемент
ШПЦ	– шлакопортландцемент
ЦЕМ-I,	– цемент түрінің белгілері
ЦЕМ-II	
және т.б.	

КІРІСПЕ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Құрылыс индустриясының дамуы цемент өндірісінің көлемін ұлғайтуды, сонымен бірге оның өзіндік құны мен қоршаған ортаға әсерін азайтуды талап етеді. Қазіргі жағдайда цемент клинkerінің күйдіру температурасын төмендетуге және өнеркәсіптік қалдықтарды тиімді пайдалануға бағытталған энергияны аз қажет ететін, ресурстарды үнемдейтін технологияларды әзірлеу ерекше өзекті болып отыр.

Ұсынылған жұмыста мырыш және қорғасын өндірісінің қалдықтарын, атап айтқанда мырыш кендері мен қорғасын шлактарын өңдейтін клинkerді пайдалана отырып, цемент клинkerін алу мүмкіндігі зерттелді. Зерттеулер клинker өндірісіндегі энергия шығынын және CO_2 шығарындыларын азайтып қана қоймай, сонымен қатар экологиялық қауіп төндіретін техногендік қалдықтарды тиімді жоюға мүмкіндік беретін технологияны негіздеуге бағытталған.

Жұмыста цемент зауыттары да, полиметалл кендерін қайта өңдеу кәсіпорындары да орналасқан Оңтүстік Қазақстанның өнеркәсіптік кәсіпорындарына ерекше назар аударылды. Атап айтқанда, тарихи тұрғыдан аймақтағы мырыш пен қорғасынның маңызды көздерінің бірі болып табылатын Ащысай кен орнының шикізатын өңдеу кезінде алынған мырыш кендерінің вельцилеу қалдықтарының құрамы зерттелді.

Мырыш кендері мен қорғасын шлактарын клинkerмен өңдеудің кешенді химиялық-минералогиялық талдауы жүргізілді. Бұл қалдықтар кремний, алюминий, кальций және темір оксидтерінің жоғары мөлшерімен, яғни цемент клинkerінің негізгі компоненттерімен, сондай-ақ клинker минералдарының түзілуіне қатысуға қабілетті қайталама қоспалардың едәуір мөлшерімен сипатталатыны анықталды. Клинker мен қорғасын шлактары темір түзету қоспасын толығымен алмастыра алатындығы көрсетілген.

Қалдықтардың белсенді компоненттерін пайдалану есебінен төмен температурада цемент клинkerін алу технологиясы әзірленді және негізделді, бұл процестің энергия сыйымдылығын классикалық технологиямен салыстырғанда 15-20%-ға дейін айтарлықтай төмендетуді қамтамасыз етеді. Мырыш кендері, фосфор, қорғасын қождары, көмір өндіру қалдықтары және т.б. клинkerлерді қолдану арқылы алынған клинkerлер мен цементтерге жан-жақты зерттеулер жүргізілді және олардың тиісті минералогиялық құрылымы мен портландцементті аз энергия өндіруге жарамдылығы расталды.

Тақырыптың өзектілігі. Цемент клинkerін өндіру құрылыс индустриясындағы ең көп энергия жұмсалатын және экологиялық тұрғыдан жүктемесі жоғары процестердің бірі болып табылады. Жоғары күйдіру температурасы (шамамен 1450°C) отын шығынының едәуір артуына және CO_2 шығарындыларының көбеюіне алып келеді. Қазіргі жағдайда аз энергия жұмсайтын және ресурстарды үнемдейтін технологияларды әзірлеу ерекше маңызға ие. Мырыш пен қорғасын өндіру қалдықтарын және басқа да өндірістік қалдықтарды шикізат ретінде пайдалану энергия шығынын азайтуға,

ресурстарды ұтымды пайдалануға және техногендік қалдықтарды экологиялық қауіпсіз түрде пайдаға жаратуға мүмкіндік береді.

Оңтүстік Қазақстан – металлургия саласы дамыған және мұндай технологияларды енгізу үшін айтарлықтай әлеуеті бар өңір, өйткені мұнда мырыш пен қорғасын рудаларын өндіру және өңдеумен айналысатын ірі кәсіпорындар, сондай-ақ өнімнің өзіндік құнын төмендетуге және өндірістің экологиялық тиімділігін арттыруға мүдделі цемент зауыттары шоғырланған.

Мырыш рудаларын вельцилену клинкерлері мен қорғасын шлактарын пайдалана отырып, цемент клинкерін өндірудің аз энергия жұмсайтын технологиясын әзірлеу цемент өндірісінің энергия тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігін арттырумен қатар, тұтас өңірдің тұрақты дамуына да ықпал етеді.

Осылайша, тақырыптың өзектілігі өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалану арқылы цемент клинкерін өндірудің энергия және ресурс үнемдеуді, экологиялық қауіпсіздікті, сондай-ақ экономикалық тиімділікті арттыруға бағытталған инновациялық технологиялық шешімдерді енгізудің өзекті қажеттілігімен айқындалады.

Портландцемент – энергияны көп қажет ететін өнім, себебі цементтің негізі – клинкер – жоғары температурада (шамамен 1450°C) күйдіріледі. Клинкерді күйдіру – көп сатылы және күрделі процесс. 1 тонна цемент өндіруге шамамен 5 тонна шикізат, қоспалар, отын, су, ауа, отқа төзімді материалдар және т.б. жұмсалады. 1 тонна клинкер өндіруге жұмсалатын отын шығыны сулы әдіспен – 220–240 кг, ал құрғақ әдіспен – 100–120 кг шамасында. Қазақстанда қазіргі уақытта 14 зауыт клинкерді құрғақ әдіспен және 3 зауыт сулы әдіспен өндіреді. Сондықтан клинкерді күйдіру процестері, энергия үнемдеу және экология мәселелері өзекті әрі маңызды болып қала береді [1, 2].

Бүгінгі таңда Қазақстанда және басқа да елдерде тұрақты дамудың өзекті мәселелеріне, қоршаған орта мен климат жүйесіне антропогендік әсерді азайтуға, соның ішінде негізгі өнеркәсіп салаларында парниктік газдар шығарындыларын төмендетуге айрықша көңіл бөлінуде [3-5]. Цемент өндіру – материалдық және энергия сыйымдылығы өте жоғары үдеріс болып табылады және ол айтарлықтай мөлшерде көмірқышқыл газының бөлінуімен байланысты.

Цемент өндірісі атмосфераға парниктік газдарды шығаруда жетекші салалардың бірі болып саналады [6]. Әлемдік цемент өнеркәсібі жыл сайын жаһандық CO₂ шығарындыларының шамамен 6-7%-ын [7] және антропогендік парниктік газдардың 5-7%-ын өндіреді [8-10]. Цемент клинкерін өндіру кезінде үлкен көлемде CO₂ парниктік газы түзіледі, ол карбонат құрамдас шикізатты декарбонизациялау кезінде (технологиялық CO₂) және отынның жануы кезінде (энергетикалық CO₂) бөлінеді [11]. Цемент саласында отын-энергетикалық ресурстарға жұмсалатын шығындар дайын өнімнің өзіндік құнының шамамен 40%-ын құрайды [12]. Нақтырақ айтқанда, 1 тонна клинкер өндіру барысында қоршаған ортаға 840–900 кг CO₂ шығарылады [11, с. 2-103; 13]. Сондықтан клинкерді күйдіруге жұмсалатын отын шығынын және CO₂ парниктік газының шығарылуын азайтуға мүмкіндік беретін аз энергия сыйымды, ресурстарды үнемдейтін технологияларды әзірлеу аса өзекті болып табылады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты:

Мырыш және қорғасын өндірісінің, сондай-ақ өзге де техногендік қалдықтарды пайдалана отырып, энергия шығынын азайтатын, экологиялық қауіпсіз және ғылыми негізделген цемент клинкерін алу технологиясын әзірлеу. Бұл технология техногендік материалдарды тиімді пайдаға жаратуға, энергетикалық шығындарды төмендетуге және портландцемент өндіруге жарамды жоғары эксплуатациялық қасиеттері бар клинкер алуға мүмкіндік береді.

Зерттеу міндеттері

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешіледі:

1. Цемент клинкерін өндіруге арналған шикізат қоспасының құрамдас бөлігі ретінде олардың жарамдылығын бағалау мақсатында мырыш және қорғасын өндіру қалдықтарының, сондай-ақ басқа да өнеркәсіптік қалдықтардың химиялық және минералдық құрамына кешенді талдау жүргізу.

2. Қалдықтарды пайдалана отырып, төмен күйдіру температураларында клинкер алуға мүмкіндік беретін және дайын өнім сапасын төмендетпейтін оңтайлы шикізат қоспаларының құрамын әзірлеу.

3. Энергия шығындарын барынша азайту және клинкердің қажетті сапасын қамтамасыз ету мақсатында күйдіру процесінің оңтайлы технологиялық параметрлерін эксперименттік түрде анықтау.

4. Өнімнің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін алынған клинкер мен цементтің, ауыр металдардың және клинкердің минералды құрылымындағы басқа да зиянды компоненттердің физика-механикалық және физика-химиялық қасиеттерін бағалау. Әзірленген технологияны енгізу барысында атмосфераға көмірқышқыл газының шығарылуын азайту мүмкіндіктерін айқындау.

5. Өнеркәсіптік қалдықтар негізінде клинкер мен цемент өндірудің қалдықтар кадастрын, технологиялық сызбасын және технологиялық регламентін әзірлеу.

Зерттеу нысаны мен әдістері. Зерттеу нысаны – түсті металлургия қалдықтарын, атап айтқанда Ащысай металлургия зауытының мырыш рудаларын вельцилеу кезінде түзілетін клинкерлерді, қорғасын шлактарын және басқа да қалдықтарды пайдалана отырып, цемент клинкерін өндіру процесі болып табылады.

Бұл қалдықтардың химиялық және минералдық құрамына, олардың клинкер минералдарының түзілуіне әсеріне, сондай-ақ күйдіру процесінің энергия сыйымдылығына және алынатын цемент клинкерінің сапасына ерекше назар аударылады.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:

– Табиғи және көптонналық техногендік шикізат негізінде портландцемент клинкерін алу үшін әзірленген ресурсты үнемдейтін шикізат қоспалары күйдіру температурасының 100 °C-қа төмендеуін, отын шығынының 10–15 % азаюын және жылу шығынының 150–200 кДж/кг-ға қысқаруын қамтамасыз етеді.

– табиғи шикізатты техногендік қалдықтармен толық немесе ішінара алмастыру анықталды: ащысай клинкері, грануляцияланған қорғасын

шлактарымен. Осы негізде аз энергия тұтынатын және ресурсты үнемдейтін шихталар әзірленді, олар табиғи шикізатты 30–90 % ауыстырып, 1 т клинкерге қажетті шикізат шығынын 0,1–0,2 т/т азайтуға мүмкіндік береді. Әр түрлі құрылыс және арнайы цементтер үшін шихталардың құрамы есептелді.

– энергияны аз қажет ететін технологияларды пайдалану кезінде атмосфераға CO_2 шығарындыларын есептеу орындалды. Ащысай клинкерін шикізат қоспасында түзетуші темірлі қоспа ретінде қолданғанда атмосфераға CO_2 шығарындылары 1 тонна клинкерге 64 кг (12,08%) төмендейді, ал қорғасын шлагын қолданғанда 1 тонна клинкерге 42 кг (7,9%) төмендейді;

– радиологиялық зертхана бойынша Ащысай металлургия зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинкерін дозиметриялық бақылаудан өткізу жүргізілді. Вельцилеу клинкерінің үлгісінде өлшенген доза қуаты 0,15 мкЗв/сағат, н/сек құрады, бұл радиациялық қауіпсіздік нормаларына сәйкес келеді. Қабылданған доза қуаты 0,2 + фон (мкЗв/сағат, н/сек) болып табылады;

– клинкерді күйдіру процестерінің негізгі көрсеткіштерін жақсарту мүмкіндіктері: сұйық фазаның мөлшері, күйдіруге қабілеттілік индексі (оптим. 2,5-3,5), жылу калориметриялық модулі (оптим. 0,3-1,8), жентектелу коэффициенті (оптим. 0,5-0,6), клинкер түзілуінің жылу әсері, футеровкаға жабысу коэффициенті (оптим. 3,0-5,0) және т.б.

Зерттеудің негізгі нәтижелері:

Зерттеу пәні – мырыш, қорғасын және басқа да өндіріс қалдықтарының құрамы мен қасиеттерінің цемент клинкерінің түзілу процестеріне, осы қалдықтарды пайдалана отырып жүргізілетін төмен температуралы шикізат қоспаларын күйдіру реакцияларының өту ерекшеліктеріне, сондай-ақ өндірістің энергия тиімділігіне және алынатын портландцемент клинкерінің сапасына әсері.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу:

1. Мырыш және қорғасын өндірісінің қалдықтарын, сондай-ақ басқа да техногендік шикізатты пайдалану арқылы цемент клинкерін өндірудің аз энергия сыйымды және экологиялық таза технологиялары теориялық және эксперименттік тұрғыдан негізделді. Бұл технологиялар дәстүрлі тәсілдермен салыстырғанда күйдіру температурасын 100-150°C-қа төмендетуге мүмкіндік береді.

2. Түсті металлургия қалдықтарының, қоспа оксидтерінің химиялық және минералдық құрамының төмен температуралы күйдіру жағдайында цемент клинкерінің негізгі минералдарының түзілуіне әсер ету заңдылықтары анықталды.

3. Ащысай металлургия зауытының мырыш рудаларын вельцилеу кезінде түзілетін клинкердің химиялық-минералдық құрамы, шикізат қоспаларының құрамы мен модульдік сипаттамаларының күйдіру кезіндегі отынның меншікті шығынына және атмосфераға шығарылатын көмірқышқыл газының мөлшеріне әсер ету факторлары белгіленді.

4. Мырыш және қорғасын өндірісінің қалдықтарымен дәстүрлі компоненттердің бір бөлігін алмастыру арқылы алынған шикізат қоспаларының

оңтайлы құрамдары әзірленді, бұл клинкердің пайдалану сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді.

5. Клинкер құрылымында ауыр металдар мен улы компоненттердің бекітілу тетіктері анықталды, бұл өнімнің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, қауіпті қалдықтарды тиімді пайдалануға ықпал етеді.

Жұмыстың теориялық маңыздылығы металлургиялық өндіріс қалдықтарын, атап айтқанда мырыш және қорғасын өндірісінің қалдықтарын пайдалана отырып, цемент клинкерінің түзілу процестері туралы ғылыми көзқарастарды кеңейту және тереңдетуде жатыр. Төмен температуралы күйдіру жағдайында вельцилену клинкерінің, қорғасын шлактарының және басқа қалдықтардың құрамының минерал түзілу кинетикасына және цемент клинкерлерінің фазалық құрамына әсері туралы жүйелі деректер алынды.

Шикізат қоспасының компоненттерінің өзара әрекеттесуінің жаңа модельдері әзірленді, олар қалдықтардың кешенді химиялық құрамын және олардың активтілігін ескереді. Бұл аз энергия жұмсалатын күйдіру режимдерін негіздеуге және портландцементтің негізгі минералдарын синтездеудің тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді.

Алынған нәтижелер тұрақты ресурстарды пайдалану теориясын және жоғары температуралы процестердің термохимиясын дамытуға ықпал етеді, сондай-ақ құрылыс технологияларында техногендік материалдарды экологиялық қауіпсіз қолдану саласындағы білімді кеңейтеді.

Әзірленген технология оның тиімділігін және Оңтүстік Қазақстандағы цемент зауыттарында өндірістік енгізуге жоғары перспективалық екенін дәлелдейді.

Осылайша, жұмыс материалтану және цемент өндірісі технологиясының негізгі негіздеріне, сондай-ақ өнеркәсіптік қалдықтарды пайдаға жарату және атмосфераға көмірқышқыл газының шығарындыларын азайту теориясына елеулі үлес қосады.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы:

1. Мырыш және қорғасын өндірісінің қалдықтарын, сондай-ақ басқа қалдықтарды пайдалана отырып цемент клинкерін аз энергия жұмсалатын технологиямен өндіруді Оңтүстік Қазақстандағы цемент зауыттарына енгізу клинкерді күйдіру температурасын 50-100°C төмендетуге, күйдіруге арналған отынның меншікті шығынын 10-15% азайтуға, пештердің өнімділігін 10-12% арттыруға, өнім шығаруды көбейтуге және кәсіпорындардың экономикалық тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді.

2. Вельцилену клинкерін, қорғасын және басқа шлактарды рационалды пайдалану жаһандық экологиялық мәселелерді шешуге ықпал етеді: цемент өндірісінде көмірқышқыл газының шығарындыларын азайтуға, көптонналық қалдықтарды пайдаға жаратуға, металлургиялық өндіріс пен басқа салалардың қауіпті қалдықтарының жиналуымен байланысты табиғатқа және қоршаған ортаға келетін қауіп-қатерлерді жоюға немесе азайтуға.

3. Табиғи шикізатты өндіріс қалдықтарымен жартылай алмастыру кезінде парниктік газдар мен басқа ластаушы заттардың (NO_x , SO_3 , CO) шығарындылары төмендейді. Бұл 1 тонна клинкер алу үшін шикізаттың

меншікті шығынын азайтуға, шикізат қоспасындағы карбонат құрамын төмендетуге, клинкерді күйдіру температурасын және күйдіруге арналған отынның меншікті шығынын азайтуға байланысты жүзеге асады.

4. Металлургиялық өндіріс қалдықтарын және басқа шикізаттарды пайдалана отырып аз энергия жұмсалатын, экологиялық таза шикізат қоспаларын дайындау және күйдіру процесі үшін нормативтік құжаттар мен технологиялық регламенттер әзірленді.

5. Клинкердің құрылымдық-фазалық сипаттамаларын жақсарту арқылы цемент материалдарының сапасы мен беріктігі артады.

6. Зерттеу нәтижелері цемент технологиясы және ресурстарды үнемдеу саласында оқыту процесінде және кадрларды дайындауда қолданылады.

Диссертацияның ғылым дамуы бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі.

Диссертациялық жұмыс BR21882292 - Бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде орындалды – «Тұрақты құрылыс саласының интеграциялық дамуы: инновациялық технологиялар, өндірісті оңтайландыру, ресурстарды тиімді пайдалану және технологиялық парк құру».

Докторанттың әрбір тармақты даярлаудағы жеке үлесі мыналарды қамтиды:

- ұқсас зерттеулер бойынша әдеби деректер талданды;
- диссертациялық зерттеулердің мақсаты мен міндеттері қалыптастырылды;
- клинкерді энергия аз жұмсалатын және экологиялық таза әдіспен өндіру үшін әртүрлі көптонналық өндіріс қалдықтары таңдалып, негізделді;
- қалдықтардың химиялық-минералдық құрамы зерттеліп, оларды цемент өндірісінде пайдалану жолдары негізделді;
- өнеркәсіптік көптонналық қалдықтар негізіндегі клинкерлерді жоғары температурада синтездеу процестері зерттелді;
- қалдықтар мен минерализаторлар қосылған қоспаларда негізгі клинкер минералдарын алу процестерін төмен температурада аяқтау негізделді;
- цемент клинкерін алу үшін аз энергия жұмсалатын шикізат қоспалары және қалдықтарды кәдеге жарату технологиялық схемалары әзірленіп, негізделді;
- қолданылған өндірістік қалдықтардың зиянсыз екендігі көрсетілді;
- орындаған диссертациялық жұмыстың қорытындысы қалыптастырылды.

Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 8 ғылыми еңбек жарияланды, оның ішінде 1 мақала – халықаралық Scopus ақпараттық базасына кіретін журналда, сондай-ақ 4 мақала – ҚР БҒМ Ғылым комитетінің ҒЖБССҚК ұсынған ғылыми басылымдарда, және 2 баяндама мен баяндамалар тезистері – халықаралық және шетелдік ғылыми конференциялар еңбектерінде жарық көрді. Сонымен қатар, 1 өнертабысқа Қазақстан Республикасының патенті алынды:

1. Production of composite cement clinker based on industrial waste // Journal of Composites Science. – 2024. – Vol. 8. – P. 257-275 (Q-2, процентиль -76).

2. Ащысай металлургиялық зауытының клинкерін портландцемент клинкерін алуға реттеуші қоспа ретінде қолдануды зерттеу // ҚР ҰҒА баяндамалары. Химия ғылымдары сериясы. – 2023. – №3. – Б. 146-156.

3. Ащысай металлургиялық зауытының клинкерін белитті клинкер синтездеу үшін қолдану // ҚР ҰҒА хабаршысы. Химия және технология сериясы. – 2024. – №1. – Алматы. – Б. 83-93.

4. Металлургиялық шлактардан алынатын клинкерлердің микроқұрылымын зерттеу // ҚР ҰҒА баяндамалары. Химия ғылымдары сериясы. – 2025. – №2. – Б. 242-257.

5. Modern trends in the development of cement production // Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Technical Science and Technology Series. – 2024. – №2(151). – P. 38-58.

6. Investigation of chemical and mineralogical composition and technological properties of industrial waste for cement production // Proceedings of the 10th international annual conference «Industrial Technologies and Engineering» (ICITE – 2023) (Shymkent, 2023. – P. 180-184).

7. Клинкер мен портландцемент алу үшін өнеркәсіп қалдықтарын қолдану мүмкіндігін зерттеу // Заманауи құрылыс материалдары, технологиялары және конструкциялары: халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары (Шымкент: М. Әуезов атындағы ОҚУ, 2025. – Б. 215-219).

8. Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера: Патент на изобретение №36495 (Қосымша А).

Диссертацияның құрылымы мен көлемі.

Диссертация машинада басылған 126 бетте ұсынылған және 57 кесте мен 16 суреттен тұрады. Ол кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен (110 атау), 4 қосымшадан тұрады.

1 ӘДЕБИ ШОЛУ. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ӨНДІРІСІНДЕ ТЕХНОГЕНДІК ШИКІЗАТТЫ ПАЙДАЛАНУДЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

1.1 Портландцемент өндірісінде шикізат компоненттері ретінде техногендік өнімдерді пайдалану жолдары

Портландцемент-энергияны қажет ететін өнім, өйткені цементтің негізгі клинкер - 1450°C жоғары температурада күйдіріледі. Клинкерді күйдіру-күрделі көп сатылы процесс. 1 тонна цемент шығаруға шамамен 5 тонна әр түрлі материалдар жұмсалады: шикізат, қоспалар, отын, су, ауа, отқа төзімді заттар, цемент диірменінің ұнтақтағыш денелері және т.б. қолданылатын материалдардың сипаттамаларына байланысты құрғақ және сулы өндіріс әдістерінің технологиялары бар. Бұл ретте клинкердің 1 тоннасына жұмсалатын отынның үлестік шығыны дымқыл әдіспен 220-240 кг, ал құрғақ әдіспен – 100-120 кг [1, с. 2-125; 2, с. 3-446] құрайды. Қазақстан Республикасында 14 зауыт құрғақ және 3 зауыт сулы тәсілмен клинкер шығарады. Сондықтан клинкерді күйдіру және энергияны үнемдеу процестері, әсіресе Клинкерді алудың сулы әдісімен маңызды және өзекті болып қала береді.

Бүгінде Қазақстан Республикасында және әлемде орнықты даму проблемаларына, қоршаған ортаға және климаттық жүйеге антропогендік әсерді қысқартуға, оның ішінде өнеркәсіптің негізгі салаларында парниктік газдар шығарындыларын азайтуға көбірек көңіл бөлінуде [3, р. 185-188; 7, р. 104-114; 5, р. 4-11]. Цемент өндірісі көмірқышқыл газының едәуір мөлшерін шығарумен байланысты өте көп материалды және энергияны қажет ететін процесс.

Цемент өнеркәсібі парниктік газдарды атмосфераға шығару бойынша көшбасшылардың бірі болып табылады [6, р. e00629]. 1 тонна цемент клинкерін күйдіру кезінде атмосфераға 840-900 кг CO₂ бөлінеді [13, р. 2-25]. Сондықтан клинкерді күйдіру үшін отын шығынын және CO₂ парниктік газ шығарындыларын азайтуға мүмкіндік беретін өнеркәсіптік қалдықтарды барынша пайдаға жарату арқылы энергияны аз қажет ететін, экологиялық таза, ресурс үнемдейтін технологияларды әзірлеу өте өзекті болып табылады.

Клинкер түзілу процестері және клинкерді күйдіру үшін меншікті жылу шығыны көптеген факторларға байланысты. Олардың негізгілеріне шикізат пен қоспаның түрі, табиғаты, құрамы, оның модульдік сипаттамалары, өндіру әдісі, күйдіру температурасы, технологиялық процесті оңтайландыру, шикізаттың қасиеттері, өндірілетін клинкердің түрі мен сорты және т.б. жатады.

Клинкердің күйдіру температурасын төмендету, клинкердің түзілу процестерін жеделдету және тиісінше минерализатор қоспаларын қолдану, клинкердің минералогиялық құрамын өзгерту (мысалы, белит, сульфоалюминат клинкерін шығару), шикізат ретінде карбонат емес әк - домна, электротермофосфор, болат түйіршіктелген немесе кристалданған шлактары бар өнеркәсіптің әртүрлі қалдықтарын пайдалану арқылы отынның меншікті шығынын азайтуға болады. түсті металлургия шлактары. Бұл қалдықтар алдыңғы процесте термиялық өңдеуден өткен және құрамында кальций мен магний карбонаты жоқ [1, с. 3-125; 2, с. 3-447; 9, с. 124-127].

Табиғи шикізатты пайдалана отырып цемент өндірудің дәстүрлі технологиясында CaCO_3 диссоциациясына жылудың едәуір мөлшері – шамамен 2100 кДж/кг жұмсалады. Сондықтан ең тиімді өнеркәсіп қалдықтары құрамында карбонатты емес әктің ең көп мөлшері бар немесе мүлде жоқ қалдықтар болып табылады.

Токсиндердің маңызды сипаттамасы олардың кристалдану дәрежесі болып табылады, өйткені шынысыздану кезінде 400 кДж/кг дейін жылу бөлінеді, бұл сонымен қатар айналмалы пеште күйдіру процесінде клинкер түзілу энтальпиясын төмендетеді.

Шлактарды пайдалану кезінде клинкерді күйдіру үшін жылу шығынының төмендеуі ең алдымен келесі факторларға байланысты [1, с. 3-125; 14, 15]:

- бір тонна клинкерге шикізаттың үлестік шығынын жалпы алғанда 10-20%-ға төмендету;
- сулы тәсілмен күйдірілетін шикізат шихтасының жалпы ылғалдылығын 38-ден 20-25%-ға дейін төмендету арқылы пештің түйіршікті домна немесе фосфор шлактарымен қосымша қоректенуі кезінде;
- декарбонизацияны қажет ететін шикізат қоспасындағы материал үлесін 75-77%-дан 50-60%-ға дейін төмендету;
- фосфор шлагын немесе басқа минерализаторларды пайдаланған кезде клинкерді күйдіру температурасының 50-100°C төмендеуі;
- карбонаттардың, шикізаттағы ылғалдың және күйдіруге жұмсалатын жылудың азаюы салдарынан пештен шығатын газ шығарындыларының көлемінің азаюы.

Бұл факторлардың жылу шығынын азайтуға бірлескен әсері 300-400 ккал/кг клинкерді құрайды [1, с. 3-125; 2, с. 3-447; 14, р. 347-354].

Клинкерді күйдіру (1450°C) кезіндегі айтарлықтай энергия шығынынан басқа, цемент өнеркәсібі әлі де табиғи шикізаттың көп мөлшерін пайдаланады. Сондықтан өнеркәсіптік қалдықтардан портландцемент клинкерін өндіру ресурстарды тиімді пайдалану және қоршаған ортаға тигізетін әсерді азайту тұрғысынан маңызды міндет болып табылады. Бұл шешім табиғи ресурстарды сақтап, қалдықтарды қайта өңдеп қана қоймайды, сонымен қатар CO_2 шығарындыларын азайтады.

Көптеген елдердің ғалымдары қалдықтардың әртүрлі түрлерін және олардың күйдіру процесіне, цемент сапасына әсерін, сондай-ақ баламалы шикізат компоненттерін пайдалануды ескере отырып, өндірістің технологиялық процестерін оңтайландыруды зерттеді. Бұл тәсілдің экономикалық орындылығын, соның ішінде өндірісті модернизациялау шығындарын және өнеркәсіптік қалдықтарды пайдаланудың ықтимал экономикалық пайдасын ескеру маңызды.

Шлактарды шикізат ретінде пайдаланған кезде айналмалы пештер жоғары өнімділікпен жұмыс істейді, клинкер түзілу процестеріне жылу шығыны азаяды, кальций карбонатының ыдырауының эндотермиялық реакциясына жылу шығыны азаяды.

Оңтүстік Қазақстан университетінің «Цемент, керамика және шыны технологиялары» кафедрасында. М. Әуезов атындағы ОҚУ (М. Әуезов

атындағы ОҚУ) клинкерді күйдіру процесін жақсарту және қарқындату, процестің энергия тиімділігін арттыру, отын шығынын азайту, дәстүрлі табиғи шикізат толығымен немесе ішінара техногендік шикізатпен ауыстырылған атмосфераға көмірқышқыл газының шығарындыларын азайту бойынша ауқымды зерттеулер жүргізілді [15, с. 3-198; 16-20]. Шикізат шихтасының (лесс) дәстүрлі карбонатты және алюмосиликатты құрамдас бөліктерін Ленгір көмір кеніштерінің көмір өндіру қалдықтарымен, Оңтүстік Қазақстандағы Даубаба кен орнының магмалық тау жыныстары – тефритобазальтымен, электротермофосфор және домна пешінің шлактарымен, қорғасын шлактарымен ішінара ауыстыру бойынша зерттеулер жүргізілді.

Бастапқы партиядағы сазды және құрамында темірі бар компонентті тефритобазальтпен және қорғасын шлагымен ауыстыру күйдіру температурасын 100°C-қа төмендетті. Шикізаттың үлестік шығыны 1,481 т/т клинкерді құрады, бұл дәстүрлі қоспалармен салыстырғанда шамамен 60-70 кг төмен. Дәстүрлі емес құрамдас бөліктердің жалпы көлемі 24,69% құрады. Даубаба кен орнындағы тефритобазальт минералдары клинкер түзілу процестерін жақсартты, күйдіру температурасының төмендеуіне ықпал етті және клинкерді күйдіру процесін күшейтті. Қоспаға 5-8% мөлшерінде түзеткіш темір қоспасы ретінде енгізілген қорғасын шлактары клинкер құрылымын және минералды түзілу процесін жақсартты және техногендік қалдықтарды қайта өңдеу есебінен қоршаған ортаға антропогендік әсерді азайтты. Клинкерлердің микроқұрылымы жақсарды. Цементтердің беріктігі 28 күн қатайғаннан кейін 41,8 МПа болды [17, р. 333-339; 19, с. 1-2; 21].

Тефритобазальт құрамында 45-50% кремний диоксиді, 9-15% глинозем, 8-12% темір оксиді, 10-12% кальций оксиді бар. Бұл цемент шикізатының құрамында көрсетілген оксидтердің қажетті мөлшерін толығымен немесе едәуір дәрежеде жабуға мүмкіндік береді. Фосфор шлагының карбонатты емес CaCO_3 декарбонизациясына жылу шығынын қажет етпейді [19, с. 2-3; 22]. Көмір өндірісінің қалдықтарында кремний диоксиді, алюминий тотығы және 18-24% көмір бар.

Электротермофосфорлы шлактар (ЭТФС) – сары фосфорды айдау әдісімен электр пештерінде өндіру және тез салқындату барысында түзілетін қосалқы өнім болып табылады. Олардың құрамында 90-95% дейін шыны бар. Түйіршікті шлактар негізінен шыны мен волластониттен тұрады. МЕМСТ 3476-2019 [23] талаптарына сәйкес фосфор шлактарында болуы тиіс, %: SiO_2 кемінде 40; CaO кемінде-43; P_2O_5 2,5 аспайды.

Әзірленген шикізат қоспаларындағы клинкер түзілу процестері 1350-1400°C кезінде аяқталады, бұл «Састобе Технолоджис» ЖШС, «Стандарт Цемент» ЖШС-де тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар жүргізу кезінде расталды [17, р. 333-339; 20, с. 4-140; 22, р. 814-822; 24].

Үнді ғалымдары қағаз және целлюлоза өнеркәсібінің әк шламын шикізат шихтасының карбонатты құрамдас бөлігі ретінде пайдаланды. Қанығу коэффициентінде (LSF) = 0,92 және 0,93, кремний диоксиді модулі (SM)=2,19 және глинозем модулі (AM)=1,12 1450°C температурада күйдірілген клинкерде алит фазасы көбірек (59% шегінде) және аз бос әк пайда болды. Осы

клинкерден жасалған цементтің беріктігі 28 күндік қатаюдан кейін 50-62 МПа құрады [25].

Ресейлік ғалымдар шикізат ретінде Оңтүстік Орал тау-кен байыту компаниясының қалдықтарын пайдаға жаратқан. Химиялық құрамы бойынша металлургиялық шлактар сазды және ішінара карбонатты компонентті алмастыра алады. Сазды шлакпен ауыстыру кезінде силикат фазаларының түзілуін сипаттайтын экзотермиялық процестер 1000 және 1200°C аралығында әлсіз көрінеді. бұл қоспалардағы балқу 1259 және 1308°C температурада тіркеледі. клинкердің негізгі балқымасы 1327°C температурада түзіледі. Клинкер фазаларының кристалдану ерекшеліктеріне «сұйық» фазаның құрамындағы кейбір өзгерістер де әсер етеді, оның температурасы мен балқыманың тұтқырлығы шикізат шихтасындағы шлактың ұлғаюымен жоғарылайды [26]. Технологиялық цемент процесін дамытудың маңызды тенденцияларының бірі-өндіріс процесін энергияны үнемдеу және көмірқышқыл газының шығарындыларын азайту.

Ян Дань, У Цзудэ, Се Цзяньфэн және т.б. [27] әртүрлі елдердің цемент алыптарының Lafarge, Holland, Heidelberg және CEMEX жүзжылдық даму тарихын, сондай-ақ қытайлық цемент кәсіпорындарының қарқынды өсуін талдай отырып, қазіргі уақытта әлемдік цемент өнеркәсібінің мынадай қағидаттарды қамтитын бірыңғай стратегиялық даму бағыты бар екенін анықтады:

1. Негізгі цемент бизнесіне назар аудару, бейінді емес активтерді бөлу және цемент бизнесін көлденең шоғырландыру (нарық ауқымы мен үлесін арттыру).

2. Тік интеграцияға назар аударыңыз, өндіріс алаңын толтырғыш пен бетон бизнесіне таратыңыз.

3. Аудандық шаруашылық қызметті құрылымдық реттеуді, жаһандануды және дамушы юбкалардағы біржолғы үздіксіз бизнесті кеңейтуді қатаңдату.

2023 жылы цементтің әлемдік өндірісі 2022 жылмен салыстырғанда 2,8% - ға ұлғайып, 3,7 млрд. тоннаны құрады.

2022 жылы Қытайда 2,1 млрд. тонна цемент, АҚШ-та 110 млн. тонна, Түркияда 73,7 млн. тонна, Иранда 63 млн тонна, Бразилияда 62,6 млн. тонна, Ресейде 60 млн. тоннаға жуық цемент шығарылды [28].

Қазақстан Республикасында 2023 жылы цемент өндіру көлемі 11,726 млн. т, ал клинкер – 7,834 млн. тоннаны құрады. Қазақстаннан цемент экспорты 1,184 млн. т, ал импорт 722,6 мың т болды. Ресейде цемент өндіру көлемі 2022 жылы 60,8 млн. т болса, 2023 жылы 62,85 млн. т-ға дейін артты.

1970 жылдардан бастап цемент компаниялары табиғи ресурстарды өндіріс қалдықтарымен алмастыру жұмыстарын зерттеп, жүзеге асыруда. Ғылым мен техниканың дамуымен және адамдардың қоршаған ортаны қорғау туралы хабардарлығының артуымен тұрақты даму проблемасына көбірек көңіл бөлінеді. Есо-Cement цемент зауыты Жапонияда 1990 жылдардың ортасында пайда болды. Цемент шикізатының қатынасында коммуналдық қалдықтар мен кәріз шламын жағудан күлдің үлесі 50%-ға жақындады. Жапониядағы цемент зауыттарының жартысы әртүрлі қалдықтарды қайта өңдейді. 2002 жылы

Жапонияда цемент зауытының қалдықтарының орташа пайдалануы бір тонна цемент үшін 355 кг-нан астам болды. Еуропалық цемент компаниялары жылына 1 миллион тоннадан астам қауіпті қалдықтарды қайта өңдейді. Көптеген цемент зауыттары жанғыш қалдықтарды айналмалы пештерде клинкерді күйдіру үшін балама отын ретінде пайдаланады [27, с. 3-518; 29].

Мысалы, швейцариялық HOLCIM цемент компаниясы отынның 80% немесе одан да көп бөлігін алмастыру үшін жанғыш қалдықтарды пайдаланады. Америка Құрама Штаттарындағы цемент зауыттарының көпшілігі клинкерді күйдіру үшін жанғыш қалдықтарды пайдаланады және бұл компаниялардағы отынды алмастырудың жалпы деңгейі 10-нан 20% дейін ауытқиды.

Ресей Федерациясында 2025 жылдан бастап цемент зауыттары цемент өндірісінде кемінде 6% қайта өңделген шикізатты пайдалануы қажет [30].

Әлемнің барлық жерінде, сонымен қатар, қалдықтарды қауіпсіз жағатын ұсатқыштар, сұрыптағыштар, жағуға арналған қондырғыларды, пештер, қоршаған ортаның жай-күйін бақылауға арналған құрылғылар мен аспаптар, екінші реттік ластанудың алдын алу технологиялары, сондай-ақ экологиялық таза цементбетонның сипаттамалары бойынша зерттеу мен әзірлемелердің қарқынды дамуы орын алды.

Қазіргі уақытта Қазақстанның экономикалық даму қарқыны біртіндеп жеделдеуде, инфрақұрылымға сұраныс артып келеді, ал цемент нарығының әлеуеті зор.

2021 жылы өткен саммитте G20 елдері парниктік газдар шығарындыларын 1 ғасырдың ортасына қарай тоқтату ниетін білдірді [31]. Елдер 2030 жылға дейін нөлдік шығарындыларға қол жеткізу үшін ұзақ мерзімді стратегияларды тұжырымдауға ниетті. G20 басшылары климаттың өзгеруін 1,5 градус деңгейінде ұстауға шақырды, бірақ бұл «барлық елдердің мағыналы және тиімді әрекеттері мен міндеттемелерін» қажет етеді.

Heidelberg Cement CO₂ түсіру бойынша пилоттық жобаны іске қосады [32]. ACCSESS жобасы қауымдастықты басқаратын норвегиялық Sintef Energi as компаниясымен консорциумда жүзеге асырылуда. Консорциум құрамына 18 серіктес кіреді. Жобаның мақсаты – CCUS (CarbonCapture, UseAndStorage-CO₂ шығарындыларын алу, пайдалану және сақтау) құн тізбегінен туындайтын шығындарды айтарлықтай азайту және материктік Еуропадан CO₂ шығарындыларын Скандинавиядағы, Солтүстік теңіздегі CO₂ сақтау аймақтарына жеткізуді оңтайландыру үшін көлік жүйелерін әзірлеу. Жоба аясында Access Heidelberg Cement Шығыс Еуропада CO₂ ұстаудың жаңа технологиясын іске қосып, Гураждағы (Польша) цемент зауытында CCUS-ты қолдана бастаған алғашқы компания болады. Шығарындыларды ұстау қондырғысы пайдаланылған газдардың жылуын көбірек пайдалануға мүмкіндік береді және қайталама шығарындыларды бақылауды жеңілдетеді.

Өзбекстанда өнеркәсіптік кәсіпорындардың экологияға әсерін зерттеу мақсатында бірқатар цемент зауыттарында шығарындыларды бақылаудың автоматты жүйелері орнатылған. Ташкент облысында орналасқан «Ахангаранцемент» АҚ-да «стационарлық бақылау пункті» құрылды. Бұл

өнеркәсіптік кәсіпорындардың іргелес аумақтардың экологиясына әсерін азайтудың маңызды факторы болып табылады [33].

Heidelberg Materials компаниясы Еуропада жаңа evoZero брендімен әлемдегі алғашқы нөлдік көміртегі ізі бар цементті ұсынды [34]. EvoZero бревиктегі Heidelberg Materials зауытында көмірқышқыл газын ұстау және сақтау технологиясын қолдану арқылы қоршаған ортаға әсер етудің нөлдік деңгейін қамтамасыз етеді. CO₂ ұстау және сақтау технологиясы цементтің химиялық құрамы мен сипаттамаларын өзгертпейді, сондықтан evoZero кәдімгі цементтен СЕМ-I-нің ең жоғары беріктігіне дейін ЦЕМ-III-ге дейін цементтердің толық ассортиментін қамтиды. Бревиктегі цемент зауытында орнату өнеркәсіптік масштабта әлемдегі алғашқы CO₂ ұстау құрылғысы болып табылады. Нысан құрылысын аяқтау 2024 жылдың соңына жоспарланған. Пайдалануға берілгеннен кейін жылына 400 000 тонна CO₂ алынады және сақталады, бұл зауыт шығарындыларының 50%-на сәйкес келеді және шамамен 180 000 автокөлікті пайдаланудан шығаруға тең.

Британдық Gauldon зауытында [35] цемент өндірісінде балама шикізат ретінде 20 мың тонна керамика мен өндірістік сынықтарды пайдаланады. Қайта пайдаланылған керамика ішінара табиғи шиферді алмастырады.

Т.И. Шакаров, А.А. Мухамедбаев, Ш.Ю. Атаджанов және М.А. Мухамедбаева [36] цемент өндірісінде CO₂ шығарындыларын азайту бойынша зерттеулер жүргізді. Цемент қоспалары ретінде өнеркәсіптің техногендік қалдықтарын - күл-қоқыстарды, түрлі шлактарды, кейбір кендерді байыту қалдықтарын пайдалану ұсынылады. Қалдықтардың 15-30% енгізу цементтің беріктігін төмендетпейтіні анықталды, ол 28 күндік қатаюдан кейін 42-45 МПа құрайды және қосымша энергия шығынын қажет етпейді (базалық деңгейден 95-98%). Зерттелген қоспалар кеуектіліктің төмендеуіне (8-12%), судың сіңуіне (9-11%) және цемент үлгілерінің беріктігін арттыруға ықпал етеді. Цемент құрамындағы клинкер құрамы 70-75%-ға дейін төмендеді, бұл CO₂ шығарындыларын 20-25%-ға азайтады. Жұмыс саланың тұрақты дамуы шеңберінде цемент өнеркәсібінде қалдықтарды пайдаланудың экологиялық және экономикалық орындылығын көрсетеді.

Белгород технологиялық университетінде [37] цемент клинкерін өндіру үшін шикізат шихтасында көміртегі қалдықтарын жанғыш қоспалар ретінде пайдалану бойынша зерттеулер жүргізілді. Шихтаның құрамына бор, саз, құм және көмір қалдықтарының 3% дейін кіреді. Оларды енгізу диірмендердің өнімділігін 20-25%-ға арттыруға, шикізат шламының ылғалдылығын төмендетуге, отынды 1 т клинкерге 45 кг-ға дейін үнемдеуге және күйдіру температурасын 1450°C-тан 1400-1420°C-қа дейін төмендетуге ықпал етеді. Энергия шығынын азайту және жанармайдың жақсы жануы арқылы CO₂ шығарындылары 20-25%-ға азаяды, бұл технологияны экологиялық және үнемді етеді.

Зерттеулерде Худякова Т.М., Жаникулова Н.Н. және т.б. [38] шикізат шахтасында тефритобазальт пен көмір қалдықтарын қосу клинкер түзілу процесін 1300-1350°C төмен температурада аяқтауға мүмкіндік беретіндігі көрсетілген. Сонымен қатар, зерттеушілер қазіргі заманғы цемент өндірісіне

қойылатын экологиялық талаптарға сәйкес келетін және атмосфераға көмірқышқыл газы шығарындыларына кәсіпорынға бөлінген квоталарға сәйкес келетін CO_2 және NO_x сияқты парниктік газдар шығарындыларының айтарлықтай төмендегенін атап өтті. Сондай-ақ, бақылау үлгісімен салыстырғанда цементтің беріктігін арттыру маңызды жетістік болып табылады, ал беріктік мәні шамамен 42 МПа құрайды, бұл материалдың өнімділігін сақтау мен жақсартуды көрсетеді.

Co-processing технологиясында бор (75-80%), саз және құмнан тұратын шикізат шихтасына құрамында кремний (SiO_2), алюминий (Al_2O_3) және темір (Fe_2O_3) оксидтері бар кен қалдықтары, домна және ферроқорытпа шлактары сияқты өнеркәсіптік қалдықтар енгізіледі. Smith және оның авторлары, Lee және Park жүргізген зерттеулер көрсеткендей, күйдіру температурасы 1450°C -тан $1400\text{--}1420^\circ\text{C}$ -қа дейін төмендейді, бұл энергия шығынын 12-18%-ға азайтады [39, 40].

Сонымен қатар, 18-25 МДж/кг калориялы қалдықтар дәстүрлі отындарды ішінара алмастыра алады, бұл Smith J, Brown L., Jonson M. [39, p. 1234-1244] және Lee S., Park [40, p. 106391] мәліметтері бойынша CO_2 шығарындыларын 20-30% төмендетеді. Бұл клинкер ағынының төмендеуіне, отынның тиімдірек жануына және цемент тас құрылымының жақсаруына байланысты.

Осылайша, әртүрлі зерттеулердің нәтижелеріне сәйкес, co-processing энергия тиімділігін арттыруға, ресурстарды үнемдеуге және цемент өндірісінің көміртегі ізін азайтуға ықпал етеді [39, p. 1234-1244; 40, p. 106391].

Луис М. Ромео, Дэвид Каталина, Пилар Лисбона, Йоланда Лара және Ана Мартинестің зерттеуі [41] цемент өнеркәсібі жаһандық көмірқышқыл газы (CO_2) шығарындыларының ең үлкен көздерінің бірі болып табылатынын атап өтті, бұл жаһандық антропогендік шығарындылардың шамамен 8% құрайды, бұл жыл сайын шамамен 1,5 миллиард тоннаға тең. Шығарындылардың негізгі көзі цемент клинкерін өндіру процесі болып табылады, онда шикізат – негізінен әктас (CaCO_3) шикізат шихтасының массасының 75-80% мөлшерінде–шамамен 1450°C температурада термиялық ыдырауға ұшырайды, бұл декарбонизация нәтижесінде де (шамамен 0,44-0,47 т CO_2 1 т CaCO_3) және көмірқышқыл газының бөлінуімен бірге жүреді жану үшін қазба отындарын жағу нәтижесінде (клинкердің тоннасына шамамен 0,4–0,6 тонна CO_2).

Шикізат шихтасында сонымен қатар құрамында Al_2O_3 (15-20%), SiO_2 (50-60%) және Fe_2O_3 (5-10%) оксидтері жоғары саз (15-20%), сондай-ақ 5% кварц құмы (SiO_2) бар. Бұл қоспаны термиялық күйдіру цементтің беріктік сипаттамаларына жауап беретін цемент клинкерінің негізгі минералдарын – Алит ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) және белитті ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) құрайды.

Шығарындылардың химиялық көзінен басқа, көміртегі ізінің едәуір үлесі энергияны тұтынумен байланысты – 1 тонна цемент өндіруге негізінен қазба отындарын жағу арқылы алынатын шамамен 3,0–4,0 ГДж жылу энергиясы жұмсалады, бұл атмосфераға шығарылатын 0,4–0,6 тонна CO_2 шығарады.

Зерттеу авторлары [41, p. 72-81] аралас және композициялық цементтерде клинкердің 30%-на дейін алмастыра алатын күл-унос, домна және

феррокорытпа шлактары сияқты минералды қоспаларды қолдануды қоса, шығарындыларды азайту технологияларын енгізу қажеттілігін атап көрсетеді. Бұл қалдықтарды пайдалану клинкерді тұтынуды азайту және қазба отындарын калориялық құндылығы шамамен 18-25 МДж/кг баламалы отынмен ішінара алмастыру арқылы CO_2 шығарындыларын 20-30% төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, шикізат шихтасын оңтайландыру және күйдіру температурасын 1400-1420°C (1450°C-тан) дейін төмендету энергия шығынын 12-18%-ға азайтуға ықпал етеді.

Осылайша, шикізат құрамын өзгертуді және co-processing технологияларын енгізуді қамтитын кешенді тәсіл цемент өндірісін декарбонизациялаудың және оның экологиялық ізін төмендетудің ең перспективалы бағыттарының бірі болып табылады.

Luis M. Romeo және т.б. [41, р. 72-81] кальций циклін зерттеуде CO_2 алу және қолдану үшін ең қолайлы нұсқа таңдалды. Цемент зауытында CO_2 ұстау кезінде пайда болатын CaO қалдықтарын қайта пайдалану және қосымша энергия алу үшін клинкердің салқындату және ұстау жүйесінен бөлінетін энергияны пайдаға жарату ұсынылады. Бұл тармақтар осы ұсыныстың негізгі артықшылықтары болып табылады. Бұл жұмыста технологиялық схемалар жасалып, жылу-масса алмасу баланстары есептелген. Нәтижелер CO_2 шығарындыларын азайтудың төмен құнын көрсетеді-12,4 Еуро/т, бұл электр станциясының ұстау жүйесімен немесе цемент зауытының ұстау жүйесімен кез келген басқа комбинациясын пайдаланудан төмен, бұл ұсынысты экономикалық тұрғыдан өте тартымды етеді. Сонымен қатар, энергия тиімділігін арттыру, шикізат пен декарбонизацияланатын материалдарды пайдалануды азайту және CO_2 ұстау жүйесі CO_2 шығарындыларының айтарлықтай мөлшерін 94%-ға болдырмауға мүмкіндік береді.

Tkachenko N., Tang K., McCarten M. және т.б. [42] өз зерттеулерінде цемент өнеркәсібінің қазіргі әлемдегі қосарлы рөлін атап көрсетеді. Бір жағынан, ол инфрақұрылымдық даму үшін қажетті құрылыс материалдары мен конструкцияларын өндіруді қамтамасыз ететін жаһандық экономиканың негізгі элементі болып табылады. Екінші жағынан, бұл сала техногендік парниктік газдар шығарындыларының ең ірі көздерінің бірі болып қала береді – бұл жаһандық CO_2 шығарындыларының 7%-дан астамын құрайды. Негізгі шығарындылар әктас пен саз сияқты шикізатты жоғары температурада күйдіру процесіне, сондай-ақ цемент өндірудің дәстүрлі технологияларына тән энергияны тұтынудың жоғары деңгейіне байланысты. Бұл қоршаған ортаға үлкен әсер етеді және жаһандық климаттың өзгеруіне ықпал етеді. Экологиялық тәуекелдерге қарамастан, цемент өнеркәсібі өсуді жалғастыруда, Бұл дамушы елдердегі инфрақұрылымдық құрылысқа сұраныстың артуымен және дамыған аймақтардағы белсенді урбанизациямен түсіндіріледі. Дүниежүзілік цемент қауымдастығының болжамына сәйкес, 2030 жылға қарай цемент өндірісінің әлемдік көлемі 5,96 миллиард тоннаға жетуі мүмкін.

Her S., Park J., Li P. және Bae S. жұмысында техногендік шикізатты пайдалана отырып, цемент өндірісінде парниктік газдар шығарындыларын азайтудың заманауи әдістері егжей-тегжейлі қарастырылған [43]. Шикізат

шихтасы дәстүрлі түрде бор (CaCO_3) – 75-80%, Al_2O_3 (15-20%), SiO_2 (50-60%) және Fe_2O_3 (5-10%) оксидтері бар саз, сондай-ақ құмнан (5% дейін) тұрады.

Авторлар көмірді жағатын күл, металлургиялық және химиялық қалдықтар сияқты техногендік қоспаларды қолдану цемент құрамындағы клинкердің 40-60% алмастыруға мүмкіндік беретінін атап көрсетеді. Бұл алмастыру күйдіру температурасын дәстүрлі 1450°C -тан $1400\text{--}1420^\circ\text{C}$ -қа дейін төмендетеді, бұл энергия шығынын 12-18%-ға азайтады. Қалдықтардың калориялық мәні 18-25 МДж/кг құрайды, бұл дәстүрлі отынның ішінара алмастырылуын қамтамасыз етеді және CO_2 шығарындыларын 30-50% төмендетеді.

Құрамында 70% дейін минералды қоспалары бар, жоғары поццолан белсенділігі бар клинкерсіз тұтастырғыш композицияларды әзірлеуге ерекше назар аударылады, бұл көміртегі ізін одан әрі азайтады және цементтің өнімділігін жақсартады.

Осылайша, техногендік қалдықтарды шикізат шахтасына біріктіру және күйдіру температурасының төмендеуі цемент өнеркәсібінде энергия тиімділігін арттыруды, ресурстарды үнемдеуді және парниктік газдар шығарындыларын айтарлықтай азайтуды қамтамасыз етеді [43, p. 126589].

Alpha Ousmane Toure, Nicholas Auyeung және т.б. американдық ғалымдар жүргізген зерттеулер [44] цемент өндіру үшін көмір күлін пайдалану арқылы энергия шығынын азайтуды қамтамасыз етті. Көмір күлінің құрамындағы CaF_2 минерализаторының әсерінен фазалардың түзілуі төмен температурада жүрді. Клинкердің белсендіру энергиясы 42,7-91,1-ге жетті. Табиғи шикізатты қалдықтармен алмастыру нәтижесінде көмірқышқыл газының шығарындылары 60% - ға және энергия тұтыну көлемі 1 т клинкерге 350 ккал/кг-ға төмендеді.

Австриялық ғалымдардың зерттеуінде [45] цемент өндірісінде шикізат қоспасының 37,6%-на дейін техногендік қалдықтармен алмастыруға болатындығы анықталды (1 т цемент үшін орта есеппен 365-387 кг). Бұл қалдықтардың құрамында цемент шикізатының негізгі оксидтері бар: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 және құрамы бойынша дәстүрлі материалдарға (әктас, саз және т.б.) жақын. Техногендік компоненттерді өңдеу температурасы әдетте $900\text{--}1200^\circ\text{C}$ -тан төмен, ал клинкердің дәстүрлі күйдіруі 1450°C дейін қажет. Мұндай қалдықтарды қолдану цементтің қасиеттерін жақсартады: кеуектілік төмендейді, химиялық төзімділік жоғарылайды, цемент тасының құрылымы жақсарады. Дегенмен, экологиялық стандарттарды сақтау үшін ауыр металдардың (Cr, Pb, Hg және т.б.) құрамын қатаң бақылау қажет. Осылайша, техногендік қалдықтарды пайдалану табиғи шикізатты тұтынуды азайтудың, шығарындыларды азайтудың және өндірістің тұрақтылығын арттырудың тиімді әдісі болып табылады.

Nabajyoti Saikia зерттеуі [46] цемент клинкерін өндіруде қорғасын шлағы мен ұшпа күлдің қолданылуын зерттеді. Шикізат қоспасындағы қалдықтардың үлесі 30% күл мен 14% шлақты қосқанда 44% дейін құрады. Бұл табиғи шикізатты (әктас пен сазды) пайдалануды жартысына жуықтауға мүмкіндік берді.

Компоненттердің жоғары реактивті белсенділігінің арқасында күйдіру температурасы 1450°C-тан 1200-1300°C-қа дейін төмендеді, бұл отын үнемдеуді 18%-ға дейін және CO₂ шығарындыларының төмендеуін қамтамасыз етті. Техногендік қоспалары бар цемент жақсартылған қасиеттерді көрсетті: беріктігі 56 МПа дейін, кеуектілігінің 12-15%-ға төмендеуі, судың сіңуінің 8-10%-ға төмендеуі. Осылайша, цемент өнеркәсібінде аталған қалдықтарды қайта өңдеу тиімді, экологиялық таза және өнім сапасын жақсартатыны анықталды.

Cement and Concrete Research журналында жарияланған Cuesta, Ayuela және Aranda зерттеуі дәстүрлі портландцементтерге экологиялық тұрақты балама ретінде белит цементтерінің (C₂S минералына негізделген) қасиеттерін егжей-тегжейлі зерттеді [47]. Авторлар белит цементтері жоғары беріктікті қамтамасыз ететіндігін анықтады цемент тасының құрылымында біркелкі таралуы бар C-S-H гелінің қарқынды түзілуіне байланысты. Бұл ретте олар шикізат қоспасындағы әктастың азаюына ие-салмағы бойынша 70-75% дейін, дәстүрлі құрамдардағы 85-90%-бен салыстырғанда. Негізгі артықшылықтардың бірі-күйдіру температурасын 1450°C-тан 1250°C-1350°C-қа дейін төмендету, бұл отын шығынын 20%-ға дейін төмендетуге және CO₂ шығарындыларын 25%-дан 30%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді, негізінен декарбонизацияның аз үлесі және энергия шығынын азайту арқылы. Белит цементтері тұрақты және «жасыл» құрылыс үшін төмен көміртекті тұтастырғыш ретінде айтарлықтай әлеуетті көрсететіні көрсетілген.

Намазов Ш.С. және т.б. [48] шикізат шихтасының құрамында фосфогипс пен мыс флотациялық шлактарды қолдана отырып, портландцемент клинкерін өндірудің ресурс үнемдейтін технологиясын ұсынды. Аталған компоненттердің активтендіру қасиеттерінің арқасында негізгі клинкер минералдарының (алит және белит) тұрақты синтезіне күйдіру температурасы – 1150-1200°C төмен болған кезде қол жеткізіледі, бұл дәстүрлі мәндерден (~1450°C) едәуір төмен. Бұл белгілі бір энергия шығыны мен CO₂ шығарындыларын азайтуға көмектеседі, сонымен қатар өндірістік қалдықтарды жоюға МЕМСТ талаптарын қанағаттандырады, бұл әдістің технологиялық қолданылуын растайды. Жұмыс нәтижелері цемент өнеркәсібі үшін, әсіресе техногендік минералды базасы дамыған елдерде төмен көміртекті шешімдер контекстінде айтарлықтай қызығушылық тудырады. Г.А. Оразымбетова мен бірлескен авторлардың зерттеулерінде [49, 50] Қарақалпақстанның жергілікті шикізаты негізінде кремнезем мөлшері жоғары портландцементті клинкер алу мүмкіндігі көрсетілген. Оңтайлы шихтаға мыналар кірді: мергель-60-65%, бархан құм-15-20%, саз – 10-12%, темір түзеткіш қоспалар – 2-4%. Ұсақ ұнтақтау және компоненттерді алдын-ала белсендіру арқылы күйдіру температурасы 1450°C-тан 1300-1350°C-қа дейін төмендеді, бұл отын үнемдеуді 12%-ға дейін жеткізді. Бархан құмы тапшы кварцты тиімді алмастырды, бұл құрғақ аймақтарға технологияның қол жетімділігін арттырды. Ұсынылған композициялар цементтің беріктік сипаттамаларын сақтай отырып, алит пен белиттің тұрақты қалыптасуын қамтамасыз етті, бұл әдістемені ресурстарды үнемдейтін және локализацияланған өндіріс үшін перспективалы етеді. Айта кету керек, бархан

құмдары Қарақалпақстан өңірлері үшін арзан әрі шексіз шикізат көзі болып табылады.

Cement and Concrete Research журналында жарияланған Taylor et al. [51] жұмысында метаколин мен ұшпа күлдің (F және C типтері) цемент клинкерінің фазалық түзілуіне әсері және күйдіру температурасын төмендету мүмкіндігі зерттелген. Шикізат қоспасына осы қоспалардың 15-20%-на дейін енгізу силикаттану реакцияларын жеделдететіні, белитті тұрақтандыратыны және дәстүрлі 1450°C орнына 1230-1250°C температурада алит синтезіне ықпал ететіні анықталды. Бұл қоспаларды қолдану отын шығынын 10-15%-ға азайтуға және клинкердің физика-механикалық қасиеттерін нашарлатпай, CO₂ шығарындыларын 0,75 т/т цементке дейін азайтуға мүмкіндік береді. Жұмыс цемент өндірісінің аз энергияны қажет ететін және экологиялық тұрақты технологияларын жасауға айтарлықтай үлес қосады. Roadmap to Carbon Neutrality by 2050 (Portland Cement Association, 2020) ұсынған цемент өнеркәсібін декарбонизациялаудың заманауи стратегиялары зерттеушілер мен өндірушілердің назарын цемент клинкерін өндіру кезінде күйдіру температурасын төмендетуге және CO₂ шығарындыларын азайтуға ықпал ететін балама шикізат түрлерін пайдалануға аударады. Мұндай компоненттер ретінде дәстүрлі клинкер шикізатының едәуір бөлігін алмастыруға және синтез температурасын 1150-1250°C дейін төмендетуге мүмкіндік беретін жоғары поццолан белсенділігі бар метаколин мен кальцийленген саздар қарастырылады [52]. Тұтастай алғанда, аталған шикізат түрлерін кешенді қолдану күйдіру температурасының және отын шығынының айтарлықтай төмендеуін қамтамасыз етеді, бұл парниктік газдар эмиссиясының төмендеуіне әкеліп соғады, оны дәстүрлі технологиялармен салыстырғанда цементтің тоннасына 0,75 тоннаға дейін төмендетеді. Бұл бұл тәсілдерді ресурстарды үнемдейтін және төмен көміртекті цемент өндірісін дамыту үшін перспективалы етеді. Хатем М. Эль-Десоки мен оның авторларының зерттеуі [53] портландцемент клинкерін өндіру үшін балама шикізат ретінде Аль-Хемма-Ресан Иктейфа (Солтүстік Синай) кен орнының жанартау жыныстарын пайдалануды қарастырды. Бұл материал негізгі минералдары плагиоклаз, оливин және пироксен болып табылатын базальт жынысымен ұсынылған.

Зерттеу барысында базальт жыныстарының құрамы 6,8%-дан 22,94%-ға дейін болатын 13 түрлі шикізат қоспасы дайындалды. Қоспалар престеледі және муфельді пеште 1450°C 2 сағат бойы күйдірілді. Алынған клинкерлердің химиялық құрамын талдау 0,54-1,67% аралығындағы бос кальций оксидінің (CaO) құрамын анықтады. Рентгендік фазалық талдау беймәлім фазалар түзілмей, типтік құрылымы бар клинкердің түзілуін растады, ал негізгі клинкер минералдары кристалданудың жоғары дәрежесін көрсетті. Алит кристалдарының өлшемдері 25-тен 60 мкм-ге дейін ауытқиды.

Алынған клинкер, 5% гипспен араластырылған, цементке ұнтақталды, содан кейін ол еуропалық стандарттың EN 196 талаптарына сәйкес қысу күші мен қату уақытына сыналады. Цемент үлгілерінің беріктігі 28 күннен кейін 48,7–49,3 МПа жетті, ал қату уақыты 120–150 минут, 5,5 сағаттан кейін аяқталды.

Бұл нәтижелер портландцемент клинкерін өндіру үшін шикізат қоспаларында дәстүрлі саз материалдарын ішінара немесе толық ауыстыру үшін базальт жыныстарын пайдаланудың орындылығын көрсетеді, бұл соңғы өнімнің жоғары өнімділік сипаттамаларын сақтай отырып, цемент өнеркәсібінің шикізат базасын кеңейту перспективаларын ашады.

Пулатов З.П. және бірлескен авторлар [54] цемент клинкерін өндіруде шикізат ретінде Өзбекстанның магмалық жанартау жыныстарын (диабаз-порфириттер, диабаз-спилиттер, туфоалевролиттер) пайдалану мүмкіндігін зерттеді. Бұл жыныстардың химиялық және минералогиялық құрамы клинкер өндірісінде қолданылатын шикізат қоспасының алюмосиликатты бөлігімен сәйкес келеді. Шикізат қоспасына вулкандық жыныстарды енгізу жентектелу температурасын 60–100°C төмендетуге мүмкіндік берді, ал клинкердің беріктігі 7,5 МПа-ға (43,0-ден 50,5 МПа-ға дейін) өсті. «Қызылқұмцемент» ААҚ және «Кувасайцемент» ААҚ кәсіпорындарында жүргізілген тәжірибелік сынақтар бұл технологияның тиімділігін растады, ол күйдіру температурасының төмендеуінен, клинкер түзілу үдерісінің жеделдетілуінен, жылу шығынының 10%-ға төмендеуінен және айналмалы пештердің өнімділігінің артуына байланысты көрінеді.

Сабиржанов А.А. және т.б. [55] жанартау жыныстарын, атап айтқанда диабаз-порфириттерді пайдалана отырып, цемент клинкерін өндіру технологиясын әзірлеуге бағытталған зерттеулер жүргізді. Жұмыс барысында диабаз-порфиритті алюмосиликат компоненті ретінде тиімді қолдануға болатындығы анықталды, сонымен бірге құрамында дәстүрлі темір бар қоспалар ауыстырылды. Диабаз-порфириттің балқу температурасы 1150-1190°C құрайды, бұл 1380-1450°C диапазонындағы темір қоспаларының балқу температурасынан едәуір төмен. Бұл жағдай Шикізат қоспасының агломерация температурасын төмендетуге және клинкерді өндіру процесінің технологиялық көрсеткіштерін жақсартуға ықпал етеді. Зерттеу барысында Шавазсай кен орнының әктасынан (80,35%) және Қарахтай көрінісіндегі диабаз-порфириттен (19,65%) тұратын, қанығу коэффициенті (КН) 0,92-ге тең және модульдік сипаттамалары: $n=2,46$, $p=1,25$, 1100-1450°C с температуралық диапазонында екі компонентті шикізат қоспасын жағу процестері талданды 30 минуттық экспозиция. Күйдіру нәтижелері процестің клинкер түзілуі және бос кальций оксидінің толық сіңуі 1420°C температурада аяқталады, клинкерлерде бос СаО болмайды, бұл цемент клинкерінің агломерациясы мен түзілу процесінің толық аяқталғанын көрсетеді.

«Ахангаранцемент» ААҚ кәсіпорнында диабаз-порфиритті алюмосиликат және құрамында темір бар компонент ретінде қолдана отырып жүргізілген тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар айналмалы пештің өнімділігін сағатына 52 тоннадан 60 тоннаға дейін арттырғанын көрсетті. Бір мезгілде клинкердің 1 тоннасына отынның меншікті шығынының төмендеуі, сондай-ақ шикізат шламының ылғалдылығының 2-4%-ға төмендеуі байқалды. Алынған клинкердің минералогиялық құрамы келесі фазалармен сипатталды (%-да): алит (C_3S) – 61,57, белит (C_2S) – 14,67, үш кальций алюминаты (C_3A) – 6,19, төрт кальций кальций алюминоферриті (C_4AF) – 11,70. Алынған клинкер

тығыздығы 1560-1630 г/л болатын тығыз, жақсы жентектелген құрылымға ие болды.

Осы клинкерлердің негізінде жасалған цементтердің физика-механикалық сипаттамалары айтарлықтай жақсарғанын көрсетті: иілу беріктігі 5,7–6,5 МПа, қысу кезінде 43,4-47,9 МПа болды, бұл 400 маркалы цементтерден асып түсті. Алынған нәтижелер цемент клинкерінің технологиялық және пайдалану қасиеттерін арттыру үшін кешенді компонент ретінде диабаз-порфиритті қолданудың тиімділігін растайды [55, с. 261-263].

В.Е. Мануиловтың зерттеулерінде [56] клинкер өндірісінде шикізат шламының құрамында көмір қалдықтары мен мыс балқыту шлактарын қолданудың тиімділігі анықталды. Көмір қалдықтарын енгізу шикізат диірменінің өнімділігін 68 тоннадан 73 тоннаға дейін арттыруға және энергия шығынын төмендетуге ықпал етті. «Искитимцемент» ААҚ-дағы тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар саптамалық отынның үлестік шығынының клинкердің 204-тен 172 кг/т-ға дейін төмендеуін, гранулометрияның жақсаруын, клинкердің ұнтақталу және белсенділігінің жоғарылауын (51,3 МПа-ға дейін), цемент диірменінің өнімділігінің 1,3 т/сағ-қа өсуін және энергия тұтынудың 2 кВт·сағ/т -ға төмендеуін көрсетті.

Мыс балқытатын қожды қолдану шартты отын шығынын 217,9-дан 209,4 кг/т-ға дейін төмендетуді және пештің өнімділігін 1,1 т/сағ ұлғайтуды қамтамасыз етті. Шлактағы каталитикалық белсенді элементтер (Ti, Ni, Cu, Zn, Mn, Cr) минералдардың микроқұрылымын өзгертті және клинкер белсенділігінің 52,4-тен 54,3 МПа-ға дейін өсуіне ықпал етті. Осылайша, техногендік шикізатты пайдалану энергия тиімділігін арттыруға және цемент клинкерінің сапасын жақсартуға ықпал етеді [57, с. 66-68].

Эль-Альфи Е.А. мен бірлескен авторлардың [57] жұмысы минералдандыратын қоспа ретінде мырыш оксидін (ZnO) енгізу арқылы портландцемент клинкерін алу процесінің энергия сыйымдылығын төмендету мүмкіндігін зерттеді. Құрамында ZnO бар шикізат қоспаларының төрт нұсқасы құрылды: 0; 0,5; 1,0 және 1,5%. Қоспалар гомогенизациядан өтті, таблетка үлгілеріне басылды және 1250, 1275, 1300 және 1325°C температурада 2 сағат бойы күйдірілді. Мырыш оксиді (ZnO) Алит фазаларының түзілу процесіне айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Химиялық талдау нәтижелері ZnO қосылуы клинкер түзуші реакциялардың күшеюіне ықпал ететінін көрсетті.

Атап айтқанда, 1,5% ZnO үлгілеріндегі 1300°C температурада бос кальций оксиді ($\text{CaO}_{\text{бос}}$) 0,4%-ға дейін төмендеді, бұл қоспасыз бақылау қоспасындағы 3,2%-бен салыстырғанда. Бұл ZnO қоспаларының қатысуымен клинкер фазаларының түзілу реакцияларының жеделдетілген және толық жүруін көрсетеді.

Өндірілген клинкерлер 5% гипс қоспасымен ұнтақталды және цемент сынағы су қажеттілігінің көрсеткіштерін, ұстасудың басталу және аяқталу уақытын анықтады. ZnO мазмұнының жоғарылауы гидратация жүйесінің белсенділігінің жоғарылауымен байланысты ұстасу уақытының қысқаруымен бірге жүретіні анықталды.

Физика-механикалық сынақтардың нәтижелері бойынша 1,5% ZnO цементінің жоғары беріктік сипаттамалары бар екендігі анықталды: 90 тәуліктен кейін қысу беріктігі 800 кг/см^2 (78,5 МПа) құрады, бұл бақылау құрамының көрсеткіштерінен едәуір асып түсті.

Осылайша, ZnO-ны 0,5-1,5% шегінде қосу клинкер синтезінің минималды температурасын 1300°C дейін тиімді төмендетеді, бос әк құрамын азайтады, цемент қамырының қатаю уақытын тездетеді және қатайтылған тастың беріктігін арттырады. Бұл мырыш оксидін минералдандырғыш ретінде қолданудың орындылығын растайды, бұл клинкер түзілу процестерін қарқындатуға және цемент өндірісінің тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Морозова И.А. мен Классен В.К. [58] портландцементті клинкер өндірісінде болат балқыту шлактарын қолданудың технологиялық және энергетикалық тиімділігін зерттеді. Тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар аясында «Осколцемент» АҚ цемент зауытында диаметрі 5 м және ұзындығы 185 м айналмалы пештің суық ұшынан шлак пен шикізаттық шламды бірге беру сызбасы іске асырылды.

Шикізат қоспасының массасынан 12,5 және 19,2% мөлшерінде болат балқыту қожын енгізу кезінде шартты отынның үлестік шығынының клинкердің 212-ден 190 және 169 кг/т-ға дейін төмендеуі тіркелді, бұл тиісінше 22 және 44 кг/т-ға отын үнемдеуге тең. Сонымен бірге көмірқышқыл газы шығарындыларының 9,3 және 19,5% төмендеуі байқалды, бұл ұсынылған тәсілдің экологиялық тиімділігін көрсетеді.

Клинкер 1350°C температурада синтезделді, бұл дәстүрлі процеспен салыстырғанда отын үнемдеудің 30%-на дейін жүзеге асыруға, сондай-ақ пештің өнімділігін 5 т/сағ арттыруға мүмкіндік берді. Осылайша, болат балқытатын шлактарды шикізат қоспасының құрамдас бөлігі ретінде қолдану энергия шығыны мен CO_2 шығарындыларының айтарлықтай төмендеуіне ықпал етіп қана қоймайды, сонымен қатар заманауи құрылыс талаптарына жауап беретін жоғары сапалы Клинкерді алуға мүмкіндік береді. Айта кету керек, «Фосфор» ЧПО және Жамбыл ҚДФЗ түйіршікті фосфор шлактарын өндірудің екі жақты тәсілі, Харьков қаласының ЮжГипроцементте өз уақытында әзірленген және одан әрі проф. С.В. Терехович, А.С. Садвакасов және т.б. жұмыстарында дамыған. пештер Састөбе цемент зауыты. Бақытымызға орай, «Фосфор» ЧПО граншлак көзі Шымкент цемент зауытынан үш шақырым жерде орналасқан. Бұл 6 пештің өнімділігін 10-12%-ға арттыруға, отын шығынын азайтуға, сол жылдары құрылыс үшін өте тапшы материал болған цемент өндірісін арттыруға мүмкіндік берді [28, с. 3-262].

Куликов Б.П. және т.б. [59] зерттеуінде құрамында фтор мен көміртек бар қосалқы техногендік өнім – электрод сынығын портландцемент клинкерін өндіруде белсенді минералдық қоспа және минерализатор ретінде пайдалану технологиясы ұсынылған. Оның жентектелу процестерінің термодинамикасына және клинкердің құрылымына әсеріне назар аударылады.

Зертханалық-өнеркәсіптік зерттеулердің нәтижелері шикізат қоспасына 3-4% электродтық енгізу жентектелу температурасының 50°C төмендеуіне ықпал ететінін, сондай-ақ кеуектілігі жоғары және ұнтақтау қабілеті жақсартылған

клинкердің біртекті ұсақ кристалды құрылымын қалыптастыруды қамтамасыз ететін реактивті емес кварцтың қосылуын белсендіретінін көрсетті. Бұл әсерлер энергия тиімділігіне оң әсер етеді: айналмалы пештің өнімділігі 3-4%-ға артады, ал отынның меншікті шығыны 2-3%-ға төмендейді.

Максималды әсерге 4%-ға дейін электродтық қолдану арқылы қол жеткізіледі, бұл көміртектің жану жылуын толық пайдаланумен де, фтордың минералдану әсерімен де байланысты. Цемент өндірудің сулы әдісі жағдайында бұл клинкердің тоннасына 35-45 кг шартты отын үнемдеуге мүмкіндік береді, бұл күйдіруге энергия шығынын 18-24% төмендетуге тең.

Осылайша, ұсынылған технология портландцемент өндірісінде энергия мен ресурстарды үнемдеу тұрғысынан жоғары тиімділікті көрсетеді және құрамында фторкөміртек бар техногендік шикізатты цемент өнеркәсібіне тартудың болашағын растайды. Алайда, мұндай технологияның күмән тудыратын жағы да бар – кез келген цемент зауытында көп тоннажды клинкер өндірісін ұзақ уақыт қамтамасыз ету үшін электрод сынығының осыншама үлкен көлемін қайдан алу керек деген сұрақ туындайды.

Ресей Федерациясында парниктік газдар шығарындылары жөніндегі есептерді тапсырмау үшін жауапкершілік күшіне енеді [60].

2025 жылдың 1 шілдесінен бастап кәсіпорындар мен ЖК шығарындылар туралы есептерді ұсынбағаны немесе уақтылы ұсынбағаны үшін әкімшілік жауапкершілікті енгізетін заң күшіне енеді парниктік газдар. 2025 жылғы шығарындылар туралы есептер 2026 жылдың 1 қаңтарынан 1 шілдесіне дейін ұсынылуы керек.

«Парниктік газдар шығарындыларын шектеу туралы» 02.07.2021 №296-ФЗ Федералдық Заңымен жыл сайын реттелетін ұйымдардың парниктік газдар шығарындылары туралы есептерін ұсыну міндеті белгіленді. Компаниялар алғаш рет шығарындылар туралы есептерді 2023 жылы 2022 жылы ұсынды.

Бұл есеп парниктік газдар шығарындыларын шектеу туралы Заңның ережелерін іске асыру үшін, сондай-ақ Президенттің Жарлығымен дайындалған парниктік газдар шығарындыларының төмен деңгейі бар Ресейдің әлеуметтік-экономикалық даму стратегиясы аясында Ресейде көміртегі бейтараптығына қол жеткізу үшін қажет.

2025 жылға дейін 150 мың тоннадан астам CO₂-экв шығарындылары бар ірі ұйымдар реттеумен қамтылды. 2025 жылдан бастап-50 мың тоннадан астам CO₂-экв шығарындылары бар ұйымдар.

Реттелетін ұйымдарға тағайындалған кәсіпорындардың лауазымды тұлғалары үшін айыппұл 10-нан 50 мың рубльге дейін, жеке кәсіпкерлер үшін - 50-ден 150 мың рубльге дейін, заңды тұлғалар үшін-150-ден 500 мың рубльге дейін болады.

Есеп «энергия тиімділігі» ГИС негізінде жұмыс істейтін парниктік газдар шығарындыларының тізілімінде қалыптастырылады және электронды түрде ұсынылады [60]. 2023 жылдың 1 маусымынан бастап Ресейде парниктік газдар шығарындыларының тізілімі іске қосылды. Тізілім жылына 150 мың тоннадан астам CO₂ шығаратын өнеркәсіптік кәсіпорындардың есептілігін автоматты түрде жинауға мүмкіндік береді. Көміртекті есеп беру Ресейдің 2060 жылға

карай Президент белгілеген көміртегі бейтараптығына қалай бет бұрғанын түсінуге және қажет болған жағдайда мемлекеттік реттеудің қосымша шараларын қабылдауға көмектеседі.

Қолданыстағы парниктік газдар шығарындыларын шектеу туралы Заңға сәйкес, 2023 жылдан бастап ірі кәсіпорындар міндетті түрде бере бастайды өз шығарындылары туралы есеп беру (2022 жылы пайда болған парниктік газдар шығарындылары туралы алғашқы есеп 2023 жылдың 1 шілдесіне дейін беріледі).

Реттелетін ұйымдардың шеңберіне бірінші кезеңде жылына 150 мың тоннадан астам CO₂ баламасы шығарындылары бар ОЭК және өнеркәсіптің ірі кәсіпорындары кірді. 2025 жылдан бастап экономиканың көміртекті көп қажет ететін салаларындағы орта кәсіпорындар жылына 50 мың тоннадан астам CO₂ эквивалентінің шығарындыларымен реттеуді қамтуға түседі.

Бұл ретте реттелетін ұйымдарға шаруашылық қызметі парниктік газдар шығарындыларынан басқа, өткен жылы Үкімет бекіткен тізбедегі өндірістік процестерге және (немесе) шаруашылық қызмет түрлеріне бір мезгілде сәйкес келетін заңды тұлғалар мен дара кәсіпкерлер жатады. Ұйымды парниктік газдар шығарындылары туралы есепті тапсыру міндетінің бар-жоғын мына сілтеме бойынша тексеруге болады.

Есеп қолданыстағы «энергия тиімділігі» ГИС шеңберінде жұмыс істейтін парниктік газдар шығарындыларының тізілімінде толтырылады және қол қойылады.

Бұған дейін экономикалық даму министрлігінде әкімшілік құқық бұзушылық туралы кодекске өзгерістер дайындалды, оған сәйкес есепті ұсынбау, уақтылы ұсынбау немесе көрінеу анық емес ақпарат беру Әкімшілік құқық бұзушылық белгісін алып жүреді және ескертуге немесе әкімшілік айыппұл салуға әкеп соғады.

NuvocoVistasCorp. Ltd., Компаниясы Үндістандағы Nirma Groupa цемент тобының мүшесі, Чхаттисгарх штатындағы Risda және Раджастхан штатындағы Nimbol цемент зауыттарында балама отын көздерін қолдану жобасын сәтті аяқтады.

Баламалы отынды пайдалану компанияға әсер етуді азайтуға мүмкіндік береді қоршаған ортаға және дәстүрлі қазба отындарын пайдалануды азайтуға. Бұл көмірқышқыл газын азайту және климаттың өзгеруімен күресудегі маңызды қадам.

Nuvoco ауылшаруашылық қалдықтары, RDF, пластикалық қалдықтар, коммуналдық қалдықтар, биомасса және резеңке чиптері сияқты балама отынның әртүрлі түрлерін қолдануға қабілетті арнайы жүйені орнатты.

Nuvoco баламалы отын беру жүйесін біркелкі жүктеуді қамтамасыз ететін және қажетті қауіпсіздік құрылғыларымен жабдықталған күйдіру жүйесіне енгізді. Бұл компанияға Үндістанның қоршаған ортаны бақылау кеңесі белгілеген экологиялық стандарттарды сақтай отырып, баламалы отынды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Nuvoco басқарушы директоры Джаякумар Кришнасвами "ProtectourPlanet" (біздің планетамызды қорғайық) бағдарламасы аясында бұл

жобаның сәтті аяқталуы компанияның көмірқышқыл газын азайтуға, қалдықтарды тұтынуды барынша азайтуға және ресурстарды жауапты басқаруға бағытталғанын көрсетті.

Ол сондай-ақ баламалы отынды пайдалану полигондар мен қалдықтардың гигиеналық емес жиналуына байланысты мәселелерді шешуге ықпал ететінін атап өтті. Мысалы, Nuvoco цемент өндіру процесінде зиянды қалдықтарды пайдаланады, мысалы, пластикалық қалдықтар, RDF және коммуналдық қалдықтар, олар канцерогендік қасиеттеріне байланысты жабайы табиғат пен малға қауіп төндіреді.

Болгарияның Девня зауыты Шығыс Еуропадағы көміртексіз цементтің алғашқы өндірушісі болады. Девня Цемент зауыты Шығыс Еуропада бірінші болып көміртегі ізі нөлдік цемент шығарады, бұл инновациялық CO₂ ұстау және сақтау жобасының арқасында. 750 миллион еуро тұратын жоба ЕО инновациялық қорынан 190 миллион еуро көлемінде қаржы алды, деп хабарлайды жергілікті БАҚ.

Жобаның жетекшісі Константин Божиновтың айтуынша, қазіргі уақытта Heidelberg Cement еншілес кәсіпорны және Болгариядағы ең ірі цемент өндірушісі Девня көміртекті алудың 99 пайыздық деңгейіне жету үшін екі декарбонизация технологиясын біріктіретін пилоттық жобаны жүзеге асыруда. Ол бұл технологияны басқа елдерге бейімдеуге болатынын айтты. Компания өндіріс процесінде көмірқышқыл газын алуды жүзеге асыруға және оны құбыр арқылы Қара теңіз түбінің астындағы таусылған Галата газ кен орнына тұрақты сақтауға жіберуге ниетті.

Болгария Еуропалық одақтың мүшесі болып табылады, онда көміртегі шығарындылары ЕО шығарындыларының сауда жүйесі арқылы бақыланады және салық салынады. Дегенмен, ЕО Одақтан тыс елдерден кейбір өнім түрлерінің импортына шекаралық көміртегі салығын кезең-кезеңімен енгізуге байланысты энергияны көп қажет ететін компанияларға беретін CO₂ шығарындыларына арналған тегін квоталардан бас тартуға дайындалуда.

ЕО-да, соның ішінде Батыс Балқан елдерінен электр энергиясын, алюминийді, цементті, тыңайтқыштарды, сутекті, темірді және болатты экспорттаушыларға әсер ететін шекаралық көміртекті түзету механизмі 2026 жылдан бастап кезең-кезеңімен енгізілетін болады.

Аймақтағы цемент өндірушілер өндірісті декарбонизациялауға тырысады. ЕО мүшесі болып табылатын Хорватияда пехе цемент зауыты ұзақ мерзімді перспективада өзінің өндірістік нысандарында CO₂ шығарындыларын азайту үшін отынды оттегімен жағу технологиясын енгізуге ниетті. Жобаның құны 400 миллион еуроға бағаланады.

Словениялық цемент өндірушісі Salonit Anhovo сонымен қатар құрылымдарының төбелеріне батареялар орнату арқылы өндірісті көміртексіздендіруге тырысады.

Ресейде кәсіпорындардың шығарындыларын бақылау бойынша МЕМСТтар енгізіледі.

Ресей Федерациясында парниктік газдар шығарындыларын анықтау үшін МЕМСТ әзірленеді. Сондай-ақ, қоршаған ортаның ластану деңгейін бақылау

стандарттары, кәсіпорындарға топырақ, су, ауа сапасын талдау, тазартылған ағынды суларды зарарсыздандыру және пайдалану талаптары дайындалады. CO₂ шығарындыларын өлшеу деректерінің дұрыстығы да стандарттар бойынша тексеріледі.

Қазір шығарындыларды бақылау жүйелеріне сену қиын, өйткені стандарттар жоқ. Жаңа талаптар биыл күшіне енеді, деді Росстандартта.

Естеріңізге сала кетейік, қазір парниктік шығарындыларды квоталау бойынша эксперимент жүргізілуде. Ол ең лас ауа бар қалаларда іске қосылды. Квоталарға қол жеткізбегені үшін жалпы түсімнің 5%-на дейін айыппұл салу ұсынылады. Мұндай заң жобасын Ресей Мемлекеттік Думасы қарайды. Шығарындыларға арналған квоталармен компаниялар сауда жасай алады. Көміртекті қондырғыларды табиғатты қорғау шараларын өткізу арқылы сатып алуға да, «табуға» да болады [61].

2050 жылға қарай әлемдегі ресурстарға сұраныс екі есе артады деген болжам бар. Түсті металдар өндірісі артып келеді және оларды өңдеу кезінде пайда болатын токсиндердің мөлшері едәуір артады [62]. Сонымен қатар, өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу қазіргі уақытта тек 6% құрайды. Бұл контекст ресурстарды ұтымды және тұрақты пайдалануды талап етеді [63].

Цемент қазіргі қоғамның маңызды құрылыс материалы болып саналады. 2022 жылы әлемде 4,4 млрд. тонна цемент өндірілді [64]. Қазақстанда цемент өндірісіне көп көңіл бөлінеді: 2022 жылы елімізде 12,1 млн. тонна цемент өндірілді [65]. Цемент өндірумен қатар оны пайдалану мен тасымалдауға байланысты шығындар да өсуде. 2020 жылы цемент өнеркәсібі жаһандық CO₂ шығарындыларының 8% құрады. Бұл атмосфераға шамамен 1,5 миллиард тонна көмірқышқыл газын шығаруға тең [41, р. 72-81].

Цемент өнеркәсібі-бұл тиімділікті арттыруға және қоршаған ортаға жағымсыз әсерлерді азайтуға бағытталған сала. Соңғы 20 жылда цемент өндіру технологиялары айтарлықтай өзгерістерге ұшырады, сондай-ақ келесі өзекті міндеттерді шешуге көп көңіл бөлінді:

- отын мен шикізат шығындарын азайту (қазбалы және табиғи материалдардың орнына техногендік қалдықтарды пайдалану);
- жылу және электр энергиясын тұтынуды қысқарту;
- цемент сапасын арттыру және оның жаңа түрлерін өндіруді игеру;
- ластаушы заттардың шығарындыларын азайту есебінен қоршаған ортаға түсетін жүктемені төмендету [66].

Еуропалық ғалымдар металлургиялық қалдықтарды, атап айтқанда Домна шлактарын құрылыс цементтерін алу үшін шикізат ретінде сәтті қолданады. 50% қож қосылған кезде цементтің беріктігі сығылған кезде 42 МПа және созылған кезде 5,8 МПа болды [67]. Металлургиялық қалдықтарды құмның орнына 10-30% мөлшерінде реттеуші қоспа ретінде қолдану мүмкіндігі зерттелді. Мұндай қалдықтарды шикізат қоспасына енгізу суға деген қажеттілікті 30%-ға арттырады және цементтің ұстасу уақытын 3 сағат 10 минутқа дейін ұзартады. СЕМ I маркалы портландцементке металлургиялық қалдықтардың 30% қосқанда, ылғалдандыру процесінде жылу шығарудың төмендеуі байқалды [68].

Металлургиялық қалдықтар клинкерді күйдіру кезінде шикізат қоспасының құрамына түзету қоспасы ретінде де қолданылды. Мұндай қалдықтардың 3-5%-ға енгізу кезінде клинкердің түзілу процесінің жақсаруы және оның сапасының жоғарылауы байқалды, ал күйдіру температурасы 100°C-қа төмендеді [69].

Қытайда металлургиялық қалдықтарды пайдаға жаратуға арналған инновациялық әдіс әзірленді, ол кристалдану мен сорбция үдерістері арқылы бағалы металдарды алуды қамтиды. Нәтижесінде алынған қалдықтарда ауыр металдардың концентрациясы төмендеген [70]. Осылайша, аталған ғылыми зерттеулердің нәтижелері портландцемент өндірісінде металлургиялық қалдықтарды пайдаланудың өзектілігін және олардың бірқатар экологиялық мәселелерді шешудегі әлеуетін дәлелдейді.

Бөлім бойынша қорытындылар

Мырыш және қорғасын өндірісінің қалдықтарын, сондай-ақ басқа да қалдықтарды цемент өнеркәсібінің технологиялық процестеріне біріктіру энергияны аз қажет ететін және экологиялық қауіпсіз технологияларды құрудың перспективалы жолын білдіреді. Осы саладағы қосымша зерттеулер мен әзірлемелер құрылыс индустриясының тұрақты дамуына және техногендік қалдықтарды тиімді пайдалануға ықпал етуі мүмкін.

Қорғасын-мырыш өндірісінің қалдықтары (шлактар, байыту фабрикасының қалдықтары, мырыш кендерін вельцилеу клинкері) құрамында CaO , SiO_2 , Al_2O_3 и және Fe_2O_3 , сондай-ақ ZnO және PbO сияқты белсенді компоненттердің көп болуына байланысты цемент клинкерін өндіруге арналған перспективалы техногендік шикізат болып табылады.

Бұл қалдықтарды пайдалану мүмкіндік береді:

- клинкердің күйдіру температурасын 100-150°C дейін төмендетіңіз;
- отын шығынын 20-25 дейін азайтыңыз%;
- табиғи Карьер шикізатын ішінара немесе толығымен алмастырыңыз;
- CO_2 және басқа зиянды заттардың шығарындыларын азайтыңыз;
- қоршаған ортаны ластайтын көп тонналық Қалдықтарды кәдеге жарату.

2 ШИКІЗАТ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

2.1 Қолданылатын шикізаттарға сипаттама және техногендік материалдар

Цемент клинкерін өндіру процесі шихта құрамындағы модульдік катынастарды және клинкердің қажетті минералдық құрамын қамтамасыз ететін шикізат компоненттерді дәл таңдауды талап етеді. Шикізат қоспасының негізгі бөлігіне карбонатты жыныстар (әктас, бор), сондай-ақ кремний, алюминий және темір құрамдас материалдар жатады. Қазақстан Республикасының жағдайында өнеркәсіптің қосалқы өнімдері мен техногендік қалдықтарын пайдалану үшін кең мүмкіндіктер бар.

Осы тарауда клинкерді күйдіруге арналған шикізат қоспасын дайындау барысында қолданылған табиғи, техногендік және дәстүрлі емес материалдардың сипаттамасы берілген. Шикізат пен қалдықтарға талдау жүргізіліп, олардың негізінде цемент клинкерін алудың тиімділігі дәлелденді.

Өнеркәсіптік қалдықтар екі топқа бөлінеді:

- жылулық өңдеуден өтпеген (табиғи құрамдағы) қалдықтар;
- алдыңғы технологиялық үдерісте жылулық өңдеуден өткен қалдықтар.

Жылулық өңдеуден өткен қалдықтардың құрамында карбонатсыз әк пен магний тотығы болады. Бұл қосылыстар клинкерді күйдіру кезінде CaCO_3 пен MgCO_3 -тің эндотермиялық ыдырау реакциясына жұмсалатын жылу шығынын едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Табиғи шикізат пен қалдықтардың химиялық құрамы 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Табиғи шикізат пен өнеркәсіп қалдықтарының химиялық құрамы

Табиғи және техногендік шикізат, кен орны	Химиялық құрамы, массасы. %						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	ппп
1	2	3	4	5	6	7	8
Табиғи шикізат							
Қазығұрт кен орнындағы әктасы	4,86	0,72	0,81	51,75	0,36	0,02	41,12
Кутау кен орнындағы әктасы	1,65	0,24	0,14	54,14	0,28	0,05	42,73
Лесс Текесу кен орындары	50,54	10,35	4,43	13,91	2,67	0,21	13,06
Лесс Састөбе кен орындары	56,45	11,81	4,39	8,89	2,34	0,05	10,51
Жаңа қорған кен орнының сазы	46,73	12,91	5,24	12,84	2,98	0,06	14,68
Абаил темір кені	16,67	1,74	56,39	7,43	0,96	0,03	13,29
Шоинтас темір рудасы	7,9	1,32	53,88	17,07	1,13	0,04	18,66
Жылу өңдеуден өткен өнеркәсіп қалдықтары							
Электротермофосфорный шлак (ЭТФС)	42,68	0,74	0,17	41,18	4,55	0,4	-
Ащысай зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкері	27,55	5,74	33,5	17,33	6,07	1,31	6,5
Қорғасын шлак	23,91	5,25	38,12	15,09	2,97	3,84	-
Жылу өңдеуден өтпеген өнеркәсіп қалдықтары							
Састөбе әктасын ұсақтау қалдықтары	9,63	1,72	1,26	46,0	0,55	1,15	36,2

1-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
Ленгер шахталарының көмір өндіру қалдықтары	55,50	10,60	2,01	3,21	0,70	0,79	24,08
<i>Дәстүрлі емес шикізат</i>							
Даубаба кен орнының тефрито базальты	45,54	10,7	8,53	10,66	6,95	0,2	7,92

Шикізаттың химиялық құрамымен қатар, оның минералогиялық құрамы да маңызды көрсеткіш болып табылады. Бұл құрам технологиялық үдерістің жүруіне, клинкерді күйдіру барысына және цементтің қасиеттеріне тікелей әсер етеді. 2-кестеде Састөбе әктастарын ұсақтау қалдықтарының, сондай-ақ Кутау мен Қазығұрт кен орындарының әктастарының минералогиялық құрамы келтірілген.

Кесте 2 – Састөбе әктастарын ұсату қалдықтары мен Кутау және Қазығұрт кен орындарындағы әктастардың минералдық құрамы

Шикізат	Минералогиялық құрамы, мас. %								
	Кальцит	Доломит	Кварц	Иллит	Хлорит	Альбит	K-Feldspar	R _{wp}	CO ₂
Састөбе әктасын ұсақтау қалдықтары	80,6	2,2	9,3	2,9	1,5	2,3	1,3	16,32	36,5
Кутау Әктасы (Шиелі)	92,6	0,8	2,2	1,3	0,4	2,4	0,3	9,54	41,1
Қазығұрт Әктас	81,9	2,0	0,2	7,8	0,3	1,5	6,3	11,27	37,0

2-кестеде деректерінен байқалғандай, карбонат жыныстары негізінен кальциттен тұрады, құрамында аз мөлшерде доломит, кварц және сазды минералдар кездеседі. Карбонатты шикізат сапасы жеткілікті жоғары, ал қажетсіз компонент болып табылатын доломиттің үлесі 0,8–2,2% шамасында ғана.

Әктастар

Қазығұрт кен орнының әктастары

Қазығұрт кен орнынан алынатын әктас «Шымкент цемент» ЖШС (HEIDELBERGMATERIALS) кәсіпорнында пайдаланылады және жоғары сапалы карбонаттық шикізат болып табылады. Оның құрамындағы кальций карбонаты (CaCO₃) мөлшері шамамен 90–95% құрайды. Тау жынысы ашық сұр түсті, майда түйірлі құрылымымен ерекшеленеді және қоспаларының мөлшері төмен: кремнезем мен темір оксидтері аз кездеседі. Күйдірген кездегі масса жоғалтуы 42–44% аралығында, бұл материалдың тазалығын айқындайды. Жоғары кальцийлік титрі оны шикізат қоспасында кальций оксидінің (CaO) негізгі көзі ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Кутау кен орнының әктастары

Аталған кен орнындағы әктас «Гэжуба Шиелі Цемент» ЖШС (Қытай) кәсіпорнында қолданылады. Бұл әктастың құрамында қоспалар мөлшері

салыстырмалы түрде жоғары: кремнезем – 6%-ға дейін, магний тотығы (MgO) – 2%-ға дейін. Кальций карбонатының (CaCO₃) үлесі 87–90% шамасында. Тау жынысы тығыз құрылымымен ерекшеленеді және орташа ұнтақталғыштық қасиетке ие. Шикізат қоспасында қажетті модульдік қатынастарды қамтамасыз ету үшін түзеткіш қоспалармен бірге пайдаланылады.

Алюмосиликатты шикізат

Текесу кен орнының лессі

Лесс «Шымкент цемент» ЖШС-де қолданылады және ашық сары түсті, борпылдақ құрылымды шаңды тау жынысы болып табылады. Негізгі химиялық компоненті – кремнезем (SiO₂), оның мөлшері 60%-ға дейін жетеді. Сонымен қатар алюминий тотығы (Al₂O₃) 15%-ға дейін, темір тотығы (Fe₂O₃) 5%-ға дейін кездеседі. Бұл материал оңай ұнтақталады және сулы тәсілде суда жақсы араласып, ерітіндіге айналады. Ол шикізат қоспа дайындау кезінде алюминий-кремний құрамдас қоспа ретінде қолданылады.

Састөбе кен орнының лессі

Бұл кен орнындағы лесс «Sastobe Technologies» ЖШС-де қолданылады, онда клинкерді өндірудің сулы әдісі жүзеге асырылады. Лесс – ашық сары түсті, борпылдақ құрылымды шаңды тау жынысы. Негізгі құрамдас оксидтері: кремнезем (SiO₂), алюминий тотығы (Al₂O₃), кальций тотығы (CaO) және басқа қоспалар. Материал суда оңай диспергирленеді, сондықтан шикізаттық қоспаға ыңғайлы.

Жаңа Қорған кен орнының сазы

Бұл кен орнындағы балшық «Гежуба Шиелі Цемент» ЖШС-де алюмосиликат құрамдас ретінде пайдаланылады. Саздың пластикалық қасиеті жоғары, құрамында 15–25% алюминий тотығы (Al₂O₃), шамамен 50% кремнезем (SiO₂) бар. Темір оксидінің мөлшері 5–8%-ды құрайды. Күйдіру кезіндегі салмақтың жоғалу шығындары 10–15% аралығында. Минералдық құрамы негізінен каолинит пен монтмориллониттен тұрады. Саз алюминий мен кремний тотығының көзі ретінде қызмет етіп, клинкерді күйдіру процесінде кальций алюминаттары мен ферриттерінің түзілуін жақсартады.

Темір құрамдас компоненттер

Абайыл кен орнының темір рудасы

Абайыл кен орны Түлкібас ауданында орналасқан және Оңтүстік Қазақстандағы үш цемент зауытында – Шымкент цемент, Стандартцемент және Састөбе цемент кәсіпорындарында түзеткіш қоспа ретінде қолданылады. Руданың құрамында темір тотығы (Fe₂O₃) 50–60%-ға дейін жетеді. Минералдық құрамы негізінен гематит пен магнетит түрінде берілген. Қосалқы компоненттер ретінде кремнезем (SiO₂), магний тотығы (MgO) және аз мөлшерде алюминий тотығы (Al₂O₃) кездеседі. Бұл руда клинкер құрамындағы темір мөлшерін реттеу үшін қолданылады.

Шойынтас кен орнының темір рудасы

Шойынтас кен орнындағы темір рудасының құрамында да Fe₂O₃ шамамен 50–60%-ды құрайды. Қоспаларының ішінде карбонатты және силикатты минералдар – кальцит пен кварц басым. Кен орны Қарағанды облысында орналасқан. Алайда оны Қызылорда облысындағы «Гежуба Шиелі

Цемент» зауытына жеткізу үшін бірнеше мың шақырым қашықтықты еңсеру қажет, бұл айтарлықтай тасымалдау шығындарын туындатады.

Техногендік және қосалқы материалдар

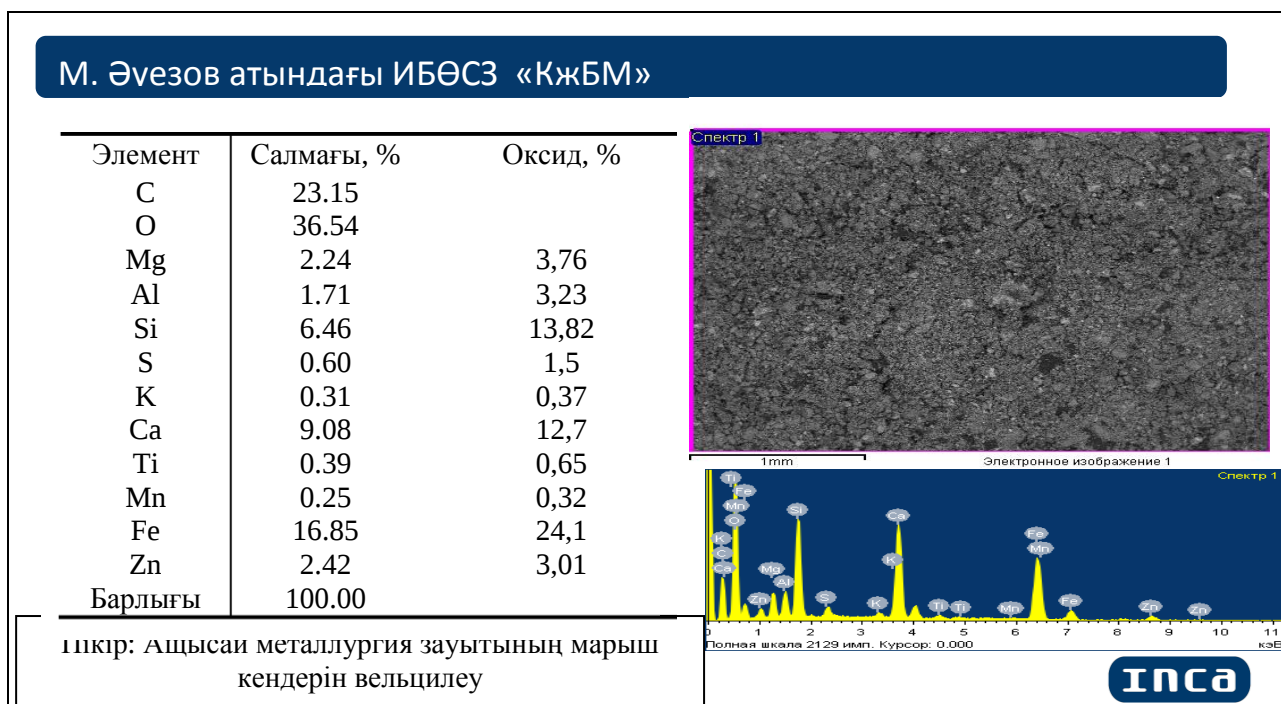
Электротермиялық фосфор қожы (ЭТФС)

ЭТФС – сары фосфор өндірісінің қосалқы өнімі болып табылады. Гранулданған шлақтың химиялық құрамы шамамен: кальций тотығы (CaO) – 40–45%, кремнезем (SiO_2) – 35–40%, фосфор пентоксиді (P_2O_5) – 2,5%-ға дейін, сондай-ақ магний тотығы (MgO), темір тотығы (Fe_2O_3) және басқа компоненттерден тұрады [23, с. 2-7]. Түсі – ашық сұр, құрылымы – шыны тәрізді. Бұл материалды шикізат қоспасында әктастың және лесситтің бір бөлігін алмастырушы ретінде, сонымен қатар цементті ұнтақтау процесінде белсенді минералдық қоспа ретінде қолдануға болады. Алайда құрамындағы фосфор мөлшері мұқият бақылануы тиіс, себебі оның артық болуы цементтің қасиеттеріне (әсіресе қатаю уақыты мен беріктігіне) кері әсерін тигізуі мүмкін.

Ащысай металлургия зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкері

Вельцилеу процесі

Мырыш қалдықтарын вельцилеу кезінде олар түйіршіксіз күйінде қатты тотықсыздандырғышпен бірге еңкіш орналасқан айналмалы пешке жіберіледі. Шихта пештің ішінде түтін газдарымен қарсы ағын бойымен қозғалады. Бұл кезде мырыш буы мен көміртек тотығы бөлініп шығып, пештің бос кеңістігінде толық жануға ұшырайды. Пештің төменгі бөлігінде температура 800–1000°C деңгейінде, ортаңғы аймақта 1200–1350°C аралығында, ал жоғарғы бөлігінде 600–650°C шамасында ұсталады.



Сурет 1 – Ащысай металлургия зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкерінің растрлық электронды-микроскопиялық талдауы

1-суретте, растрлық-электрондық микроскопиялық талдау нәтижелері

бойынша материалдың химиялық құрамы төмендегідей (%): SiO_2 – 13,82; Al_2O_3 – 3,23; Fe_2O_3 – 24,1; CaO – 12,7; MgO – 3,76; SO_3 – 1,5; K_2O – 0,37; TiO_2 – 0,65; Mn_2O_3 – 0,32; ZnO – 3,01; көміртек – 23,15.

Вельцилеу клинкерінің құрамында 15–20%-ға дейін қалдық кокс (көмір) болады, бұл клинкерді күйдіру кезінде форсункалық көмір шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Ащысай металлургия зауытының үйінділерінде мырыш рудаларын вельцилеу нәтижесінде түзілген 4,6 млн. тоннадан астам клинкер жиналған.

Ащысай металлургия зауытының қалдықтары мырыш кендерін өңдеу және мырыш алу барысында айналмалы және шахталық пештерде түзілетін клинкердің қалдықтарынан тұрады. Ащысай металлургия зауытының клинкері сақталған үйінділер 2-суретте көрсетілген.



а



ә

Сурет 2 – Ащысай металлургиялық зауытында жиналған үйінділері

Ащысай металлургия зауытының клинкер қалдықтары

Зауыт маңында шамамен 4,5 млн тонна қалдық жиналған (2-сурет). Ащысай зауытының клинкері – қоңыр және сұр түсті, беріктігі әртүрлі, өлшемі 1–3 мм-ден 100 мм-ге дейін жететін жентектелген түйіршіктерден тұрады. Қалдықтардың құрамында пештің күйдіру аймағында тотықсыздандырғыш орта қалыптастыру мақсатында қосылған толық жанбаған кокс кездеседі. М.А. Абдеев, А.В. Колесников және Н.Н. Ушаков [71] еңбектерінде келтірілген мәліметтерге сәйкес, темір тотығы қос және үш валентті күйінде болады, ал материалдың пеш бойымен қозғалу процесінде реакцияға қабілетті темірдің үлесі біртіндеп арта түседі.

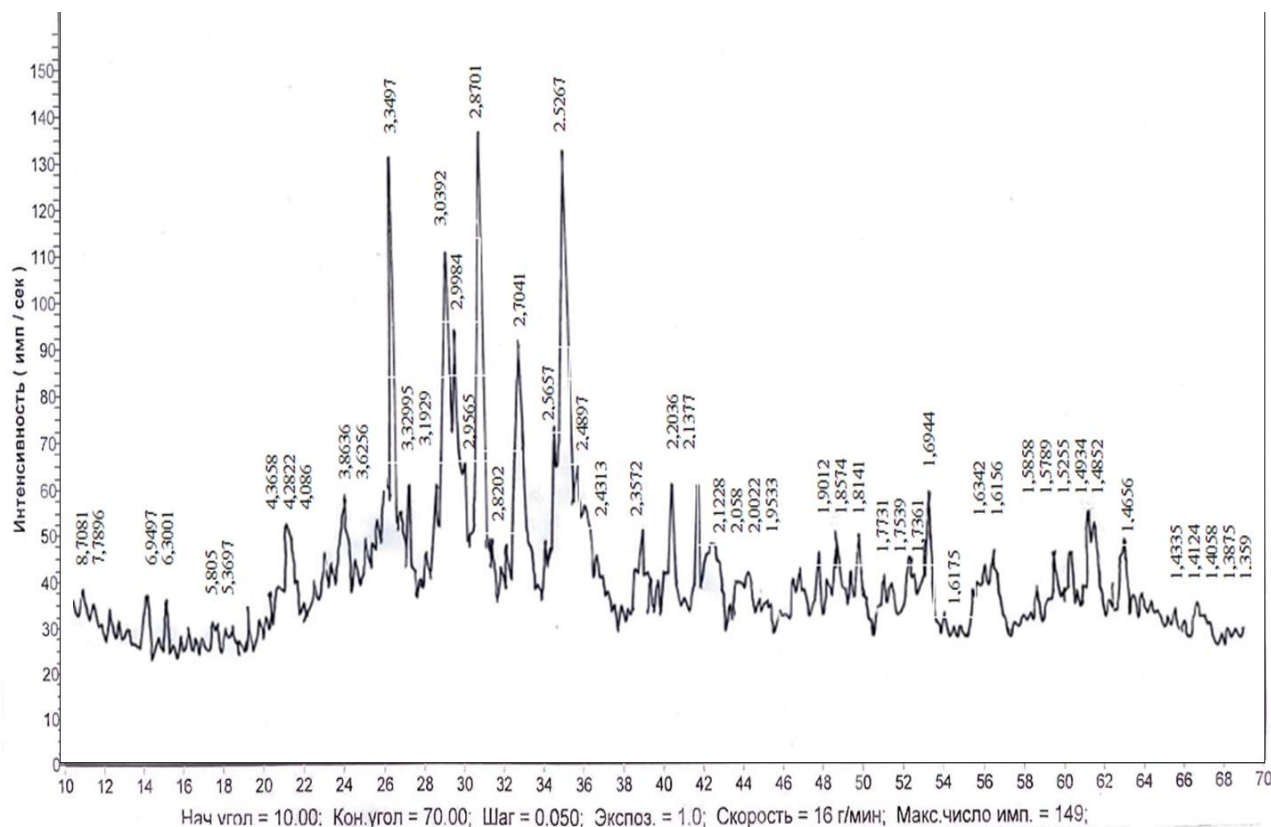
Вельцилеу клинкерінің үйінділерінен ТОО «Гежуба Шиелі Цемент», ТОО «Стандарт Цемент» және АО «Шымкентцемент» кәсіпорындарына дейінгі арақашықтық шамамен 200 км құрайды. Бұл баламалы шикізат көздеріне қарағанда әлдеқайда жақын орналасқан. Мұндай жағдай темірқұрамды компонентті жеткізуге кететін тасымалдау шығындарын айтарлықтай азайтып, аталған қалдықтарды тиімді кәдеге жаратуға мүмкіндік береді.

Ащысай металлургиялық зауытының мырыш рудаларын вельцилеу кезінде түзілетін клинкердің құрамында 24–33% дейін темір тотығы болады.

Бұл материал іс жүзінде зерттелмеген, толықтай қарастырылмаған жаңа темірқұрамды қоспа ретінде портландцемент клинкерінің шикізаттық қоспасына қолданылуы мүмкін.

Ащысай зауытында мырыш кендерін вельцилеу нәтижесінде түзілетін клинкерге жасалған талдау (ТОО «Шымкентцемент» зертханасындағы X-Ray құралында) көрсеткендей, бұл қалдық клинкер өндірісіне қажетті негізгі тотықтардан бөлек қосымша металдардың оксидтерін де қамтиды: TiO_2 – 0,331%, Mn_3O_4 – 0,41%, Cr_2O_3 – 0,25%, BaO – 1,731% және CuO – 0,407%. Аталған қосындылар клинкер минералдарының құрылымына модификациялаушы әсер етіп, соның нәтижесінде клинкердің құрылымы жақсарып, клинкер мен цементтің белсенділігі артады [28, с. 3-260; 72-74].

Сонымен қатар, құрамында 3,12% мырыш оксиді бар, ол клинкерді күйдіру процесінде минерализатор ретінде әсер етіп, жентектелу температурасын төмендетеді. Соның нәтижесінде клинкерді күйдіруге жұмсалатын меншікті отын шығыны азаяды, айналмалы пештің өнімділігі артады және атмосфераға CO_2 шығарындылары барынша қысқарады.



Сурет 3 – Ащысай металлургия зауытында мырышты кендерді вельцилеу процесінен алынған клинкердің рентгенограммасы

3-суретте, рентгенфазалық талдау нәтижелері бойынша мырышты кендерді вельцеу клинкерінің минералдық құрамы келесідей анықталды: магнетит FeFe_2O_4 ($d = 4,28; 2,99; 2,526; 2,43; 2,058; 1,694; 1,61; 1,48 \text{ \AA}$); гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $d = 3,62; 2,704; 2,489; 2,431; 2,203; 1,857; 1,694; 1,482; 1,465 \text{ \AA}$); β -кварц ($d = 4,24; 3,34; 2,45; 2,30; 2,224; 2,137; 1,95; 1,81; 1,67; 1,54; 1,387 \text{ \AA}$).

Сонымен қатар, әлсіз интенсивтілікке ие алюминаттық (C_3A , $d = 2,7041; 1,9012; 1,54 \text{ \AA}$) және ферриттік (C_4AF , $d = 2,76; 2,6649; 2,5657; 2,058; 1,9012; 1,8141 \text{ \AA}$) фазалардың шындалуы байқалды.

Осылайша, химиялық талдау нәтижелеріне сәйкес (3-кесте), Ачисай металлургия зауытындағы мырышты рудаларды вельцилеу клинкерінің құрамы мынадай оксидтерден тұрады, %: SiO_2 – 27,55; Al_2O_3 – 5,74; Fe_2O_3 – 33,5; CaO – 17,33; MgO – 6,07. Бұл компоненттер портландцемент клинкерінің негізгі түзуші оксидтері болып табылады. Сонымен қатар, шикізат қоспасына енгізілген карбонатсыз кальций тотығы (CaO) мен магний тотығы (MgO) клинкерді күйдіру барысында $CaCO_3$ пен $MgCO_3$ -тің эндотермиялық ыдырау реакциясына жұмсалатын жылу шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

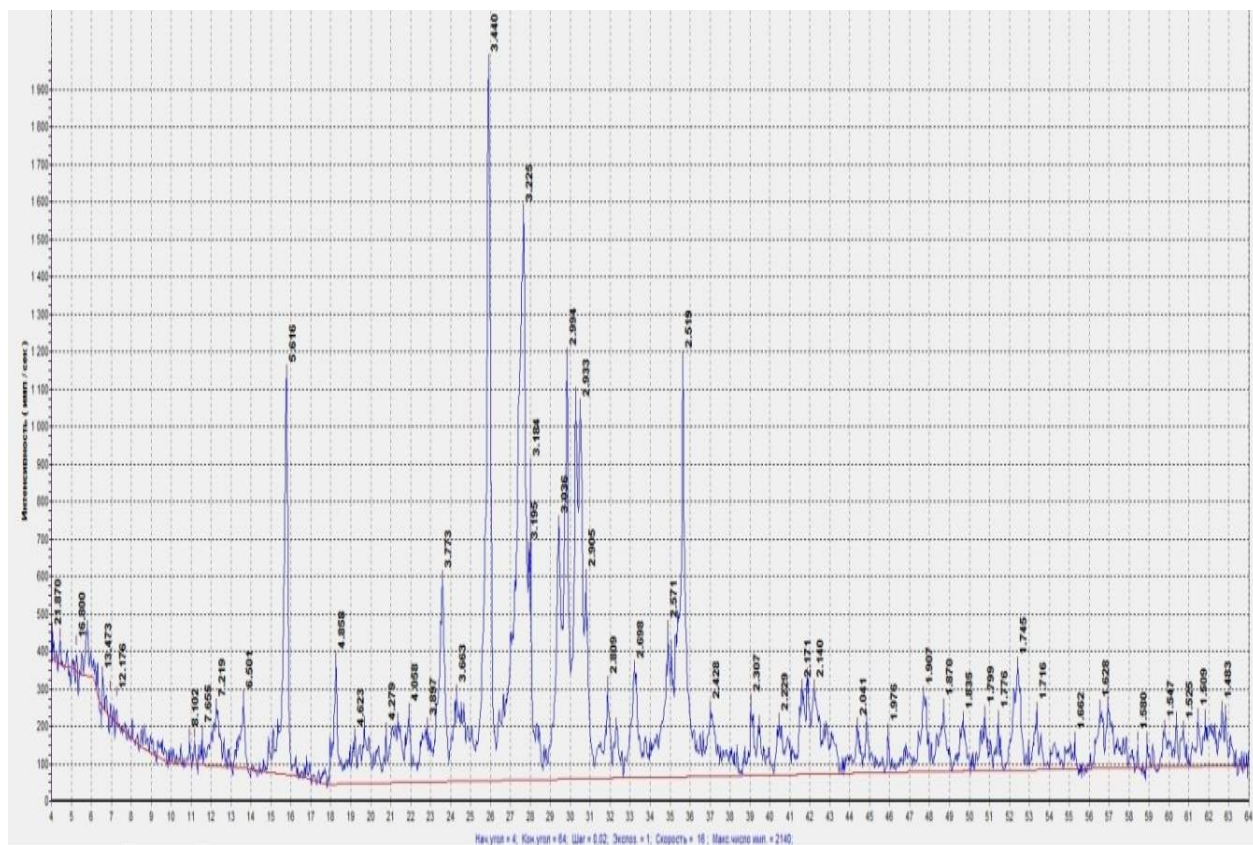
«Южполиметалл» АҚ Шымкент қорғасын зауытының шлактары қара түсті, ұсақ түйіршікті материал түрінде болады, негізгі бөлшектерінің өлшемі шамамен 0,25–3 мм аралығында. Қорғасын шлагының химиялық құрамы 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3 – «Южполиметалл» АҚ қорғасын қожының толық химиялық құрамы

Материал	Химиялық құрамы, массасы. %											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	ZnO	PbO	CuO	сумма
Қорғасын шлак	23,91	5,25	38,12	15,09	2,97	3,84	3,24	1,36	4,34	0,52	1,10	99,74

Қорғасын шлактарының минералдық құрамы негізінен фаялиттен (Fe_2SiO_4), мелилиттен, вюститтен тұрады, сондай-ақ аз мөлшерде темір, қорғасын мен мыс сульфидтері және мырыш шпинелі кездеседі. Құрамындағы темір оксидтері 37–40%-ға дейін жететіндіктен, мұндай шлактарды түзетуші қоспалардың орнына пайдалануға болады [75, 76]. Сонымен қатар, олардың құрамында шамамен 15%-ға дейін CaO бар, бұл өз кезегінде карбонаттық компонентті ішінара алмастыруға мүмкіндік береді. Аталған техногендік өнімдер негізгі технологиялық процесте жоғары температуралық өндеуден өткендіктен, олардың құрамында некарбонаттық әк кездеседі. Қорғасын шлагының баланстық қоры шамамен 2 млн. тоннаны құрайды [77].

4-суретте «Южполиметалл» АҚ зауытының қорғасын шлагының рентгенограммасы келтірілген. Рентгенофазалық талдау нәтижелері бойынша шлак құрамында келесі минералдарға тән дифракциялық максимумдар анықталды: фаялитке – $d = 3,77; 2,81; 2,31; 1,77; 1,58 \text{ \AA}$, вюститке – $d = 4,27; 2,14; 1,52; 1,50 \text{ \AA}$, гематитке – $d = 3,66; 2,69; 2,42; 2,22; 1,83; 1,66; 1,48 \text{ \AA}$, мелилитке – $d = 2,51; 2,04; 1,87; 1,74; 1,71; 1,54 \text{ \AA}$, ал мырыш шпинеліне – $d = 1,90; 1,62 \text{ \AA}$ мәндері сәйкес келеді.



Сурет 4 – «Южполиметалл» АҚ зауытының қорғасын шлагының рентгенограммасы

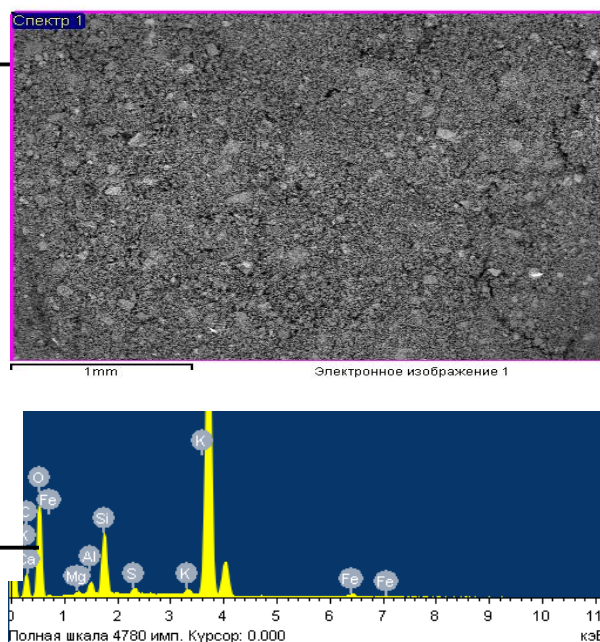
Састөбе әктасын ұсақтау қалдықтары

Бұл материал әктасты ұсақтау және електен өткізу нәтижесінде түзілетін майда дисперсті қалдық болып табылады, оның құрамында CaCO_3 мөлшері 92%-ға дейін жетеді. Бөлшектерінің өлшемі 0-ден 15–20 мм-ге дейінгі аралықта болады. Мұндай қалдықты пайдалану өндірістік шығындарды азайтуға мүмкіндік береді, себебі карьерде бұрғылау-жару жұмыстарын жүргізудің қажеттілігі болмайды. Әктас кеніші толықтай пайдаланудан шығарылады, соның нәтижесінде әктастың қоры келешек ұрпаққа сақталады және табиғи ресурстарға түсетін жүктеме едәуір төмендейді.

Састөбе кенінің әктасты ұсақтау қалдығы зауыт ақ портландцемент шығарған кезеңде түзіледі. Карьерде әктасты байыту жұмыстары жүргізілген. Ұсақтағыштан өткеннен кейін әктас електен өту процесінен өтіп, 15–20 мм дейінгі ұсақ фракциясы іріктеліп алынған, оның құрамында глиналы қоспалар, сонымен қатар темір және басқа түсті оксидтер жоғары мөлшерде кездесетін, бұл ақ клинкердің түсінің тазалығын және сортын төмендеткен. Осы уақыт ішінде қалдықтардың бірнеше миллион тоннасы қорда жиналған. Химиялық құрамына сәйкес, ұсақтау қалдығында кремний оксидінің мөлшері жоғары, ал CaO мөлшері сәл төмен (қараңыз, 1-кесте, 5-сурет). Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, әктасты ұсақтау қалдығы клинкер алу үшін жарамды.

Састөбе әктасының қалдықтары

Элемент	Салмағы, %	Оксид, %
C	12.20	
O	47.45	
Mg	0.33	0,55
Al	0.91	1,71
Si	4.50	9,62
S	0.46	1,15
K	0.39	1,59
Ca	32.88	46,0
Fe	0.88	1,26
Қорытынды	100.00	



Сурет 5 – Састөбе кен орнының әктас ұсақтау қалдықтарын растрлық электронды-микроскопиялық талдау

Ленгер шахталарының көмір өндіру қалдықтары

Көмір өндіру қалдықтары – жанғыш заттарды қамтитын қалдық тау жыныстары болып табылады. Ленгер қаласындағы шахталық қорларда 6 миллион тоннадан астам көмір қалдықтары жиналған. Қазіргі уақытта ашық ауада 7 шөгінді қоймасы орналасқан, олардың жалпы аумағы 25 га егіншілікке жарамды құнарлы жерді алып отыр. Бұл қалдықтар қоршаған ортаға теріс әсер етеді. Алайда, оларды портландцемент өндіруде қолдануға болады.

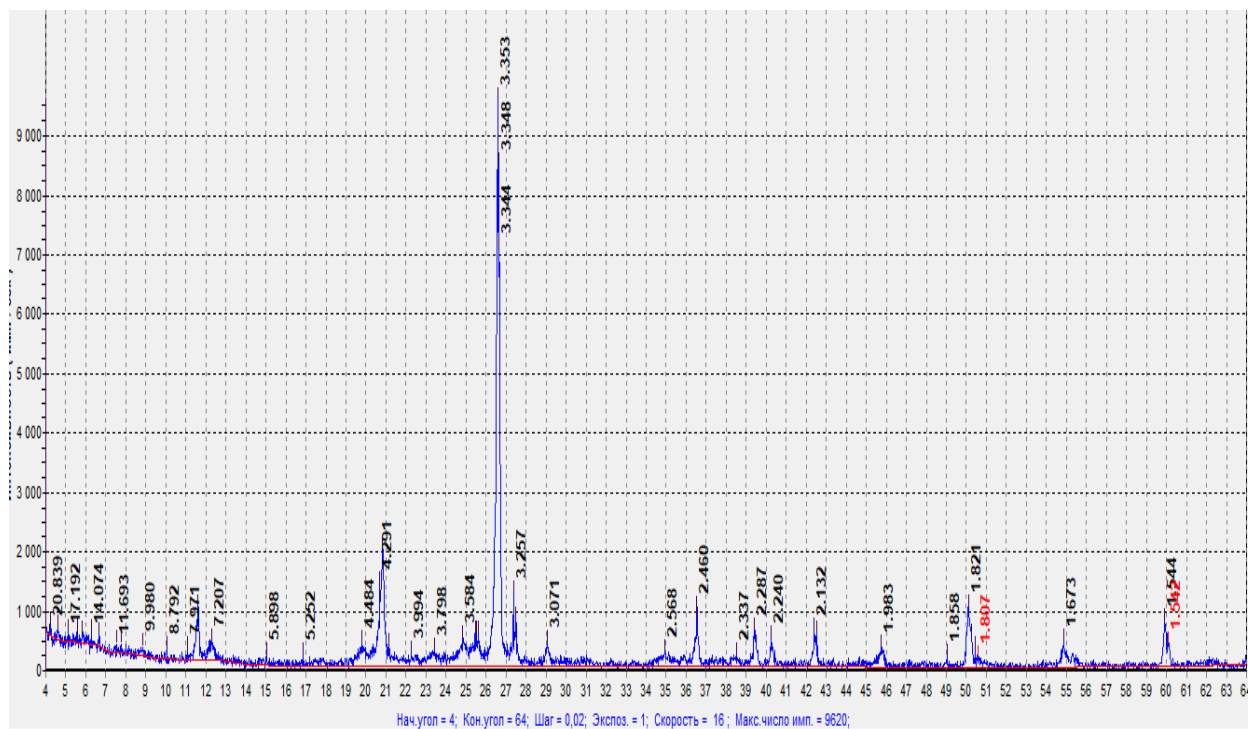
Ленгер шахтасының қалдық қоймасының бірнеше әртүрлі нүктелерінен алынған көмір қалдығының өкіл үлгісінің химиялық құрамының талдауы ұсынылған. Ленгер шахталарындағы көмір өндіру қалдықтарының өкіл үлгісінің химиялық құрамы 4-кестеде көрсетілген.

Кесте 4 – Ленгер шахталарының көмір өндіру қалдықтарының химиялық құрамы

Материал	Химиялық құрамы, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	кксж	басқ	сумма
Көмір өндірудің қалдықтары	55,5	10,6	2,01	3,21	0,7	0,79	24,08	3,11	100,00

Көмір өндіру қалдықтары сазды, карбонатты минералдар мен көміртектен тұрады. Көмір қалдықтарының химиялық құрамы цемент клинкерін өндіру кезінде шикізат қоспасындағы саз компонентін ішінара немесе толық алмастыруға мүмкіндік береді. Кремний оксидінің (SiO₂) мөлшері 55,5%-дан асады, ал Al₂O₃ – 10,6%, бұл қалдықтарды портландцемент клинкерін алу үшін

қолданылатын шикізат қоспасындағы алюмосиликат компонентін алмастыруға мүмкіндік береді. Көмір қалдықтарындағы көміртек мөлшері 15%-дан асады, бұл отынның бірлік шығынын азайтуға, жану кезінде қосымша жылу бөлінуге, сондай-ақ клинкерді күйдіру кезінде отын үнемдеуге және энергияны сақтауына ықпал етеді. Шикізатты ұнтақтау кезінде көмір бөлшектерінің шикізат қоспасын ұнтақтау процесін интенсификациялайтын әсері арқасында электр энергиясын тұтыну азаяды. 6-суретте Ленгер шахталарының көмір қалдықтарының рентгенограммасы көрсетілген.



Сурет 6 – Ленгер шахталарының көмір өндіру қалдықтарының рентгенограммасы

2.2 Шикізат және алынатын материалдарды зерттеу әдістері

Шикізат материалдарының, өнеркәсіп қалдықтарының және алынған цемент клинкерінің құрамын зерттеу үшін MEMCT 5382-2019 «Цементтер және цемент өндірісінің материалдары. Химиялық талдау әдістері» стандартына сәйкес химиялық талдау әдістері [78] қолданылды. Шикізат пен клинкерге рентгенфазалық талдау ДРОН-3 дериватографында [79, 80], ENDEAVOR D8 дифрактометрінде және X-ray (S8 Tiger) аспабында [79, с. 3-142; 81] жүргізілді. Электронды-микроскопиялық зерттеулер JEOL JSM-6490 LV микроскопында орындалды [79, с. 3-142; 82]. Клинкердің күйдірілу сапасы ерімеген CaO мөлшері бойынша бағаланды, ол этил-глицерат әдісімен анықталды [78, с. 2-29].

Химиялық талдау – бұл материалдың құрамын ерітіндідегі анықталатын заттардың химиялық реакцияларына негізделген әдістер арқылы анықтау үдерісі. Шикізат материалдарының және қалдықтардың химиялық құрамы MEMCT 5382-2019 стандарты бойынша анықталды [78, с. 2-29].

Рентгенфазалық талдау – шикізат материалдарының, техногендік қалдықтардың, алынған клинкерлердің, сондай-ақ цементтердің гидратация өнімдерінің фазалық құрамының сапалық және сандық көрсеткіштерін анықтауға арналған әдіс. Рентгенфазалық талдау ДРОН-3 аспабында (М. Әуезов атындағы ОҚУ және Д.И. Менделеев атындағы РХТУ-дың ұжымдық пайдалану орталығы) жүргізілді.

ДРОН-3 рентгенфазалық аппаратының жұмыс шарттары: қоршаған орта температурасы – 10–35°C; салыстырмалы ылғалдылық – 25°C-та 80%-ға дейін; атмосфералық қысым – 630–800 мм сын.бағ. Детектордың орын ауыстыру бұрыштарының (дифракция бұрыштары) диапазоны: 0-ден +1660-қа дейін (сағат тіліне қарсы бағытта) және 0-ден –1000-қа дейін (сағат тілі бойымен). Детекторды сатылы режимде жылжыту қадамдары: 0,01; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; 0,50; 1,000. Өлшеуіш потенциометр лентасындағы бұрыштық белгілер 0,1 немесе 1,0 θ арқылы белгіленеді. Рентген түтігі – 1,5 БСВ 23 Cu [83, 84].

S8 TIGER рентгендік спектрометрі: жоғары өнімділік пен дәлдік. Жаңа рентгенфлуоресценттік спектрометр S8 TIGER жоғары аналитикалық мүмкіндіктерді, қолдану ыңғайлылығын және ықшам заманауи дизайнды үйлестіреді. S8 TIGER аспабының үздік аналитикалық сипаттамалары спектрометрдің негізгі компоненттерінде – рентгендік оптика мен қоздыру көзінде – заманауи технологияларды қолданудың нәтижесі болып табылады.

Жаңа кристалл-анализаторларды қолдану (XS-CEM – PET орнына, XS-400 – LiF200 орнына, XS-55 – көміртекті талдау үшін стандартты жинақта), жоғары дәлдікті гониометр және жаңа рентген түтігі (ток күші 170 мА-ге дейін) бірқатар элементтерді анықтау кезінде сезімталдық шектерін, дәлдікті және ажырату қабілетін жақсартуға мүмкіндік береді.

Ең жоғары дәлдік пен қайталанғыштықты қамтамасыз ету мақсатында спектрометрдің барлық компоненттері бірыңғай жүйе ретінде жұмыс істейді. Гониометрдің жоғары дәлдікті механизмі қозғалтқыш бөліктерінің электржетектер арқылы синхрондалуымен қамтамасыз етіледі. S8 TIGER – ықшам әрі сонымен қатар қуаты ең жоғары спектрометр болып табылады [80, с. 3-332].

Дифференциалды-термиялық талдау зерттелетін материалдарды қыздыру кезінде жүретін жылу бөлу немесе сіңірумен қатар жүретін физика-химиялық түрленулерді зерттеу үшін қолданылады. Әдістің мәні – зерттелетін және эталондық үлгілерді бір уақытта және бірдей жағдайда қыздыру немесе салқындату барысында олардың температура айырмасын өлшеуге негізделген. Аспаптан алынған термограммалардағы эндотермиялық немесе экзотермиялық эффектілердің болуы үлгінің термотұрақтылығын, ыдырау реакцияларын, құрамын, фазалық ауысуларын, материалдардың балқу процестерін жедел әрі жан-жақты талдауға мүмкіндік береді. Шикізат материалдарының дифференциалды-термиялық талдауы Германияда жасалған NETZSCH STA 449 F1 Jupiter аспабында (Д.И. Менделеев атындағы РХТУ-дың ұжымдық пайдалану орталығы) жүргізілді [80, с. 3-332].

Электронды-микроскопиялық талдау үлгі бетінің электронды зондпен сканерленуі және осы процесс кезінде пайда болатын кең диапазонды

сәулеленулерді детектірлеу арқылы жүзеге асырылады. Электрондық микроскопта кескін алу үшін екіншілік, шағылған және жұтылған электрондар пайдаланылады. Ал рентгендік сәулелену секілді қосымша эффектiлер үлгінің химиялық құрамын анықтау жөнiнде қосымша ақпарат береді. Үлгілердің электронды-микроскопиялық талдауы JEOL JSM-6490 LV маркалы электронды микроскопта жүргізілді [82].

Жұмысты орындау әдістемесі

Таңдап алынған шикізат материалдары алдымен жақты, кейін білікті ұсақтағыш 2–4 мм өлшемге дейін ұсақталады. Материалдар 80–90°C температурада кептіргіш шкафында 1,5–2 сағат бойы кептірілді. Шикізат материалдары (қалдықтар) зертханалық шарлы диірменде майдалап ұнтақталды, олардың меншікті беті шамамен 300 м²/кг-ге жеткенше немесе №02 електе қалдық мөлшері 2–3% және №008 електе 10–15% болғанға дейін. Шикізат қоспасы алдын ала кептірілген және ұнтақталған компоненттерден дайындалып, массасы 100 г болды. Карбонатты, алюмосиликатты компоненттер мен түзетуші қоспа техникалық таразыларда қажетті дәлдікпен (0,01 г дейін) өлшеніп алынды, кейін біріктіріліп, зертханалық араластырғышта мұқият араластырылды.

Таблеткаларды дайындау үшін 100 г шикізат қоспасына 10–12 г су қосылып, біртекті ылғалды масса алынғанша араластырылды. Осы массадан гидравликалық пресітегі қалып арқылы диаметрі 30 мм, биіктігі 15–20 мм таблеткалар қалыпталды. Пресітеу қысымы – 20 МПа. Дайын таблеткалар 80–90°C-та кептіріліп, кейін берілген режим бойынша пеште күйдірілді. Клинкерлер ауада күрт салқындатылды [85].

Клинкерлердегі бос СаО мөлшері Э.И. Нагрова мен Н.И. Колендзян ұсынған этил-глицерат әдісімен МЕСТ 5382-2019 стандартына сәйкес анықталды [78, с. 2-29]. Бұл әдіс СаО түріндегі де, Са(ОН)₂ түріндегі де бос әктің жалпы мөлшерін анықтауға қолайлы. Әдіс клинкер немесе цемент үлгісін сусыз глицерин мен абсолютті спирт қоспасымен өңдеуге негізделген. Цемент құрамындағы бос кальций оксиді глицеринмен әрекеттесіп, кальций глицератын түзеді. Алынған кальций глицераты спирттегі бензой қышқылы немесе сіркеқышқылды аммоний ерітіндісімен титрленеді. Ерітіндіге тек кальций глицераты өтеді, ал бос магний оксиді глицеринмен әрекеттеспейді. Клинкердегі бос СаО мөлшері 1,5–2%-дан аспаған жағдайда ол жеткілікті түрде күйдірілген және сапалы болып есептеледі.

Бөлім бойынша қорытындылар

1. Жергілікті табиғи және техногендік шикізат ресурстарын талдау олардың цемент клинкерін өндіруде пайдалануға жарамды екенін көрсетті. Ұсынылған өнеркәсіптік қалдықтар технологиялық тұрғыдан қолайлы, негізінен түйіршікті немесе ұсақ кесекті күйде болады, тасымалдауға ыңғайлы әрі өндіріс процесінде дәл мөлшерлеуге мүмкіндік береді. Аталған материалдарда зиянды, радиоактивті және басқа да қалаусыз қоспалар анықталмады. Табиғи радионуклидтердің меншікті тиімді белсенділігі анықталды.

Барлық зерттелген материалдар қолайлы химиялық құрамға ие. Өнеркәсіп қалдықтары мен қосалқы өнімдерді пайдалану цемент өндірісінің өзіндік құнын төмендетумен қатар оның экологиялық тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді.

2. Энергия шығыны аз және экологиялық таза клинкер алу мақсатында «Стандарт Цемент» ЖШС, «Шымкентцемент» ЖШС, «Гежуба Шиелі Цемент» ЖШС және «Састөбе Технолоджис» ЖШС цемент зауыттарының табиғи шикізат материалдары зерттелді.

3. Баламалы шикізат пен түзетуші қоспалар ретінде Састөбе кенорнындағы әктасты ұсақтау қалдықтары, Ащысай металлургия зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинкері, қорғасын шлактары, Тараз қаласындағы Жаңа-Жамбыл фосфор зауытының электротермиялық фосфор шлактары, Ленгер кеніштерінің көмір өндіру қалдықтары, тефритобазальттар және темір кені зерттелді. Әктасты ұсақтау қалдықтары, көмір өндіру қалдықтары, тефритобазальт және қорғасын шлағы Оңтүстік Қазақстандағы үш ірі цемент зауытының («Стандарт Цемент» ЖШС, «Шымкентцемент» ЖШС және «Састөбе Технолоджис» ЖШС) тікелей маңында орналасқандықтан, бұл кәсіпорындарға өндірістік қалдықтарды жеткізу бойынша логистикалық және тасымал шығындары айтарлықтай төмен болады.

4. Диссертациялық жұмыста шикізат материалдарын, жартылай фабрикаларды және дайын өнімді зерттеудің заманауи әдістері, талдау тәсілдері және стандартталған сынақтары пайдаланылды. Ғылыми-зерттеу жұмыстары мен сынақтар М. Әуезов атындағы ОҚУ-дың «Силикаттар технологиясы және металлургия» кафедрасының ғылыми-зертханалық базасында, сондай-ақ ИБАСЗ зертханасында, Д.И. Менделеев атындағы РХТУ-дың ортақ пайдалану орталығында, «Шымкентцемент» ЖШС, «Стандарт Цемент» ЖШС және «Састөбе Технолоджис» ЖШС зауыттарының өндірістік зертханаларында жүргізілді.

3 ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЭНЕРГИЯ ҮНЕМДЕЙТІН, ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗА ШИКІЗАТ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ КЛИНКЕР ТҮЗІЛУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

3.1 Күйдіру процестерін зерттей отырып, Састөбе әктасын, Ащысай клинкерін және қорғасын шлагын ұсақтау қалдықтарын пайдалана отырып, энергия үнемдейтін, экологиялық таза шикізат қоспаларын іріктеу және есептеу

Зерттеу жұмыстары аясында аз энергия сыйымды клинкерлер алу үшін Састөбе кен орнындағы әктасты ұсату қалдықтарын, сондай-ақ Ащысай металлургия зауытының мырыш кендерін вельцилеу процесінен шыққан клинкері мен қорғасын шлактарын пайдалану мүмкіндігі қарастырылды.

Састөбе кен орнындағы әктасты ұсақтау қалдықтары зауытта ақ портландцемент өндірілген кезеңде пайда болған. Карьерде әктасты байыту жүргізілген. Ұсақтағыштан кейін әктас елек арқылы іріктеліп, 15–20 мм дейінгі ұсақ фракциялар бөлінген. Бұл фракциялар құрамында темірдің бояғыш оксидтері мен басқа да қоспалар көп болатын сазды минералдарға бай болып, ақ клинкердің ақтығын және сортын төмендеткен. Сол кезеңнен бері үйінділерде бірнеше миллион тоннаға жуық қалдық жиналып қалған. Химиялық құрамы бойынша бұл қалдықтарда әктастан салыстырғанда кремний диоксидінің мөлшері жоғары, ал кальций оксидінің үлесі сәл төмен (5-кесте).

Кесте 5 – Шикізат материалдары мен өнеркәсіп қалдықтарының химиялық құрамы

Материалдар мен қалдықтар	Шикізат материалдары мен қалдықтардың, массалардың химиялық құрамы. %															
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	ZnO	P ₂ O ₅	PbO	CuO	ккж	басқалар	сумма
Састөбе әктас қалдықтары	10,68	1,64	0,51	54,91	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	32,15	0	100
Лесс Састөбе	56,45	11,81	4,39	8,89	2,34	0,05	-	-	-	-	-	-	-	10,51	5,56	100
Ащысай клинкері	24,41	4,99	28,45	15,07	5,42	1,45	0,66	0,75	1,06	-	0,27	-	-	12,64	4,87	100
Қорғасын шлак	23,91	5,25	38,12	15,09	2,97	3,84	3,24	1,36	-	4,34	-	0,52	1,10	-	0,26	100

Үш компонентті шикізат қоспаларының құрамын есептеу С.Д. Огороков ұсынған әдістеме бойынша [72, с. 10-125], РССЗ және РСС МС [79, с. 3-135] арнайы бағдарламалық қамтамасыздандыруды қолдана отырып жүргізілді.

Есептеулерді орындамас бұрын барлық бастапқы шикізат компоненттері мен қоспалардың химиялық құрамы есептік деректердің дұрыстығын қамтамасыз ету үшін 100% мөлшерге келтірілді. Қолданылған материалдар мен қалдықтардың химиялық құрамы 5-кестеде көрсетілген.

Негізгі бақыланатын оксидтерге кальций оксиді (CaO), кремний диоксиді (SiO_2), алюминий оксиді (Al_2O_3) және темір оксиді (Fe_2O_3) жатады, себебі дәл осы қосылыстар цемент клинкерінің негізгі минералдарын түзеді. Бұдан бөлек, шикізат құрамында кездесетін қосалқы және қоспа компоненттер де ескерілді, олардың қатарына MgO , SO_3 , Na_2O , K_2O , сондай-ақ металлургиялық қалдықтарға тән ауыр металдардың (ZnO , PbO , CuO) іздік мөлшерлері кіреді.

Састөбе әктасты қалдықтарының құрамында кальций оксиді мөлшері жоғары (54,91%) және қыздырғанда айтарлықтай масса шығыны байқалады (32,15%), бұл құрамында карбонаттардың үлесі басым екенін көрсетеді.

Састөбе кен орнындағы лесс жоғары кремний диоксиді (56,45%), алюминий оксиді (11,81%) және темір оксиді (4,39%) мөлшерімен ерекшеленеді, бұл оның сазды минералдары бар алюмосиликатты тау жыныстарға тән екенін айғақтайды.

Ащысай клинкерінің құрамында темір оксиді (Fe_2O_3) жоғары деңгейде – 28,45%, сондай-ақ кальций оксиді (CaO – 15,07%), кремний диоксиді (SiO_2 – 24,41%) және алюминий оксиді (Al_2O_3 шамамен 5%) бар. Мұндай құрам оны шикізат қоспасындағы темір мөлшерін реттеуге тиімді компонент етеді.

Қорғасын шлагы – металлургиялық өндірістен шыққан техногенді өнім, оның құрамында Fe_2O_3 – 38,12%, CaO – 15,09%, SiO_2 – 23,91%, Al_2O_3 – 5%-дан жоғары, сондай-ақ ауыр металдардың қосымша қоспалары кездеседі (ZnO – 4,34%, PbO – 0,52%, CuO – 1,10%).

Осылайша, аталған екі қалдықты клинкер алуға арналған шикізат қоспасында темір құрамын түзетуші қосымша ретінде пайдалануға болады. Бұдан бөлек, олардың құрамында айтарлықтай мөлшерде карбонатсыз әк (CaO), сондай-ақ шикізат шихтасының негізгі компоненттері болып табылатын кремний және алюминий оксидтері бар.

Үш компонентті шикізат қоспаларының («Састөбе әктас қалдықтары + лесс + Ащысай клинкері») химиялық құрамына көпнұсқалы есептеулер жүргізіліп, 1 т клинкер алуға қажетті теориялық меншікті шикізат шығыны анықталды. Есептеулер әртүрлі қанығу коэффициенттерінде ($\text{ҚК} = 0,88; 0,90; 0,92$ және $0,95$) орындалды (6, 7, 8-кестелер). Силикаттық модульдің мәні 2,0-ден 2,5-ке дейін өзгертілді. Бұл қоспалар сериясында глиноземдік модульдің шамасы төмен болды ($\rho = 0,55\text{--}0,80$), себебі алюминий оксидінің мөлшері аз. Аталған модульдің шамасы силикаттық модульге тікелей тәуелді: силикаттық модуль артқан сайын глиноземдік модуль де өседі. Шихтада C_3A минералы өте аз мөлшерде (0,1–2,2%) түзіледі. Мұндай шикізат қоспаларын төмен алюминатты, сульфатқа төзімді және ерекше сульфатқа төзімді цементтердің арнайы түрлерін өндіруде қолдануға болады. Шетелдік тәжірибеде тіпті алюминатсыз цемент түрлері шығарылған жағдайлар белгілі.

Кесте 6 – Үш компонентті шикізат қоспаларының химиялық құрамы және шикізаттың меншікті шығыны (Састөбе әктасын ұсақтау қалдығы+ Лесс+Ащысай клинкері)

Қос палар	Шикізат қоспасының құрамы, мас. %			Шикізаттың меншікті шығыны, клинкердің т/т			ҚК	Модульдер		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, массасы. %							
	Састөбе әктас қалдықтары	Лесс	Ащысай клинкері	Састөбе әктас қалдықтары	Лесс	Ащысай клинкері		n	p	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Баскалар	кксж
1	77,91	6,74	15,50	1,077	0,093	0,214	0,88	2,0	0,56	15,89	2,84	5,10	45,64	1,22	0,23	1,55	27,66
2	79,17	8,01	12,96	1,098	0,111	0,180	0,88	2,2	0,65	16,13	2,89	4,44	46,06	1,12	0,19	1,43	27,88
3	80,59	9,60	9,81	1,124	0,134	0,137	0,88	2,5	0,81	16,42	2,94	3,62	46,59	0,99	0,15	1,28	28,18
4	78,34	6,32	15,35	1,087	0,087	0,212	0,90	2,0	0,55	15,68	2,80	5,04	45,89	1,21	0,23	1,52	27,78
5	79,59	7,57	12,84	1,107	0,105	0,178	0,90	2,2	0,65	15,91	2,84	4,39	46,31	1,10	0,19	1,40	28,00
6	81,14	9,12	9,73	1,133	0,127	0,136	0,90	2,5	0,81	16,19	2,89	3,58	46,83	0,98	0,15	1,25	28,27
7	78,89	5,91	15,20	1,096	0,082	0,211	0,92	2,0	0,55	15,47	2,75	4,99	46,14	1,19	0,22	1,49	27,90
8	80,14	7,14	12,72	1,117	0,099	0,177	0,92	2,2	0,64	15,69	2,79	4,34	46,56	1,09	0,19	1,37	28,12
9	81,68	8,66	9,66	1,143	0,12	0,135	0,92	2,5	0,80	15,97	2,84	3,54	47,08	0,96	0,14	1,22	28,39
10	79,70	5,32	14,98	1,110	0,074	0,208	0,95	2,0	0,55	15,17	2,68	4,90	46,49	1,17	0,22	1,44	28,07
11	80,93	6,51	12,55	1,131	0,091	0,175	0,95	2,2	0,64	15,38	2,72	4,27	46,91	1,07	0,19	1,32	28,29
12	82,46	7,99	9,55	1,156	0,112	0,134	0,95	2,5	0,80	15,65	2,77	3,49	47,43	0,94	0,14	1,17	28,55

Кесте 7 - Үш компонентті шикізат қоспаларына негізделген клинкерлердің химиялық-минералогиялық құрамы (Састөбе әктас қалдықтары+ Лесс+Ащысай клинкері)

Қоспалар	Клинкердің химиялық құрамы, массасы. %							ҚК	Модульдер		Минералогиялық құрамы, массасы. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	баскалар		n	p	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	21,97	3,93	7,05	63,09	1,69	0,32	1,95	0,88	2,0	-	53,43	22,67	-1,57	21,44
2	22,36	4,01	6,16	63,87	1,55	0,27	1,79	0,88	2,2	-	54,39	23,08	0,15	18,72
3	22,85	4,10	5,04	64,84	1,38	0,20	1,58	0,88	2,5	-	55,58	23,59	2,29	15,33

7-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	21,71	3,87	5,04	45,89	1,21	0,23	1,91	0,90	2,0	-	57,75	18,67	-1,61	21,23
5	22,09	3,94	6,10	64,32	1,53	0,26	1,74	0,90	2,2	-	58,77	19,00	0,09	18,54
6	22,58	4,03	5,00	65,29	1,36	0,20	1,54	0,90	2,5	-	60,05	19,41	2,20	15,19
7	21,46	3,81	6,91	63,99	1,65	0,31	1,86	0,92	2,0	-	61,97	14,76	-1,65	21,02
8	21,83	3,88	6,04	64,77	1,51	0,26	1,70	0,92	2,2	-	63,06	15,02	0,03	18,36
9	22,30	3,97	4,95	65,74	1,34	0,20	1,49	0,92	2,5	-	64,41	15,34	2,11	15,04
10	21,09	3,73	6,82	64,64	1,62	0,31	1,80	0,95	2,0	-	68,12	9,07	-1,70	20,72
11	21,45	3,80	5,95	65,41	1,49	0,26	1,63	0,95	2,2	-	69,29	9,22	-0,66	18,10
12	21,91	3,88	4,88	66,38	1,32	0,20	1,43	0,95	2,5	-	70,75	9,42	1,99	14,84

Кесте 8 - Шикізат қоспаларының күйдіру индексі және жентектелу коэффициенті (Састөбе әктас қалдықтары+ Лесс+Ащысай клинкері)

Қоспа лар	ҚК	Сұйық фазаның мөлшері, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5-3,0)	n*р	Жентектелу коэффициенті (оптим. 0,5-0,6)	Гидравликалық модуль (оптим. 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0- 3,5)	Жылу калометриялық модулі (оптим. 0,3-1,8)
1	0,88	31,15	2,69	1,12	0,48	1,91	5,59	1,18
2	0,88	29,05	2,88	1,43	0,53	1,96	5,58	1,30
3	0,88	26,42	3,15	2,03	0,58	2,02	5,58	1,49
4	0,90	30,75	2,94	1,11	0,53	1,95	5,61	1,41
5	0,90	28,66	3,16	1,42	0,57	2,00	5,60	1,57
6	0,90	26,06	3,45	2,02	0,64	2,07	5,59	1,80
7	0,92	30,36	3,20	1,10	0,57	1,99	5,63	1,69
8	0,92	28,29	3,43	1,42	0,62	2,04	5,62	1,90
9	0,92	25,72	3,76	2,00	0,69	2,11	5,61	2,19
10	0,95	29,79	3,58	1,09	0,64	2,04	5,66	2,23
11	0,95	27,75	3,84	1,40	0,69	2,09	5,65	2,53
12	0,95	25,21	4,21	1,99	0,78	2,16	5,64	2,99

Аталған шикізат қоспалары негізінде алиттік және жоғары алиттік сульфатқа төзімді цементтерді алуға болады. Бұл цементтердің құрамындағы алит мөлшері 60–68%-ға дейін жетеді, ал C_3A шамамен 2%-ды құрайды. C_3A мен C_4AF -тің жиынтық мөлшері 18–20%-дан аспайды (7-кесте), бұл ГОСТ 22266-2013 «Сульфатқа төзімді цементтер. Техникалық шарттар» талаптарына толық сәйкес келеді [86].

Клинкердің сұйық фазасы, күйдіру индексі және шикізат қоспаларының жентектелу коэффициенті («Састөбе әктас қалдығы + лесс + Ащысай клинкері») ҚК шамасына және силикаттық модульге тәуелді (8-кесте). ҚК=0,90–0,92 аралығында бұл көрсеткіштер оңтайлы мәндер шегінде болады. Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оңтайлы мәні 3,0–3,5) 5,58–5,63 аралығында анықталды. Бұл жағдай күйдіру аймағында обмазка түзілуін едәуір қиындататынын көрсетеді. Мұның себебі – шикізат шихтасының төмен алюминатты құрамы.

Келесі сериядағы шикізат қоспаларында темірқұрамды түзетуші қоспа ретінде пайдаланылған огарки Шымкент қорғасын зауытының қорғасын шлактарымен алмастырылды. Осылайша, карбонаттық компонент те, түзетуші қоспа да өндірістік қалдық болып табылады. Үш компонентті шикізат қоспаларының («Састөбе әктас қалдығы + Лесс + Қорғасын шлағы») құрамы әртүрлі қанықтыру коэффициенттерінде (ҚК = 0,88; 0,9; 0,92 және 0,95) есептелді (9, 10, 11-кестелер). Силикаттық модульдің шамасы 2,0-ден 2,5-ке дейін өзгертілді. Бұл қоспаларда глиноземдік модульдің шамасы Al_2O_3 мөлшерінің аздығына байланысты төмен болды ($p = 0,66–0,83$). Силикаттық модуль артқан сайын глиноземдік модуль де өсті. Шихта құрамында аз мөлшерде C_3A минералы (0,3–2,35%) және C_4AF (15–21%) түзілді. Мұндай шикізат қоспалары арнайы төмен алюминатты сульфатқа төзімді және ерекше сульфатқа төзімді цементтерді алуға қолданылуы мүмкін.

Есептеу нәтижелері бойынша, алитті және жоғары алитті сульфатқа төзімді цементтерді алуға болады. Бұл цементтердің алит мөлшері 60–70%-ға дейін жетіп, олардың беріктікке жету жылдамдығы жоғары және соңғы механикалық беріктігі жоғары болатыны анықталды (10-кесте).

Клинкердің сұйық фазасының мөлшері, күйдіру индексі және қоспалардың жентектелу коэффициенті Ащысай клинкері бар алдыңғы сериядағы қоспаларға ұқсас болып келеді (11-кесте) және олардың мәндері ҚК шамасына мен силикаттық модульге тәуелді.

Кесте 9 - Үш компонентті шикізат қоспаларының химиялық құрамы және шикізаттың меншікті шығыны (Састөбе әктасының қалдығы+ Лесс+қорғасын шлағы)

Қос па лар	Шикізат қоспасының құрамы, мас. %			Шикізаттың меншікті шығыны, клинкердің т/т			ҚК	Модульдер		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, массасы. %							
	Әктас қалдық тары Састөбе	лесс	Қорға сын шлағы	Әктас қалдық тары Састөбе	лесс	Қорға сын шлағы		п	р	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Басқа лар	ккж
1	79,96	8,62	11,42	1,091	0,117	0,156	0,88	2,0	0,57	16,14	2,93	5,14	46,39	0,77	0,44	1,72	26,61
2	80,87	9,60	9,52	1,110	0,132	0,130	0,88	2,2	0,66	16,34	2,96	4,46	46,70	0,74	0,37	1,56	27,01
3	82,00	10,81	7,19	1,133	0,149	0,099	0,88	2,5	0,83	16,58	3,00	3,63	47,07	0,70	0,28	1,38	27,50
4	80,52	8,18	11,32	1,101	0,112	0,154	0,90	2,0	0,58	15,92	2,88	5,08	46,64	0,76	0,44	1,68	26,75
5	81,43	9,14	9,44	1,120	0,125	0,129	0,90	2,2	0,66	16,11	2,91	4,41	46,95	0,73	0,37	1,53	27,14
6	82,55	10,32	7,13	1,143	0,143	0,099	0,90	2,5	0,82	16,35	2,95	3,59	47,32	0,69	0,28	1,35	27,62
7	81,85	7,12	11,04	1,124	0,098	0,151	0,95	2,0	0,56	15,40	2,76	4,94	47,24	0,73	0,43	1,59	27,06
8	82,74	8,03	9,22	1,142	0,111	0,127	0,95	2,2	0,65	15,58	2,79	4,29	47,54	0,70	0,36	1,44	27,45
9	83,84	9,16	6,99	1,165	0,127	0,097	0,95	2,5	0,81	15,80	2,82	3,50	47,91	0,67	0,27	1,27	27,92
10	81,06	7,74	11,20	1,111	0,106	0,153	0,92	2,0	0,56	15,71	2,83	5,02	46,89	0,75	0,43	1,64	26,87
11	81,96	8,69	9,35	1,129	0,119	0,129	0,92	2,2	0,66	15,89	2,86	4,36	47,19	0,72	0,36	1,49	27,26
12	83,08	9,85	7,07	1,152	0,136	0,098	0,92	2,5	0,82	16,12	2,90	3,55	47,56	0,68	0,28	1,31	27,74

Кесте 10 - Үш компонентті шикізат қоспаларына негізделген клинкерлердің химиялық-минералогиялық құрамы (Састөбе әктасының қалдықтары+ Лесс+қорғасын шлағы)

Қоспа лар	Клинкердің химиялық құрамы, массасы. %							ҚК	Модульдер		Минералогиялық құрамы, массасы. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	прочие		п	р	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	21,99	3,99	7,00	63,22	1,05	0,60	2,14	0,88	2,0	0,57	53,48	22,69	-1,33	21,29
2	22,38	4,06	6,12	63,98	1,02	0,51	1,94	0,88	2,2	0,66	54,43	23,10	0,35	18,60
3	22,87	4,14	5,01	64,93	0,97	0,39	1,70	0,88	2,5	0,83	55,62	23,60	2,44	15,23

10-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	21,73	3,93	6,93	63,67	1,04	0,60	2,09	0,90	2,0	0,58	57,80	18,69	-1,37	21,08
5	22,11	3,99	6,06	64,43	1,00	0,50	1,90	0,90	2,2	0,66	58,82	19,02	0,29	18,41
6	22,59	4,07	4,96	65,38	0,96	0,39	1,65	0,90	2,5	0,83	60,09	19,43	2,35	15,09
7	21,11	3,79	6,77	64,77	1,00	0,59	1,98	0,95	2,0	0,56	68,18	9,08	-1,47	20,57
8	21,47	3,85	5,91	65,52	0,97	0,49	1,79	0,95	2,2	0,65	69,35	9,23	0,14	17,98
9	21,92	3,92	4,85	66,47	0,92	0,38	1,55	0,95	2,5	0,81	70,80	9,42	2,14	14,74
10	21,48	3,87	6,87	64,12	1,02	0,59	2,05	0,92	2,0	0,56	62,03	14,78	-1,41	20,87
11	21,85	3,93	6,00	64,88	0,99	0,50	1,85	0,92	2,2	0,66	63,11	15,03	0,23	18,24
12	22,32	4,01	4,92	65,82	0,94	0,38	1,61	0,92	2,5	0,82	64,45	15,35	2,27	14,95

Кесте 11 - Шикізат қоспаларының күйдіру индексі және жентектелу коэффициенті (Састөбе әктасының қалдықтары+ Лесс+қорғасын шлагы)

Қос па лар	ҚК	Сұйық фазаның мөлшері, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5-3,0)	n*р	Жентектелу коэффициенті (оптим. 0,5-0,6)	Гидравликалық модуль (оптим. 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0-3,5)	Жылу калометриялық модулі (оптим. 0,3-1,8)
1	0,88	31,05	2,68	1,14	0,5	1,9	5,5	1,19
2	0,88	28,96	2,87	1,46	0,52	1,9	5,5	1,31
3	0,88	26,36	3,15	2,06	0,58	2,0	5,5	1,49
4	0,90	30,65	2,93	1,13	0,53	1,9	5,5	1,42
5	0,90	28,58	3,15	1,45	0,57	2,00	5,5	1,58
6	0,90	26,00	3,44	2,05	0,64	2,07	5,5	1,81
7	0,95	29,69	3,57	1,12	0,64	2,05	5,6	2,23
8	0,95	27,68	3,83	1,43	0,69	2,09	5,6	2,55
9	0,95	25,15	4,19	2,02	0,77	2,17	5,6	3,02
10	0,92	30,26	3,19	1,13	0,57	1,99	5,5	1,70
11	0,92	28,21	3,42	1,44	0,62	2,04	5,6	1,90
12	0,92	25,65	3,74	2,04	0,69	2,11	5,6	2,20

Бұған дейінгі есептеулердің (6, 7, 8, 9, 10, 11-кестелер) нәтижелері негізінде ҚК=0,88; 0,9 және 0,92 мәндерінде, силикаттық модулі 2,0-ге тең алты шикізат қоспасы таңдалып алынды. Осы қоспалардан дайындалған таблеткалар 1350 және 1400°C температураларда күйдірілді. Клинкердегі бос СаО мөлшері этилглицерат әдісімен анықталып, 12-кестеде көрсетілген.

Кесте 12 - Састөбе әктас қалдықтарымен қоспалар құрамының ресурстарды үнемдейтін клинкерлердегі СаО-ны байланыстыру процесіне әсері

Қоспалар	Шикізат қоспасының компоненттері, %				ҚК	Модульдер		СаОбос.,%, күйдіру кезінде, °C	
	Састөбе әктас қалдықтары	Лесс	Ащысай клинкер	Қорғасын шлак		п	р	1350	1400
1	77,91	6,74	15,50	-	0,88	2,0	0,56	2,02	0,4
2	78,34	6,32	15,35	-	0,90	2,0	0,55	3,0	0,9
3	78,89	5,91	15,20	-	0,92	2,0	0,55	3,5	1,15
4	79,96	8,62	-	11,42	0,88	2,0	0,57	1,5	0,3
5	80,52	8,18	-	11,32	0,90	2,0	0,58	2	0,8
6	81,96	8,69	-	9,35	0,92	2,2	0,66	2,5	1,05

12-кестеде берілген деректерге сәйкес, кальций тотығының клинкер минералдарымен байланысу үрдісі қоспалардың құрамы, қанығу коэффициентінің шамасы және күйдіру температурасына тәуелді екендігі анықталды. ҚК мәні артқан сайын клинкердегі бос СаО мөлшері сәл ғана көбейеді. Барлық шикізат қоспаларында күйдіру температурасын 1350-ден 1400°C-қа дейін жоғарылату СаО-ның байланысуын жылдамдатады. Құрамында қорғасын шлағы бар №4, 5 және 6 қоспалары, ащысай клинкері бар №1, 2 және 3 қоспаларымен салыстырғанда жақсырақ күйдіріледі.

Осылайша, Ащысай клинкері мен қорғасын шлағы темір түзетуші қоспаны толық алмастырып қана қоймай, клинкер түзілу процестеріне айтарлықтай минералдаушы әсер ететіні дәлелденді. Дайындалған қоспаларда СаО-ның толық игерілуі 1350–1400°C аралығында аяқталады, бұл дәстүрлі табиғи шикізат қоспаларымен салыстырғанда 50–100°C-қа төмен. Табиғи әктас састөбе зауытының үйінділерінен шыққан ұсақталған қалдықтармен алмастырылды.

Бұл шешім бір мезгілде өндірістік қалдықтарды қайта өңдеуге мүмкіндік беріп, клинкерді күйдіру температурасын төмендетуге, жанармайдың меншікті шығынын азайтуға және атмосфераға бөлінетін көмірқышқыл газының көлемін қысқартуға жағдай жасайды.

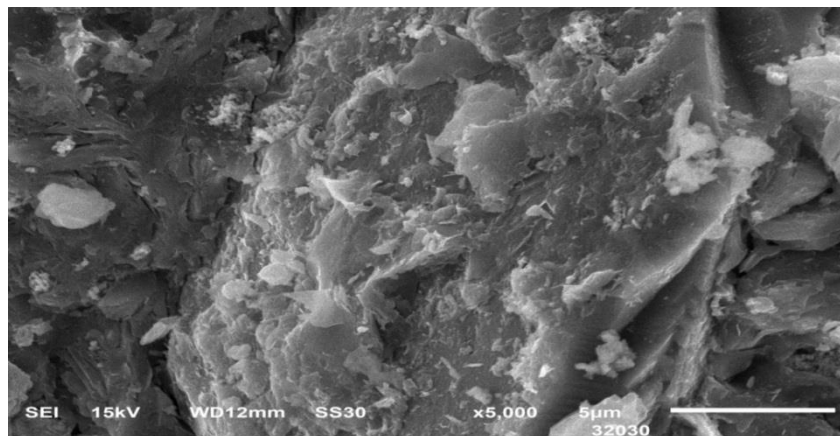
Металлургиялық шлактарды пайдалана отырып алынған клинкерлердің микроқұрылымдары

Электрондық микроскопты қолдану арқылы вяжущие материалдар саласында мынадай мәселелерді зерттеуге болады: жеке кристалдардың пішіні мен өлшемдері, олардың өсу және бұзылу процестері, дәндер шекарасында

жүретін құбылыстар, сондай-ақ басқа да бірқатар нақты міндеттер [81, с. 4-425; 82].

Синтезделген клинкерден зерттеу үшін үлгі сынықтары дайындалды.

Дәстүрлі шикізат қоспасынан («Әктас қалдығы + лесс + темір кені») алынған клинкер сынығының микрофотосуретіне жүргізілген талдау нәтижесі 7-суретте көрсетілген. Бұл қоспаның параметрлері: қанығу коэффициенті $КК=0,88$; силикаттық модуль $n=2,0$; глиноземді модуль $p=0,56$.



1 – C_3S ; 2, 4 – белит қосылған алит; 3 – C_4AF ; 5 – CaO ; 6 – C_2S

Сурет 7 – Дәстүрлі емес шикізаттан клинкердің сынықтарынан алынған микрофотографиясы

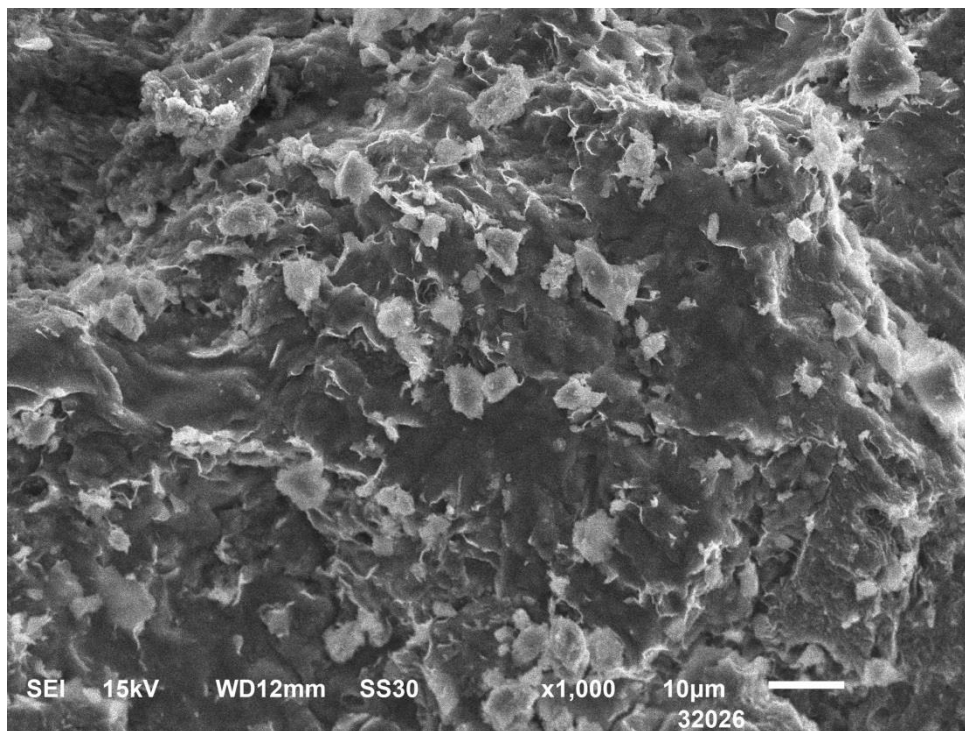
Клинкердің микрофотосуреті оның кристалдануы салыстырмалы түрде айқын болғанымен, минералдардың таралуы біркелкі еместігін көрсетеді. Жаксы түзілген алит кристалдары бар аймақтармен қатар, пішіні анықталмаған және алит кристалдарының сrostкілеріне өтетін түзілістер де кездеседі.

Ірі алит кристалдарының ішінде белиттің қосындылары байқалады. Белит ұсақ, дөңгелек және сопақша пішінді кристалдар түрінде кездеседі, алайда оның мөлшері алитке қарағанда айтарлықтай аз. Микрофотосуретте сондай-ақ аздаған мөлшерде бос кальций тотығының кристалдарының жиналуы (қара түсті дөңгелек түзілістер) анықталған. Кристалдардың бетінде және олардың арасындағы кеңістіктерде алюмофериттік фаза (ашық түсті аралық зат) айқын көрінеді. Бұл микрофотосуретте алюминат фазасының болуы анықталмады.

Энергия үнемдеуші дәстүрлі емес шикізат қоспаларынан («Әктас қалдығы + лесс + қорғасын шлағы» және «Әктас қалдығы + лесс + мырыш рудаларын вельцилеу клинкері») алынған клинкер сынықтарының микрофотографияға талдау жасалды (8, 9, 10-суреттер). Бұл үлгілер $КК = 0,88$ және $0,92$ қанығу коэффициентінде, $n=2,2$ және $p=0,55$ модульдерінде зерттелді.

8-суретте энергия үнемдеуші шикізат қоспасынан алынған №2 клинкердің («Әктас қалдығы + лесс + қорғасын шлағы») микрофотографиясы көрсетілген. $1350^{\circ}C$ -та бос кальций тотығының мөлшері $1,74\%$ болды. Клинкердің микроструктурасы дәстүрлі құрамдағы шикізат қоспасынан алынған клинкерге қарағанда айтарлықтай өзгеше. Минералдардың кристалдануы салыстырмалы түрде айқын байқалады. Клинкер ірі түйіршікті

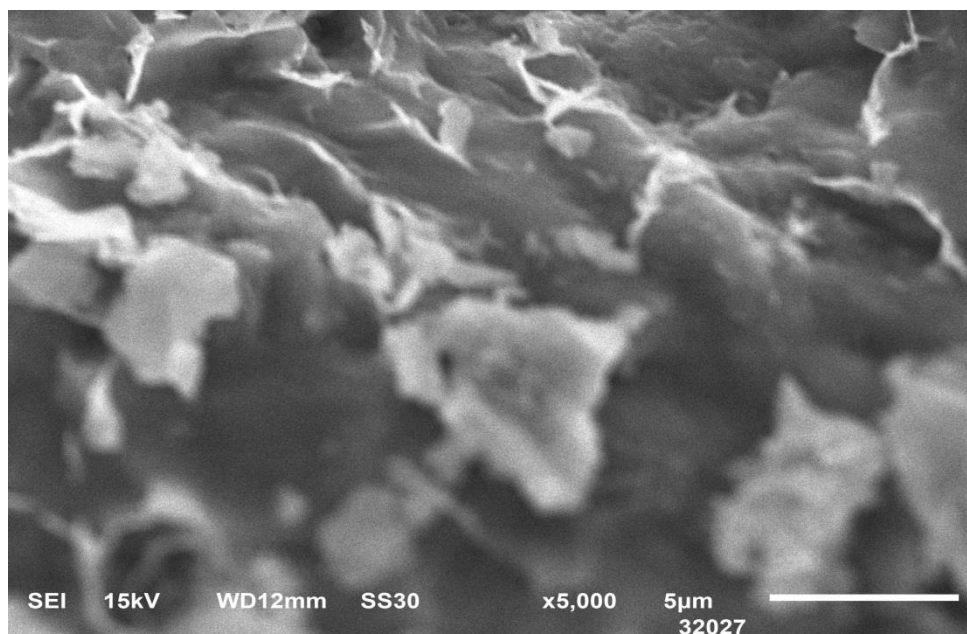
алитпен ұсынылған, сонымен қатар белит қосындылары бар алит те анықталған. Дұрыс кристаллографиялық пішінсіз әлсіз кристалданған алит учаскелері кездеседі. Белиттің ұсақ кристалдары екінші реттік түзіліс болып табылады, яғни алиттің ыдырауынан және бос кальций тотығы CaO бөлінуінен пайда болған. Аралық фазаның мөлшері жеткілікті, ол негізінен кальций алюмоферритімен ұсынылған.



Сурет 8 – «Эктас қалдықтары + лесс + қорғасын шлагы» дәстүрлі емес шикізатынан алынған клинкердің сынықтарынан алынған микрофотографиясы

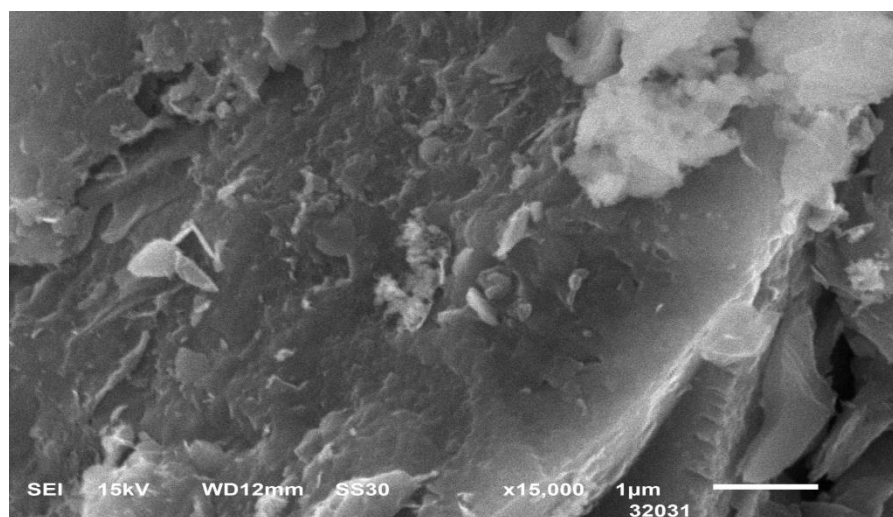
Мырыш рудаларын вельцилеу клинкері қосылған дәстүрлі емес энергия үнемдеуші шикізат қоспасынан алынған клинкер сынықтарының микрофотографиясына талдау жасалды (9-сурет). Бұл қоспаларда қанығу коэффициенті 0,88 және 0,92 мәндерінде қарастырылды.

9-суретте №3 клинкердің микрофотографиясы келтірілген. Талдау нәтижелері көрсеткендей, минералдардың кристалдануы айқын, алайда олардың таралуы біркелкі емес. Кейбір аймақтарда алиттің дұрыс геометриялық пішіні байқалса, басқа жерлерде пішіні анықталмаған кристалдар кездеседі. Белит дөңгелек және сопақша кристалдар түрінде ұсынылған, олардың бетінде жарықшақтар байқалады. Алиттің кристалдары ірі, мөлшері 100–140 мкм-ге дейін жетеді. Қоспа құрамына енгізілген аз ғана мөлшердегі (2,57%) қорғасын шлақы минерализдеуші әсер көрсетеді. Бұл әсер тефритобазальтпен бірге клинкердің күйдіру температурасын 1450°C -тан 1350°C -қа дейін төмендетеді және бос кальций тотығының мөлшерін 1,39%-ға дейін азайтады. Аралық фаза едәуір мөлшерде түзіліп, негізінен кальций алюмоферритімен ұсынылған. Кальций алюмоферриттері жарық инеше тәрізді кристалдар түрінде байқалады.



Сурет 9 – $ҚК = 0,88$ кезінде «эктас қалдықтары + лесс + мырыш кендерін вельцилеу клинкері» шикізат қоспасынан алынған клинкерлердің сынықтарынан алынған микрофотографиясы

10-суретте №4 шикізат қоспасынан алынған портландцемент клинкерінің сынығының микрофотографиясы көрсетілген. Бұл қоспаның ерекшелігі – қанығу коэффициентінің ($ҚК$) жоғары болуы ($0,92$), соның салдарынан эктас мөлшері де көп. Мұндай қоспа әдетте қиын күйдірілетін болып саналады.



Сурет 10 – $ҚК = 0,92$ кезінде «эктас қалдықтары + лесс + мырыш кендерін вельцилеу клинкері» шикізат қоспасынан алынған клинкерлердің сынықтарынан алынған

Минералдардың кристалдануы салыстырмалы түрде айқын, алайда олардың таралуы біркелкі емес, зоналық сипатта. Алит әртүрлі өлшемді және пішінді кристалдар түрінде байқалады, сонымен қатар олардың сrostкілері де анықталған. Белит айтарлықтай ұсақ дөңгелек және сопақша кристалдар

түрінде кристалданған, олардың өлшемі алитке қарағанда едәуір кіші. Үлгінің беткі қабатында кальций алюмоферриті мен кальций алюминаты жеткілікті мөлшерде кристалданған. Кальций алюмоферриттері ашық түсті, инеге ұқсас кристалдар түрінде, ал кальций алюминаты қою түсті кристалдар түрінде көрінеді.

Осылайша, электрондық-микроскопиялық зерттеулердің нәтижелері клинкердің құрылымы мен қасиеттерін талдау арқылы мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік берді: мырыш кендерін вельцилеу кезінде түзілетін клинкер мен қорғасын шлагы портландцемент клинкерін алуға арналған сапалы түзетуші шикізаттық материалдар болып табылады. Өзірленген энерготіімді шикізат қоспаларында клинкер түзілу процесі 1300–1350°C температура аралығында толық аяқталады. Клинкер вельцивания мен қорғасын шлагы дәстүрлі түзетуші қосымша – пиритті огарктарды тиімді алмастырады. Төмен энергия сыйымдылығы бар шикізат қоспаларын күйдіру барысында сапалы клинкер алынды. Бұл сапа химиялық талдау (еркін CaO мөлшері), рентгенофазалық және растрлық электронды-микроскопиялық әдістер арқылы дәлелденді.

Өзірленген энергия сыйымдылығы төмен клинкерлердегі минералдардың кристалдануы айқын сипатталады, олардың таралуы негізінен біркелкі және зоналық болып келеді. Алит әртүрлі өлшемдегі және пішіндегі кристалдар түрінде байқалады, кейде алит кристалдарының шөгінділері кездеседі. Белит негізінен дөңгелек және сопақша ұсақ кристалдар түрінде кристалданады, кейбір белит түйірлерінің бетінде жарықшақтар байқалады. Жекелеген клинкер үлгілерінде екінші реттік белиттің пайда болуы тіркелді. Кальций алюмоферриттері ашық түсті ине тәрізді кристалдар түрінде, ал кальций алюминаттары қою түсті кристалдар түрінде анықталды.

Өзірленген аз энергия сыйымдылықты шикізат қоспаларында клинкер минералдарының төмен температурада қатаюуына және айқын кристалдануына қорғасын шлактарында мен вельцивания клинкерінде болатын мырыш оксидінің минерализдеуші әсері ықпал етеді. Вельцилеу клинкері мен қорғасын шлагындағы минералдандырушы және модификациялаушы құрамбөліктер (қоспалар) шикізат қоспаларында төмен балқитын эвтектиктердің түзілуіне жағдай жасайды. Бұл өз кезегінде балқыған фазаның мөлшерін арттырып, оның төменірек температурада пайда болуына мүмкіндік береді. Сонымен қатар, клинкер балқымасының қасиеттерін – беттік керілуін, тұтқырлығын, тығыздығының төмендеуін, диффузия жылдамдығының артуын – жақсартады. Мұндай өзгерістер шикізат қоспаларындағы минералоқұралу процестерінің қарқынды жүруіне ықпал етеді [87]:

1. Заманауи физика-химиялық талдау әдістерін қолдану арқылы Састөбе кен орнындағы әктас ұсақтау қалдықтарының, Ащысай металлургия зауытының мырыш рудасын вельцилеу клинкерлерінің және Шымкент қорғасын зауытының шлактарының химиялық-минералдық құрамы зерттелді.

2. Аз энергия жұмсайтын ресурсүнемдеуші технологияларды пайдалана отырып, цемент клинкерін алудың мүмкіндігі қарастырылып, дәлелденді. Өнеркәсіптің ірі көлемді қалдықтарының химиялық және минералогиялық

құрамын анықтау олардың аз энергия талап ететін портландцемент клинкерін өндіруге қолданылатынын көрсетті.

3. Оңтүстік Қазақстандағы цемент зауыттары үшін темірге бай дефицитті түзеткіш қоспаны мырыш рудасын вельцилеу клинкерімен және қорғасын шлактарымен алмастырудың болашағы айқындалды. Бұл материалдар шикізат құрамында бірнеше қызмет атқарады: темірлі түзеткіш қоспа ретінде, клинкер түзілу процесінің минерализаторы ретінде әрекет етеді, құрамға көмір енгізіп, форсункадан шығатын отын шығынын азайтады.

4. Састөбе әктас қалдықтары, Ащысай зауытының мырыш рудасын вельцилеу клинкері және қорғасын шлактарынан тұратын шикізат қоспаларының толық не ішінара құрамын қолданғанда күйдіру процестері 1350°C-та толық аяқталды. Алынған клинкерлердегі еркін СаО мөлшері 1-2%-дан аспайды. Клинкерді күйдірудің төмен температурада аяқталуына вельцилеу клинкерінде және қорғасын шлагында болатын мырыш оксиді мен басқа да күшті минерализатор қоспалар ықпал етті.

5. Портландцемент клинкерін төмен температурада алу табиғи отын шығынын азайтуға және атмосфераға CO₂ шығарындысын төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, әзірленген аз энергиялы, энергия үнемдеуші шикізат қоспаларында 1 тонна клинкерге жұмсалатын шикізат мөлшері 1,364–1,377 т құрап, дәстүрлі шикізат қоспаларымен салыстырғанда 110–150 кг/т төмен болып шықты.

6. Алынған клинкерлердің құрылымы мен қасиеттерін электрондық микроскоппен зерттеу нәтижелері аз энергия жұмсайтын шикізат қоспаларын күйдіру барысында жоғары сапалы клинкер түзілгенін көрсетті. Бұл дерек еркін СаО мөлшері бойынша химиялық талдау, рентгенофазалық және растровый электронды-микроскопиялық зерттеулермен расталды.

7. Әзірленген аз энергиялы клинкерлердегі минералдардың кристалдануы айқын, ал олардың таралуы негізінен біркелкі әрі зоналық сипатта. Алит әртүрлі көлем мен пішіндегі кристалдар түрінде байқалады, кейде олардың сrostкілері де кездеседі. Белит шағын өлшемді дөңгелек және сопақша кристалдар түрінде түзіледі, кейбір үлгілерде белит түйіршіктерінің бетінде жарықшақтар байқалады, ал кейбір клинкерлерде екінші реттік белит кездеседі. Кальций алюмоферриттері ашық түсті ине тәрізді кристалдар түрінде, ал кальций алюминаты қара түсті кристалдар түрінде анықталды.

8. Әзірленген аз энергиялы шикізат қоспаларында клинкер минералдарының төмен температурада күйдірілуі мен айқын кристалдануына құрамында мырыш оксиді бар қорғасын шлактары мен вельцилеу клинкерінің минерализаторлық әсері ықпал етеді. Вельцилеу клинкері мен қорғасын шлагындағы минерализаторлық және модификаторлық қоспалар (қалдық элементтер) шикізат құрамында төмен балқитын эвтектиктердің түзілуіне жағдай жасайды. Бұл өз кезегінде балқыманың мөлшерін арттырып, оның төмен температурада пайда болуына ықпал етеді, сондай-ақ клинкерлік балқыманың беттік керілуін, тұтқырлығын, тығыздығын төмендетіп, диффузия жылдамдығын арттырады. Мұндай өзгерістер минералдардың түзілу процестерін жеделдетуге мүмкіндік береді [26, р. 327-329; 86, с. 1-10; 88, 89].

3.2 Оңтүстік Қазақстан цемент зауыттарының шикізат шихталарының компоненттерін әртүрлі техногендік қалдықтармен ішінара немесе толық ауыстыру бойынша зерттеулер

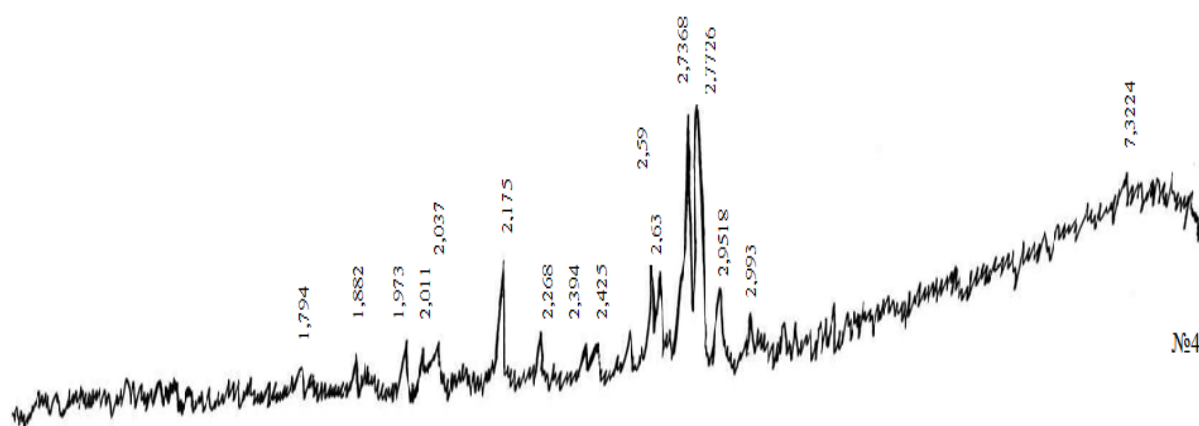
Састөбе кен орнының әктас қалдықтарымен клинкер алу

Өндірістік қалдықтардан толық құралған шикізат қоспаларының күйдіру үрдістерін зерттеу мақсатында «Састөбе әктасты қалдығы + фосфорлы шлак + Ащысай зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинкері (бұдан әрі – «Ащысай клинкері»)» негізінде тәжірибелер жүргізілді. Осы мақсатта ҚК көрсеткіші 0,90–0,92 аралығында болатын төрт түрлі шикізат қоспасы құрастырылды (13-кесте).

Кесте 13 - Әктас қалдықтары бар қоспалар құрамының ресурстарды үнемдейтін клинкерлердегі СаО-ны байланыстыру процесіне әсері

Қос палар	Шикізат қоспасының компоненттері, %			ҚК	Модульдер		Бос СаО. мәні, %		Сұйық фазаның мөлшері, L %, 1400°C кезінде
	Састөбе әктас қалдықтары	Фосфор шлағы	Ащысай клинкері		n	p	1350	1400	
1	78,90	15,93	5,15	0,90	3,5	0,64	1,4	0,2	26,10
2	78,82	17,34	3,84	0,90	4,0	0,73	1,9	0,3	24,45
3	79,90	15,21	4,89	0,92	3,5	0,66	1,5	0,2	25,83
4	79,83	16,58	3,59	0,92	4,0	0,76	2,0	0,4	24,20

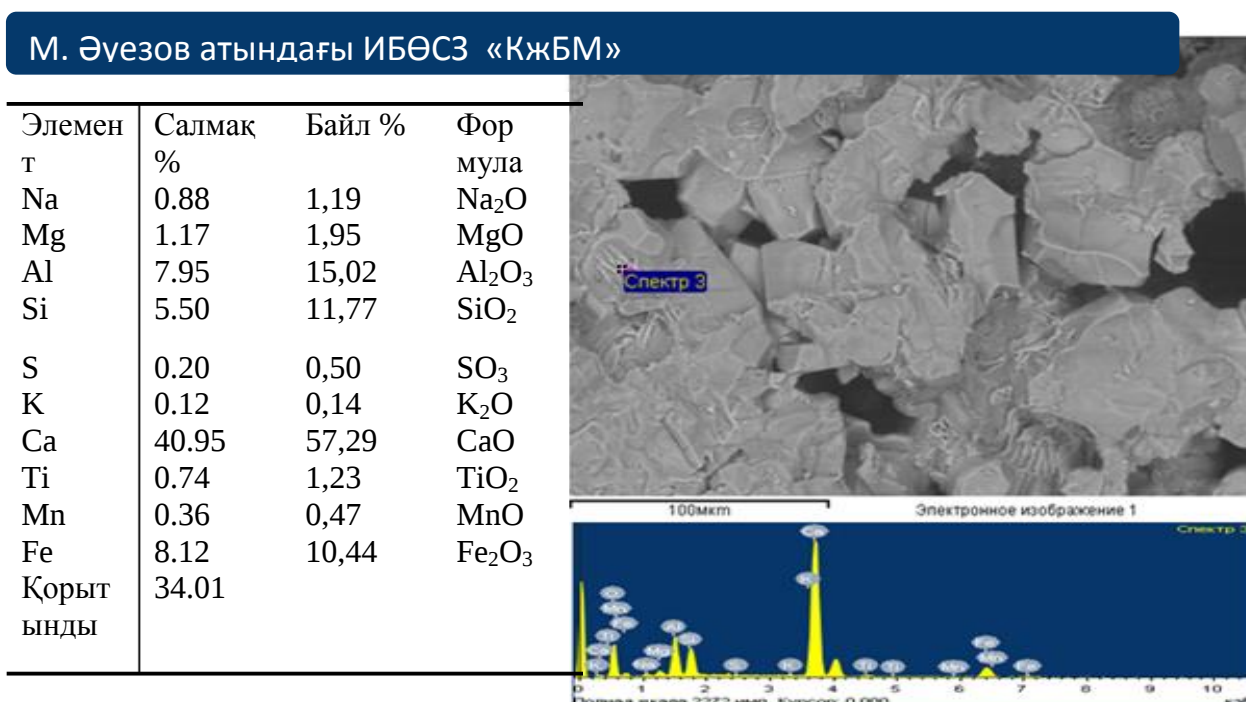
13-кестеде келтірілген мәліметтерге сәйкес, шикізат қоспаларын 1350°C-та күйдіргенде еркін СаО мөлшері 2%-дан аспайды, ал 1400°C-та бұл көрсеткіш 0,2–0,4% шамасында болады. Құрамында СаF₂ бар фосфорлы шлак пен «Ащысай клинкері» шикізат қоспасының күйдіру үдерісіне айқын минерализаторы әсер етеді. Бұл өз кезегінде күйдіру температурасын 100°C-қа төмендетіп, сапалы портландцемент клинкерін алуға мүмкіндік береді (11-сурет).



Сурет 11 – 1350°C температурада күйдірілген «әктас қалдығы + электротермофосфорлы шлак + Ащысай клинкері» шикізат шихтасынан алынған №4 клинкердің рентгенограммасы

Рентгенофазалық талдау нәтижелеріне сәйкес, 1350°C-та синтезделген клинкерде мынадай минералдық фазалар түзіледі: алит ($d = 3,05; 2,7726; 2,595; 2,33; 2,172; 1,973; 1,757; 1,484 \text{ \AA}$), белит ($d = 2,78; 2,758; 2,595; 2,425; 2,268; 2,172; 2,037; 1,973; 1,882 \text{ \AA}$), сондай-ақ C_4AF ($d = 7,3224; 2,772; 2,678; 2,63 \text{ \AA}$). Шихтадағы алюминий мөлшерінің төмендігіне байланысты C_3A минералына тән дифракциялық шыңдар рентгенограмда байқалмады.

Клинкер №4-тің микрофотосуретінде алиттің алты және бес қырлы кристалдары, белиттің дөңгелек кристалдары мен аралық фаза анық көрінеді (12-сурет). Минералдардың кристалдануы айқын әрі сапалы, ал алит кристалдарының өлшемдері шамамен 20–30 мкм-ден 50–60 мкм-ге дейін жетеді.



Сурет 12 - 1350°C температурада күйдірілген №4 клинкердің құрылымы және құрамы C_4AF , электронды-микроскопиялық талдау деректері бойынша

Осылайша, алынған деректер көрсеткендей, Састөбе әктас қалдығы, фосфорлы шлак және «Ащысай клинкері» негізіндегі шикізат қоспасын күйдіру барысында 1350°C температурада-ақ сапалы клинкер түзіледі. Табиғи шикізаттардың орнына өндірістік қалдықтарды пайдалану энергия шығындарын азайтып қана қоймай, әктас пен лесс карьерлерін сақтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, әктас карьеріндегі қымбат бұрғы-жарылыс жұмыстары да қажет болмайды.

Клинкерлік минералдардың түзілуі дәстүрлі портландцемент клинкерімен салыстырғанда 50–100°C төмен температурада аяқталады. Мұның нәтижесінде пештегі жанармай шығыны азаяды, ауаға бөлінетін зиянды газдар төмендейді, техногендік қалдықтар тиімді кәдеге жаратылады және қоршаған ортаға түсетін

жүктеме азаяды. Сонымен бірге, клинкерді күйдіруге жұмсалатын отын шығыны мен CO_2 және NO_x атмосфераға шығарындылары едәуір қысқарады.

Қазығұрт кен орнының әктасымен, лесспен және «Ащысай клинкерімен» клинкер алу

Клинкерді күйдіру процестері Қазығұрт кен орнының әктасы, Текесу кен орнының лессы және «Ащысай клинкері» пайдаланылған шикізат қоспаларында зерттелді. Энергия- және ресурсүнемдеуші шихталарда ($\text{ҚК} = 0,9$ және $0,92$) силикатты модульдің мәні $2,0$ -ден $2,5$ -ке дейін өзгертілді (14-кесте). Клинкерді күйдіру тәжірибелері 1350 және 1400°C температураларда жүргізіліп, әрбір температурада $0,5$ сағат бойы ұсталып отырды.

Кесте 14 - Қазығұрт әктасымен және «Ащысай клинкерімен» ресурс және энергия үнемдейтін қоспалар құрамының клинкерлерді күйдіру процестеріне әсері

Қоспалар	Шикізат қоспасының компоненттері, %			ҚК	Модульдер		Бос СаО саны, %, температурада, $^\circ\text{C}$	
	Қазығұрт әктас	Текесу Лесс	Ащысай клинкері		n	p	1350°C	1400°C
5	74,42	16,25	9,32	0,90	2,0	0,62	1,2	0,1
6	75,12	17,58	7,30	0,90	2,2	0,72	1,35	0,16
7	75,98	19,21	4,81	0,90	2,5	0,91	1,6	0,85
8	74,94	15,88	9,19	0,92	2,0	0,62	1,96	0,1
9	75,63	17,18	7,19	0,92	2,2	0,72	1,92	0,16
10	76,48	18,78	4,74	0,92	2,5	0,91	2,24	0,74

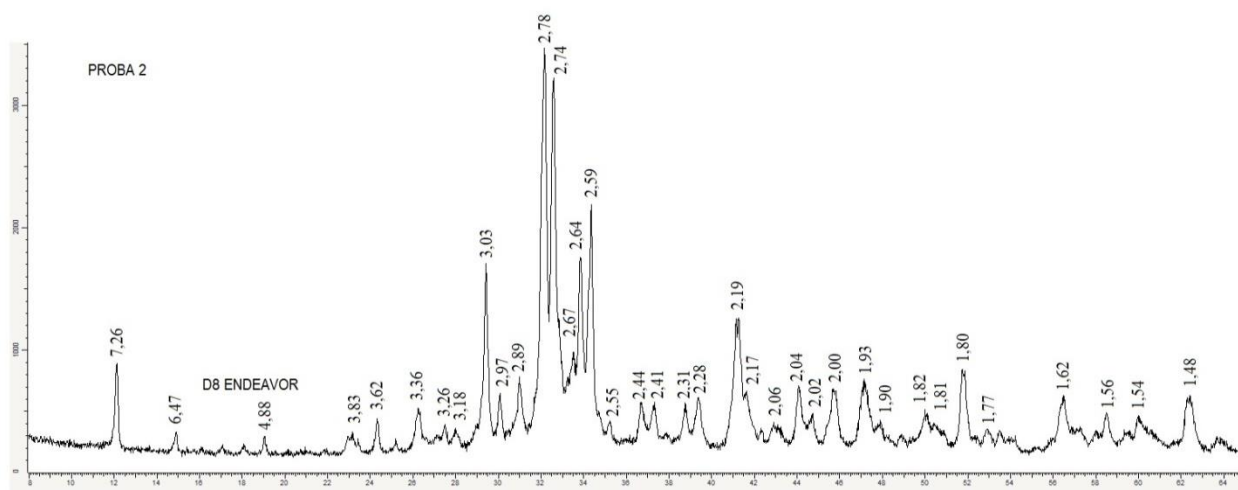
ЖШС «Стандарт Цемент» зертханасында X-ray (S8 Tiger) құрылғысының көмегімен анықталған мәліметтерге сәйкес, клинкердегі бос кальций оксидінің мөлшері 1350°C -тағы күйдіруден кейін $1,35$ – $1,92\%$ аралығында болды. Температураны 1400°C -қа дейін арттырғанда бұл көрсеткіш $0,16$ – $0,17\%$ -ға дейін төмендеді. Алынған клинкерлер Ле-Шателье әдісі бойынша жүргізілген стандартты сынақтан сәтті өтті. №6 және 9 күйдірілген үлгілердің химиялық және минералогиялық құрамы 15-кестеде берілген.

Кесте 15 – X-ray (S8 Tiger) деректері бойынша клинкерлердің есептік және нақты химиялық-минералогиялық құрамы

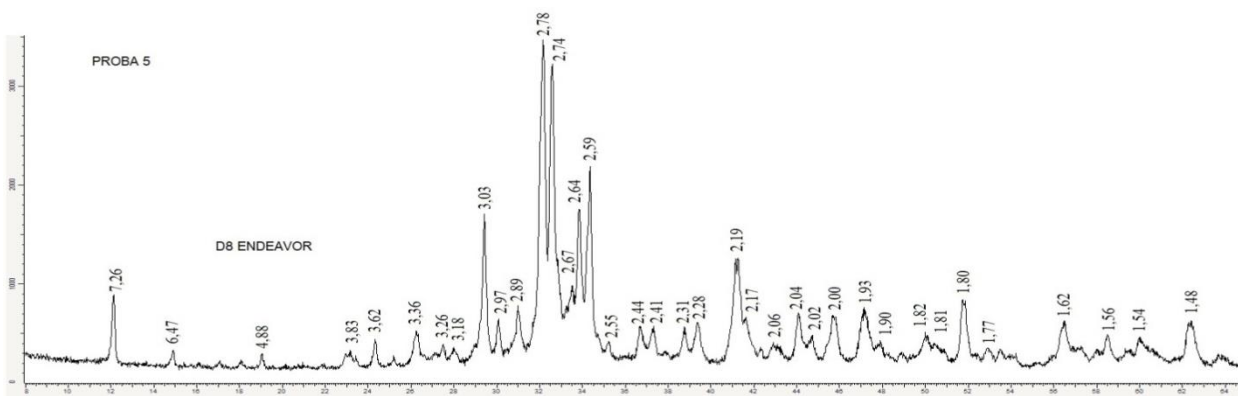
Клин кер	Химиялық құрамы, %					ҚК	Модульдер		Минералдардың құрамы, %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		п	р	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
X-ғау клинкерлерінің Нақты химиялық-минералогиялық құрамы (S8 Tiger)												
6	23,5	4,29	5,72	62,57	0,8	0,90	2,35	0,75	59,1	17,9	1,70	17,4
9	24,17	4,18	5,78	62,25	0,9	0,92	2,43	0,72	63,3	14,2	1,3	17,6
Клинкерлердің есептік химиялық-минералогиялық құрамы												
6	21,77	4,16	5,74	63,74	1,77	0,90	2,2	0,72	57,91	18,72	1,27	17,44
9	21,51	4,10	5,67	64,17	1,75	0,92	2,2	0,72	62,13	14,80	1,23	17,25

15-кестедегі мәліметтерге сәйкес, есептік және тәжірибелік нәтижелер аз энергия жұмсайтын клинкерлер үшін бір-бірімен жақсы үйлесім табады. Жасалған шикізаттық қоспалар негізінде MEMCT 22266-2013 [86, с. 2-11] талаптарына сәйкес келетін, C_3A мөлшері 1,3–1,7% аралығында болатын, минералдық құрамы арнайы цементке қойылатын талаптарға сай сульфатқа төзімді клинкерлер алынды.

ENDEAVOR D8 дифрактометрінде жүргізілген рентгенофазалық талдау (13-сурет) аз энергия жұмсайтын клинкер құрамында келесі минералдардың түзілгенін көрсетті: алит ($d = 3,03; 2,97; 2,78; 2,74; 2,59; 2,44; 2,31; 2,19; 1,93; 1,82; 1,77; 1,62 \text{ \AA}$), белит ($d = 3,83; 3,26; 3,18; 2,89; 2,77; 2,59; 2,41; 2,28; 2,19; 2,04; 2,02; 1,93; 1,48 \text{ \AA}$), C_3A ($d = 2,78; 2,59; 2,55; 2,17; 1,90; 1,55 \text{ \AA}$) және C_4AF ($d = 3,62; 2,76; 2,67; 2,04; 1,93; 1,82 \text{ \AA}$). Бос CaO -ға тән дифракциялық сызықтар анықталған жоқ.



а



ә

Сурет 13 – «Ащысай клинкерімен» әктас - лесс шикізат қоспасы негізінде аз энергияны қажет ететін клинкерлердің №6 және №9 рентгенограммалары

«Гежуба Шиелі Цемент» ЖШС шикізат шихталарынан клинкер алу

«Гежуба Шиелі Цемент» ЖШС үшін жүргізілген зерттеулерде шикізат қоспасындағы темірқұрамды компонент – Шойынтас темір кені «Ащысай клинкерімен» алмастырылды (16-кесте). Қанықтылық коэффициенті (ҚК) 0,90

және 0,95 болатын шикізат қоспалары 1350 және 1400°C төмендетілген температураларда күйдірілді.

Кесте 16 – «Гежуба Шиелі Цемент» ЖШС зауыттық және энергия - ресурс үнемдейтін шикізат шихталарында клинкерлердің синтезі

Қос па	Шихта компоненттері,%					ҚК	Модульдер		Бос СаО,%, кезінде		Сұйық фаза ның мөлше рі,%, кезінде 1400°С
	Изве ст няк Кутау	Глина Жана Корган	Железная руда Шоинтас	Квар цевый песок	Ащысай клинкері		п	р	1350°	1400°	
Зауыттың шикізат қоспасы											
10	70,83	26,49	2,62	0,06	-	0,90	2,0	1,12	1,87	0,54	29,23
11	71,90	25,55	2,53	0,02	-	0,95	2,0	1,12	1,94	1,26	28,40
Энергия-ресурс үнемдейтін шикізат қоспасы											
12	72,40	14,82	-	-	12,78	0,90	2,0	0,79	0,96	0,35	28,61
13	73,47	14,12	-	-	13,41	0,95	2,0	0,79	1,16	0,58	27,77

16-кесте деректеріне сәйкес, шикізаттық қоспаға «Ащысай клинкерін» 12–13% мөлшерінде енгізу арқылы Шойынтас кен орнынан әкелінетін темір кенін толықтай алмастыруға болады. Айта кетсек, Шиелі цемент зауыты үшін бұл түзеткіш қоспа 1500 км-ден астам қашықтықтан жеткізіледі, ал Ащысай клинкерінің үйінділері зауыттан бар болғаны 200 км жерде орналасқан. Бұл жағдай түзеткіш компонентті тасымалдау шығындарын айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді.

Есептеулер нәтижесі бойынша, қанығу коэффициентіне байланысты клинкерлік балқыма мөлшері 28–29% құрайды. Сондықтан әзірленген шикізат қоспаларындағы клинкер түзілу процестері 1350°C төмендетілген температурада толық аяқталады. Күйдіру кезінде клинкер құрамындағы ерімей қалған СаО мөлшері 1350°C-та 0,96–1,16% болса, 1400°C-та 0,1–0,3% деңгейінде анықталды. Зауыттық клинкерлерде еркін СаО мөлшері анағұрлым жоғары, сұйық фазаның көбірек болуына қарамастан. Бұл құбылысты «Ащысай клинкерінде» болатын титан, марганец, мырыш, барий сияқты модифицирлеуші қоспалардың әсерімен түсіндіруге болады. Аталған элементтер клинкер балқымасының тұтқырлығын төмендетіп, минералдардың және клинкердің түзілу қарқынын жеделдетеді [90; 91].

Сонымен қатар, «Ащысай клинкерінде» шамамен 3% мөлшерінде кездесетін мырыш тотығы күшті минерализаторлық әсер көрсетеді. Нәтижесінде, энергия және ресурс үнемдеуші шикізат қоспаларындағы клинкер түзілу процестері зауыттық қоспаларға қарағанда 50–100°C төмен температураларда аяқталады [87; 92].

Кесте 17 – «Гежуба Шиелі Цемент» ЖШС зауыттық және энергия-ресурс үнемдейтін шикізат шихталарынан алынған клинкерлердің нақты минералогиялық құрамы

Клинкерлер	Минералогиялық құрамы, мас.%						ҚК	Модульдер	
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	MgO кл		п	р
Зауыттың шикізат қоспасынан жасалған клинкерлер									
10	55,56	18,03	6,29	15,01	0,13	1,57	0,90	2,0	1,12
11	65,53	8,78	6,11	14,57	0,13	1,53	0,95	2,0	1,12
Энергия– ресурс үнемдейтін шикізат қоспасынан жасалған клинкерлер									
12	56,14	18,22	2,46	17,89	0,33	1,33	0,90	2,0	0,79
13	66,20	8,87	2,32	17,42	0,33	1,30	0,95	2,0	0,79

Эксперименттік клинкерлердің нақты минералдық құрамын анықтау (17-кесте) нәтижесінде алит мөлшері шамалас болғанымен, олардың құрамындағы үшқальцийлі алюминат екі есе аз (2,32–2,46%) екені анықталды. Мұндай ерекшелік олардың негізінде сульфатқа төзімді цементтің түрлерін – ЦЕМ I СС, ЦЕМ II СС, ЦЕМ III СС [86, с. 1-10] және басқаларын өндіруге мүмкіндік береді.

Физика-механикалық қасиеттерін талдау үшін №10–13 клинкерлерден зертханалық шарлы диірменде 5 % гипс қосылып, №008 електе қалдығы 9-10% болғанға дейін ұнтақталған цементтер алынды (18-кесте).

Кесте 18 – Портландцемент тасын сынау нәтижелері

Клинкер цементтері	Електегі қалдық №008, %	Меншікті беті, S, см ² /г	Бөлшектердің орташа мөлшері, мкм	Су-цемент қатынасы В/Ц	Үлгілердің беріктігі 2х2х2 см, МПа, арқылы	
					3 сут	28 сут
10	9,8	3220	6,6	0,26	23,0	44,2
11	10,2	3210	6,6	0,26	25,1	48,5
12	9,7	3200	6,7	0,26	23,2	44,6
13	10,1	3188	6,6	0,26	25,3	48,8

18-кестеде келтірілген нәтижелер бойынша эксперименттік клинкерлерден алынған цементтер 28 күннен кейін 44-48 МПа беріктікке ие болады. Эксперименттік цемент үлгілерінің беріктігі үлгілердің жасына сәйкес өседі.

Әктас, көмір өндіру қалдықтары, «Ащысай клинкері» және минерализаторды қамтитын шикізат шихталарын күйдіру процестері

Жаңа минерализатормен бірге өнеркәсіптік қалдықтардан алынған шикізаттық шихталардың күйдірілу процестері зерттелді [87]. Шикізаттық шихтаның алюмосиликатты компоненті толығымен Ленгер шахталарындағы көмір өндіру қалдықтарымен алмастырылды, ал дәстүрлі темірлі түзеткіш қоспа – огарки толығымен мырыш рудаларын вельцилеу клинкерімен (Ащысай клинкері) ауыстырылды. Шихта құрамындағы көмір өндіру қалдықтарының мөлшері 16,62–18,6%, ал Ащысай клинкерінің мөлшері 6,77–8,27% құрайды. Яғни табиғи шикізат материалдарының 25–26%-ы өнеркәсіп қалдықтарымен

алмастырылған, соның ішінде алдын ала технологиялық процесте термиялық өңдеуден өткен Ащысай клинкері 7–8,3% деңгейінде енгізілген. Осылайша СаО мен MgO-ның бір бөлігі шихта құрамына карбонатсыз түрде енгізіліп, бұл өз кезегінде CO₂ түзілуін және оның атмосфераға шығарылуын қосымша төмендетеді.

Клинкер түзілу процестеріне минерализатор қоспасы ретінде натрий фторидінің әсері зерттелді (19-кесте). Минерализатордың мөлшері 0,4–1,0% аралығында өзгертілді. Бұл жағдайда NaF – «Қазфосфат» ЖШС-нің Тараз минералды тыңайтқыштар зауытындағы натрий фторидін өндіру цехының өндірістік қалдығы болып табылады. Натрий фторидінің құрамдық талаптарына сәйкес келмеген өнім жарамсыз деп танылып, қалдық алаңына шығарылған. Қазіргі уақытта цех жұмыс істемейді, алайда полигондарда бұл қалдықтың айтарлықтай қоры сақталған.

Шикізаттық шихталар №14, 15 және 16-дан сапалы клинкер 1350°C-та алынды, ал №17, 18 және 19 шихталарынан – 1400°C температурада қалыптасты (19-кесте).

Клинкер құрамындағы игерілмеген СаО мөлшері 1–2%-дан аспады, ал алынған үлгілер Ле Шателье аспабымен жүргізілген сынақтан сәтті өтті.

Кесте 19 – Шикізат қоспаларының құрамы және оларды сынау нәтижелері

Қоспалар	Шикізат қоспасының құрамы, %				ҚК	Модульдер		СаО _{бос.} % саны, кезінде		Клинкердің меншікті жылу шығыны, кДж/кг	Күйдіруге арналған отынның меншікті шығыны, клинкердің кг/т
	Әктас	Көмір өндірудің қалдықтары	Na F	Ащы сай клинкері		п	р	1350	1400		
14	73,04	17,73	0,7	8,27	0,88	2,3	0,69	0,3	0	3870	132,5
15	73,73	18,6	1,0	6,77	0,88	2,5	0,79	0,5	0,2	3919	134,2
16	73,49	17,5	0,5	8,26	0,9	2,3	0,68	2,0	0,6	3957	135,5
17	74,0	18,26	0,7	6,78	0,9	2,5	0,78	2,5	0,9	3983	136,4
18	74,02	17,18	0,4	8,15	0,92	2,3	0,68	3,2	1,2	4032	138,1
19	74,54	16,62	0,6	7,98	0,93	2,3	0,67	3,5	1,6	4065	139,2

Күйдіру үдерісінде натрий фториді мен Ащысай металлургия зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкері минералдандыру әрекеті әсер көрсетеді. Соның нәтижесінде СаО-ның клинкер минералдарына сіңірілуі дәстүрлі портландцемент клинкерімен салыстырғанда 50-100°C-қа төмен температурада толық жүреді. Клинкердің жентектелу коэффициенті артады. Жылудың меншікті шығыны 3870-3957 кДж/кг құрап, клинкерді өндірудің құрғақ тәсіліне тән көрсеткіштерге жақындайды [87].

Демек, аз энергия жұмсалатын ресурстарды үнемдеуші технологияларды пайдалана отырып цемент клинкерін өндіру мүмкіндігі анықталды. Зерттелген өнеркәсіптік қалдықтардың химиялық және минералогиялық құрамы аз энергияны қажет ететін портландцемент клинкерлерін алуға қолдануға болатыны дәлелденді.

Портландцемент клинкерін алу үшін табиғи шикізатты толық немесе ішінара көлемде көптонналық өнеркәсіптік қалдықтармен алмастыруға негізделген жаңа тиімді шикізаттық шихта құрамдары жасалды.

Оңтүстік Қазақстан цемент зауыттары үшін тапшы темірқұрамды түзеткіш қоспаны мырыш рудаларын вельцилеу клинкерімен алмастырудың болашағы дәлелденді. Шикізаттық қоспа құрамындағы «вельцилеу клинкері» бірнеше функция атқарады: темірлі түзеткіш қоспа қызметін атқарады, күйдіру процесінде минерализатор рөлін орындайды, құрамына көмір енгізіп, отын шығынын үнемдеуге мүмкіндік береді.

Өнеркәсіптік қалдықтардан – Састөбе әктас қалдығы, фосфор шлагы және Ащысай зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинкерінен құралған шикізаттық қоспалардың күйдірілуі 1350°C-та толық аяқталды. Портландцемент клинкерін төмен температурада алу табиғи отын шығынын азайтып, ауаға CO₂ шығарындысын төмендетуге мүмкіндік береді.

Өнеркәсіптік қалдықтарды қамтитын дайындалған шикізаттық шихталардан жалпы құрылысқа арналған цементтермен қатар, C₃A мөлшері 1,3–1,7% болатын және МЕМСТ 22266-2013 талаптарына сай сульфатқа төзімді цементтерді де өндіруге болады.

Ащысай металлургия зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинкері, фосфор шлагы, Ленгер шахталарының көмір өндіру қалдықтары және минерализатор ретінде натрий фториді негізінде аз энергия қажет ететін әрі ресурс үнемдеуші шикізаттық құрамдар әзірленді. Клинкердің минералогиясы мен микроструктурасын талдау нәтижелері 1350°C-та сапалы клинкер түзілетінін және игерілмеген CaO мөлшері 2 %-дан аспайтынын көрсетті.

Зерттеулер көрсеткендей, әртүрлі цемент зауыттарының шикізаттық қоспаларында мырыш рудаларын вельцилеу клинкерін пайдалану 1350–1400°C-та сапалы клинкер алуға мүмкіндік береді, бұл дәстүрлі табиғи материалдардан алынатын портландцемент клинкерімен салыстырғанда 50–100°C-қа төмен. Мұндай тәсіл отын шығынын азайтып, пеш өнімділігін арттырады, сондай-ақ атмосфераға CO₂ мен NO_x шығарындысын төмендетеді. Көптонналық өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу өңірдің экологиялық жағдайын жақсартуға септігін тигізеді.

3.3 Толығымен өнеркәсіп қалдықтарынан тұратын шикізат шихталарының құрамын және күйдіру процестерін таңдау

Аз энергия жұмсайтын шикізаттық қоспалардың құрамын таңдауға арналған зерттеулер жүргізілді, мұнда қоспалар толықтай өнеркәсіптік қалдықтардан құралады. Цемент клинкерін алуға қажетті шикізаттық қоспаның карбонатты компонентін толығымен Састөбе кен орнының әктас өңдеу (байыту) қалдықтарымен алмастыруға болады. Бұл қалдық ақ цемент өндіру кезеңінде жиналып, қазір бірнеше миллион тонна көлемінде үйінділерде сақталған. Клинкердің ақтығын арттыру мақсатында әктасты ұсақтағаннан кейін електен өткізіліп, дән өлшемі 15–20 мм-ге дейінгі ұсақ фракциялар бөлініп алынған. Бұл ұсақ фракция глинисті қоспаларға бай болып, темір

оксидтерінің мөлшері жоғары болғандықтан ақ клинкердің ақтығын төмендеткен.

Эктас қалдығының ситалық құрамы зерттеліп, талдау нәтижелері 20-кестеде берілген. Ситалық талдау деректеріне сәйкес, эктас қалдығының 90%-ын түйіршіктер өлшемі 1–20 мм аралығында болатын бөлшектер құрайды.

Кесте 20 – Састөбе кен орнының эктас ұсақтау қалдықтарын електен талдау

Електегі қалдық мөлшері, %								0,14 мм, % өтті
20 мм	10 мм	5 мм	2,5 мм	1,25 мм	0,63 мм	0,315 мм	0,14 мм	
6,25	14,5	29,5	27,15	18,2	2,2	1,2	0,8	0,2

Карбонатты және алюмосиликатты компоненттердің бір бөлігін электротермофосфор шлагымен, домендік және болат балқыту шлактарымен, сондай-ақ золошлактармен алмастыруға болады. Электротермофосфор және домендік шлактардың құрамында шамамен 40% CaO және 40% кремнезем бар. Белгілі жағдайларда бұл гранулданған қождар глинисті компонентті толық және эктастың бір бөлігін алмастыра алады.

Көмір өндіру және көмірді байыту қалдықтарының химиялық құрамы сазға, лесс пен саздаққа, тақтатастарға жақын. Сондықтан оларды Оңтүстік Қазақстан цемент зауыттарында лесс орнына толық көлемде қолдануға болады.

Біз «Састөбе Технолоджис» ЖШС үшін шикізаттық шихтаның карбонатты компонентін Састөбе кен орны эктастарын ұсату қалдықтарымен толық алмастыру және алюмосиликатты компонентті әртүрлі техногендік қалдықтар мен дәстүрлі емес шикізат – Даубаба кен орнының тефритобазальты арқылы толық алмастыру мүмкіндігін зерттедік. Композициялық және арнайы цементтер клинкерін алуға арналған шикізаттық қоспалардың құрамдары оңтайландырылды.

Зерттеулер барысында табиғи шикізат қалдығы – эктастың, дәстүрлі емес шикізат – тефритобазальттың және өнеркәсіптік қалдықтар – фосфор шлагы мен Ленгер шахталарының көмір қалдықтары негізінде клинкер алуға арналған аз энергия қажет ететін шикізаттық құрамдар таңдалып, жасалды.

Портландцементті Клинкерді алу үшін шикізат қоспаларының есептеулері PCC2, PCC3 және PCC MC бағдарламалары бойынша жүргізілді. [93, 94].

«Састөбе Технолоджис» ЖШС технологиялық регламентіне сәйкес «Састөбе эктасы + лесс + темірқұрамды руда» қоспалары негізінде, КК = 0,92, n=2,31 және p=1,25 көрсеткіштерінде күйдіру нәтижесінде 61,6–63,61% C₃S, 15,13–16,77% C₂S, 6,44–7,15% C₃A және 12,56–13,16% C₄AF түзіледі. Осы клинкер негізінде портландцемент, минералдық қоспалары бар портландцемент, шлакопортландцемент және композициялық цемент түрлері өндіріледі.

Дәстүрлі шикізаттық қоспаларда қақтау кезіндегі шығындар (ккж) 34,6% құрайды, ал 1 т клинкер алуға қажетті шикізат шығыны 1,545–1,6 т/т аралығында болады. Бірқатар жағдайларда фосфорлы, домендік және қорғасын

кождары сияқты қалдықтарды пайдалану 1 т клинкер өндіруге жұмсалатын шикізат шығынын 5–20%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді. Мұндай алмастыру нәтижесінде күйдіруге кететін меншікті жылу шығыны да айтарлықтай азаяды, себебі пеште (циклондық жылуалмастырғыштарда) қыздыруға тиіс шикізат массасы азаяды, ал жентектелу температурасы 1400–1450°C деңгейінде қалады.

Шикізат қоспаларының келесі құрамдарының есептеулері орындалды: екі компонентті:

1. «Састөбе әктас ұсақтау қалдықтары + тефритобазальт».
2. «Састөбе әктас ұсақтау қалдықтары + фосфор шлактары».
3. «Састөбе әктас ұсақтау қалдықтары + көмір өндіру қалдықтары»; үш компонентті.
4. Әктас ұсақтау қалдықтары + фосфор шлактары + тефритобазальт".

«Састөбе + тефритобазальт әктасының ұсақтау қалдықтары» екі компонентті қоспаларында (20, 21, 22-кестелер) Силикат және алюминий-топырақ модульдерінің шамалары іс жүзінде оңтайлы болып табылады. Кезінде $ҚК = 0,85-0,92$ Силикат модулі $n=2,40-2,46$, алюминий модулі $p=1,54$. Мұндай шикізатты жақсы жағу керек.

ҚК көрсеткіші 0,88-ден 0,95-ке дейін артқанда клинкердегі C_3S мөлшері 50,9%-дан 65,10%-ға дейін өседі, ал белиттің үлесі 21,6%-дан 8,67%-ға дейін, C_3A – 8,13%-дан 7,56%-ға дейін төмендейді. ҚК ұлғайған сайын шикізаттық қоспа құрамындағы әктас қалдығының үлесі артып, тефритобазальттың мөлшері азаяды. Әктас ұсату қалдығының меншікті шығыны 1,22–1,33 т/т клинкерді, ал тефритобазальттікі – 0,24–0,16 т/т клинкерді құрайды (20-кесте).

Табиғи материалдар негізінде есептелген теориялық меншікті шикізат шығыны 1,46–1,49 т/т клинкер деңгейінде.

Сұйық фазаның мөлшері оңтайлы шектерде – 30,5–32% аралығында өзгереді. $ҚК < 0,88$ болғанда алиттің үлесі 50%-дан төмен болады (20-кесте). Шикізаттық қоспаның күйдірілу индексі орташа $ҚК = 0,88-0,90$ болған жағдайда 2,76–3,04 аралығында болып, оңтайлы мәнге сәйкес келеді. Ал ҚК жоғарылаған басқа қоспаларда бұл көрсеткіш оңтайлы мәннен шығып кетеді. №4 және №5 шикізаттық қоспалардың жеделдеткіштік коэффициенті сәйкесінше 0,56 және 0,59% құрайды, қалған қоспалар оптималды шектерге сай келмейді (22-кесте). №4, 5, 6 «Састөбе әктасты ұсату қалдығы + тефритобазальт» қоспалары $ҚК = 0,88-0,92$ деңгейінде болып, құрамында 11,5–12,5% тефритобазальт бар болғандықтан энергиялық тұрғыдан үнемді болып саналады.

Кесте 20 – Екі компонентті қоспалардың химиялық құрамы және "Састөбе + тефритобазальт әктасын ұсақтау қалдықтары" қоспасындағы шикізаттың меншікті шығыны

№ қоспа лар	«Шикізат қоспасының құрамы, масс. %»		Меншікті шикізат шығыны, т/т клинкер		ҚК	Модульдер		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, мас. %							
	әктас ұсақтау қалдығы	тефрито- базальт даубаба	әктас ұсақтау қалдығы	тефрито базальт даубаба		n	p	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Mg O	SO ₃	Басқ алар	кксж
1	83,68	16,32	1,22	0,24	0.75	2.32	1.57	15,52	4,09	2,60	40,25	1,12	0,97	4,28	31,15
2	85,20	14,80	1,25	0,22	0.8	2,36	1,56	14,97	3,87	2,48	40,79	1,07	0,99	4,21	31,62
3	86,61	13,39	1,27	0,2	0.85	2,40	1,55	14,46	3,67	2,36	41,29	1,02	1,00	4,14	32,06
4	87,42	12,58	1,29	0,19	0,88	2,42	1,55	14,17	3,55	2,30	41,57	0,99	1,01	4,10	32,31
5	87,94	12,06	1,30	0,18	0.9	2,44	1,54	13,98	3,48	2,25	41,75	0,97	1,02	4,08	32,47
6	88,44	11,56	1,31	0,17	0,92	2,46	1,54	13,80	3,40	2,21	41,93	0,95	1,02	4,05	32,63
7	89,18	10,82	1,33	0,16	0,95	2,48	1,53	13,53	3,29	2,15	42,19	0,93	1,03	4,02	32,85

Кесте 21 – «Састөбе әктасты ұсақтау қалдығы + тефритобазальт қоспасынан алынған клинкердің химиялық құрамы, ҚК, модульдері және минералогиялық құрамы»

№ қоспалар	Клинкердің химиялық құрамы, мас. %							ҚК	Модули		Клинкердің минералогиялық құрамы, мас. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқалар		n	p	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	22,54	5,95	3,78	58,47	1,62	1,41	6,22	0.75	2.32	1.57	21,41	48,46	9,33	11,50
2	21,89	5,67	3,63	59,65	1,56	1,45	6,16	0,8	2,36	1,56	33,28	37,65	8,85	11,02
3	21,28	5,40	3,48	60,77	1,50	1,48	6,10	0,85	2,40	1,55	44,48	27,45	8,39	10,57
4	20,93	5,25	3,39	61,41	1,46	1,50	6,06	0,88	2,42	1,55	50,90	21,60	8,13	10,31
5	20,70	5,15	3,34	61,83	1,44	1,51	6,04	0,9	2,44	1,54	55,07	17,8	7,96	10,15
6	20,48	5,05	3,28	62,24	1,41	1,52	6,02	0,92	2,46	1,54	59,15	14,09	7,80	9,98
7	20,16	4,91	3,20	62,83	1,38	1,54	5,98	0,95	2,48	1,53	65,10	8,67	7,56	9,74

Кесте 22 – Қоспалардың химиялық құрамы және "Састөбе әктасын ұсақтау қалдығы+ фосфор шлактары" қоспасындағы шикізаттың меншікті шығыны

Қоспалар	Сұйық фазаның мөлшері, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5–3,0)	n*р	Жентектелу коэф. (оптим. 0,5–0,6)	Гидравликалық модуль (оптим. 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0-3,5)	Жылулық калометриялық модуль (оптим. 0,3-1,8)
1	35,24	1,03	3,64	0,20	1,81	3,79	0,51
2	33,95	1,67	3,68	0,33	1,91	3,86	0,86
3	32,74	2,34	3,72	0,46	2,01	3,94	1,39
4	32,05	2,76	3,74	0,54	2,08	3,99	1,85
5	31,6	3,04	3,76	0,59	2,12	4,02	2,26
6	31,16	3,33	3,78	0,65	2,16	4,06	2,78
7	30,51	3,76	3,80	0,73	2,22	4,11	3,95

Кесте 23 – «Састөбе әктас ұнтақтау қалдығы + фосфор шлагы» қоспасындағы қоспалардың химиялық құрамы және шикізаттың меншікті шығыны

№ қоспалар	«Шикізат қоспасының құрамы, масс. %»		Меншікті шикізат шығыны, т/т клинкер		ҚК	Модули		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, мас. %							
	әктас ұсақтау қалдығы	фосфор шлак	әктас ұсақтау қалдығы	фосфор шлак		n	p	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқалар	ккж
1	64,72	35,28	0,85	0,46	0,7	9,46	1,57	21,29	1,37	0,88	44,30	1,96	0,89	5,89	23,43
2	72,48	27,52	0,98	0,37	0,8	7,77	1,51	18,73	1,45	0,96	44,67	1,65	0,94	5,36	26,24
3	75,70	24,30	1,04	0,33	0,85	7,13	1,49	17,66	1,48	1,00	44,83	1,52	0,97	5,14	27,40
4	77,46	22,54	1,08	0,31	0,88	6,80	1,48	17,08	1,50	1,01	44,91	1,45	0,98	5,02	28,04
5	78,57	21,43	1,10	0,30	0,9	6,59	1,47	17,08	1,50	1,01	44,91	1,45	0,98	4,95	28,44
6	79,63	20,37	1,12	0,29	0,92	6,40	1,46	16,36	1,52	1,04	45,02	1,36	1,00	4,87	28,83
7	81,15	18,85	1,15	0,27	0,95	6,12	1,46	15,86	1,54	1,05	45,09	1,30	1,01	4,77	29,38

23-кестеде, екі компоненттен тұратын «Састөбе әктас ұсақтау қалдығы + фосфор шлагы» қоспалары аз темірлі және төмен алюминатты болып келеді. Сол себепті олардың силикатты модулі жоғары, $n=6,12-9,46$ аралығында. Орташа ҚК = $0,88-0,92$ кезінде шикізаттық қоспалар $18,37-22,54\%$ фосфор шлагын қамтиды. Бұл әрбір тонна клинкерге $0,29-0,31$ т фосфор шлагын тиімді утилизациялауға мүмкіндік береді. Орташа ҚК кезінде 1 т клинкерге жұмсалатын шикізат шығыны $1,39-1,41$ т/т құрайды, бұл дәстүрлі қоспалардан $100-150$ кг-ға төмен. Мұндай айырмашылық клинкерді күйдіруге кететін отын шығынын азайтып, атмосфераға CO_2 шығарындысын төмендетудің қосымша факторы болып табылады.

Састөбе әктас ұнтақтау қалдығы мен фосфор шлагынан тұратын екікомпонентті қоспаларда (24-кесте) қанығу коэффициентінің (ҚК) $0,85$ -тен $0,95$ -ке дейін артуымен клинкердегі алит мөлшері $50,85\%$ -дан $72,54\%$ -ға дейін көбейеді; белит мөлшері $31,38\%$ -дан $9,66\%$ -ға дейін төмендейді; ал C_3A шамасы $3,08-3,22\%$ аралығында тұрақтайды. Силикатты модуль $7,12$ -ден $6,13$ -ке дейін кемиді, ал глиноземді модуль $1,48-1,46$ аралығында сақталады.

Әзірленген екікомпонентті ресурстық және энергия үнемдеуші қоспалар сульфатқа төзімді және жол цементтері үшін арнайы клинкерлерді алуға мүмкіндік береді, себебі олардың құрамындағы C_3A мөлшері $3,12-3,18\%$ деңгейінде. Сонымен қатар, C_4AF мөлшері $4-5\%$ құрайды.

Фосфор шлагы бар екікомпонентті қоспалардың сұйық фазасы аз ($19,58-19,76\%$), қақтау индексі жоғары ($7,02-9,34$), ал жентектелу коэффициенті оңтайлы мәннен артық ($1,35-1,8$). Материалдың футеровкаға жабысып қалу критерийі $10,3-11,3$ аралығында, бұл оңтайлы $3,0-3,5$ мәнінен әлдеқайда жоғары. Осыған байланысты, мұндай қоспаларды қақтау барысында пеште тұрақсыз әрі қиын түзілетін қаптама қабаты қалыптасады (25-кесте).

«Састөбе әктас қалдығы + көмір өндірісі қалдығы» қоспаларында (26, 27-кестелер) ҚК $0,75$ -тен $0,95$ -ке дейін артқан сайын әктас қалдығының үлесі өсіп, көмір қалдығының мөлшері азаяды. 1 т клинкер өндіруге жұмсалатын шикізат шығыны $1,52-1,54$ т/т аралығында. ҚК = $0,88-0,95$ кезінде клинкердегі алит мөлшері $55-69,6\%$ -ды құрайды; белиттің үлесі 23% -дан 9% -ға дейін төмендейді; ал C_3A мөлшері $7-7,5\%$ деңгейінде. ҚК төмен болғанда қақтау индексі мен жентектелу коэффициенті оңтайлы болып табылады, бірақ ҚК= $0,90-0,95$ кезінде бұл көрсеткіштер оңтайлы шектен шығып кетеді (28-кесте).

«Састөбе әктас қалдығы + фосфор шлагы + тефритобазальт» үшкомпонентті қоспаларында (29, 30-кестелер) ҚК $0,88$ -ден $0,95$ -ке дейін өскенде клинкердегі алит мөлшері $52,77\%$ -дан $67,09\%$ -ға дейін артады, ал белит үлесі $22,39\%$ -дан $8,93\%$ -ға дейін төмендейді. Үшкальцийлі алюминаттың (C_3A) мөлшері силикатты модульге тәуелді: $n=3$ кезінде ол шамамен 6% болса, $n=2$ кезінде 9% -ға жуықтайды. $n=2$ жағдайында шикізат құрамындағы фосфор шлагының мәні теріс көрсеткішке ие болады, нәтижесінде қоспа екікомпонентті сипатқа ауысады. ҚК $0,88$ -ден $0,95$ -ке дейін артқанда әктас қалдығының үлестік шығыны $1,233$ -тен $1,28$ т/т дейін көбейіп, фосфор шлагы мен тефритобазальттың мөлшері азаяды.

Кесте 24 – «Састөбе әктас ұнтақтау қалдығы + фосфор қожы» шикізат қоспасынан алынған клинкердің химиялық құрамы, қанығу коэффициенті (ҚК), модульдері және минералогиялық құрамы

№ қоспалар	Клинкердің химиялық құрамы, мас.%							ҚК	Модули		Клинкердің минералогиялық құрамы, мас.%			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқалар		п	р	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	27,80	1,79	1,14	57,86	2,56	1,16	7,69	0,7	9,46	1,57	10,57	71,73	2,81	3,48
2	25,39	1,97	1,30	60,56	2,24	1,28	7,26	0,8	7,77	1,51	38,59	43,66	3,00	3,96
3	24,33	2,04	1,37	61,75	2,10	1,33	7,08	0,85	7,13	1,49	50,85	31,38	3,08	4,17
4	23,74	2,08	1,41	62,41	2,02	1,36	6,98	0,88	6,80	1,48	57,72	24,49	3,12	4,28
5	23,36	2,11	1,43	62,84	1,97	1,38	6,91	0,9	6,59	1,47	62,13	20,09	3,15	4,36
6	22,99	2,14	1,46	63,25	1,92	1,40	6,85	0,92	6,40	1,46	66,39	15,82	3,18	4,43
7	22,46	2,17	1,49	63,85	1,85	1,43	6,75	0,95	6,12	1,46	72,54	9,66	3,22	4,54

Кесте 25 – «Састөбе әктас ұнтақтау қалдығы + фосфор шлагы» энергия аз қажет ететін екі компонентті шикізат қоспаларының меншікті шығыны және күйдірілу көрсеткіштері

Қоспалар	Сұйық фазаның мөлшері, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5–3,0)	n*р	Жентектелу коэф. (оптим. 0,5– 0,6)	Гидравликалық модуль (оптим. 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0-3,5)	Жылулық калометриялық модуль (оптим. 0,3-1,8)
1	19,25	1,68	14,85	0,32	1,88	15,49	0,18
2	19,48	5,55	11,74	1,07	2,11	12,91	0,87
3	19,58	7,02	10,62	1,35	2,22	11,92	1,52
4	19,64	7,79	10,04	1,50	2,29	11,39	2,11
5	19,68	8,27	9,69	1,59	2,34	11,07	2,67
6	19,71	8,72	9,37	1,68	2,38	10,76	3,43
7	19,76	9,34	8,92	1,80	2,44	10,33	5,34

Кесте 26 – Қоспалардың химиялық құрамы және "Састөбе әктасын ұсақтау қалдығы + көмір өндіру қалдығы"қоспасындағы шикізаттың меншікті шығыны

№ қоспалар	«Шикізат қоспасының құрамы, масс. %»		Меншікті шикізат шығыны, т/т клинкер		ҚК	Модульдер		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, мас. %							
	әктас ұсақтау қалдығы	көмір өндіру қалдығы	әктас ұсақтау қалдығы	көмір өндіру қалдығы		п	р	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқа лар	кксж
1	85,39	14,61	1,30	0,22	0,75	3,72	2,20	16,33	3,02	1,37	39,75	0,57	1,10	3,43	34,43
2	86,82	13,18	1,33	0,2	0,8	3,69	2,13	15,68	2,89	1,36	40,36	0,57	1,10	3,44	34,60
3	88,13	11,87	1,35	0,18	0,85	3,66	2,06	15,07	2,77	1,35	40,92	0,57	1,11	3,44	34,76
4	88,88	11,12	1,36	0,17	0,88	3,64	2,02	14,73	2,71	1,34	41,24	0,57	1,11	3,45	34,85
5	89,35	10,65	1,37	0,16	0,9	3,62	1,99	14,51	2,67	1,34	41,44	0,57	1,11	3,45	34,91
6	89,81	10,19	1,38	0,16	0,92	3,61	1,96	14,30	2,62	1,34	41,64	0,57	1,11	3,45	34,97
7	90,48	9,52	1,39	0,15	0,95	3,59	1,93	14,00	2,57	1,33	41,93	0,56	1,12	3,45	35,05

Кесте 27 – "Састөбе әктасын ұсақтау қалдықтары" қоспасынан клинкердің химиялық және минералогиялық құрамы + көмір өндірудің қалдықтары"

№ қоспалар	Клинкердің химиялық құрамы, мас. %							ҚК	Модульдер		Клинкердің минералогиялық құрамы, мас. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Прочие		п	р	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	24,90	4,60	2,09	60,62	0,87	1,67	5,24	0,75	3,72	2,20	23,66	53,54	8,64	6,35
2	23,97	4,42	2,08	61,71	0,87	1,69	5,26	0,8	3,69	2,13	36,44	41,23	8,18	6,32
3	23,10	4,25	2,07	62,73	0,87	1,70	5,28	0,85	3,66	2,06	48,29	29,8	7,75	6,29
4	22,61	4,16	2,06	63,30	0,87	1,70	5,29	0,88	3,64	2,02	55,00	23,34	7,51	6,27
5	22,30	4,10	2,06	63,67	0,87	1,71	5,30	0,9	3,62	1,99	59,31	19,18	7,35	6,26
6	21,99	4,04	2,05	64,03	0,87	1,71	5,31	0,92	3,61	1,96	63,51	15,13	7,20	6,25
7	21,55	3,95	2,05	64,55	0,87	1,72	5,32	0,95	3,59	1,93	69,60	9,27	6,98	6,23

Кесте 28 – Аз энергияны қажет ететін екі компонентті шикізаттың жентектелу және күйдіру көрсеткіштері "Састөбе Әктасын ұсақтау қалдығы + көмір өндіру қалдығы" қоспалары

№ қоспалар	Сұйық фазаның мөлшері, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5–3,0)	n*р	Жентектелу коэф. (оптим. 0,5–0,6)	Гидравликалық модуль (оптим. 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0-3,5)	Жылулық калометриялық модуль (оптим. 0,3-1,8)
1	26,03	1,58	8,20	0,31	1,92	5,41	0,54
2	25,5	2,51	7,85	0,50	2,02	5,42	0,94
3	25,02	3,44	7,52	0,68	2,13	5,43	1,55
4	24,74	4	7,33	0,79	2,19	5,44	2,11
5	24,56	4,36	7,21	0,86	2,24	5,44	2,62
6	24,39	4,72	7,09	0,93	2,28	5,45	3,31
7	24,13	5,27	6,92	1,04	2,34	5,46	4,94

Кесте 29 – Аз энергияны қажет ететін үш компонентті шикізат қоспаларының химиялық құрамы және меншікті шығын "әктас ұсақтау қалдығы+ фосфор шлағы + тефритобазальт" шикізаты

№ қоспалар	Шикізат қоспасының құрамы, мас. %			Шикізаттың меншікті шығыны, клинкер т/т			ҚК	Модульдер		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, мас. %							
	әктас ұсақтау қалдықтары	фосфор шлағы	тефритобазальт даубаба	әктас ұсақтау қалдықтары	фосфор шлағы	тефритобазальт даубаба		п	р	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	бас калар	кксж
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	86,07	-5,02	18,95	1,269	-0,074	0,279	0,75	2	1,57	14,81	4,53	2,88	39,57	1,01	0,98	4,07	32,16
2	79,80	8,6	12,05	1,132	0,116	0,171	0,75	3	1,57	16,67	3,39	2,16	41,37	1,30	0,96	4,63	29,52
3	87,67	-5,35	17,68	1,302	-0,079	0,263	0,8	2	1,57	14,24	4,34	2,77	40,04	0,95	1,00	3,99	32,67
4	81,86	7,22	10,92	1,173	0,104	0,156	0,8	3	1,56	15,95	3,24	2,08	41,81	1,22	0,98	4,51	30,21
5	89,15	-5,65	16,50	1,334	-0,085	0,247	0,85	2	1,56	13,71	4,18	2,68	40,47	0,90	1,01	3,91	33,14
6	83,75	6,37	9,88	1,211	0,092	0,143	0,85	3	1,54	15,30	3,09	2,00	42,22	1,15	0,99	4,40	30,84

29-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	89,99	-5,82	15,83	1,351	-0,087	0,238	0,88	2	1,55	13,42	4,08	2,63	40,71	0,87	1,02	3,87	33,41
8	84,82	5,89	9,29	1,233	0,086	0,135	0,88	3	1,54	14,93	3,01	1,96	42,44	1,11	1,00	4,34	31,19
9	90,53	-5,93	15,40	1,363	-0,089	0,232	0,9	2	1,55	13,22	4,02	2,59	40,87	0,85	1,03	3,84	33,59
10	85,50	5,58	8,92	1,247	0,081	0,130	0,9	3	1,53	14,69	2,96	1,93	42,59	1,08	1,01	4,30	31,42
11	91,05	-6,04	14,98	1,374	-0,091	0,226	0,92	2	1,55	13,04	3,96	2,56	41,02	0,83	1,03	3,81	33,75
12	86,16	5,28	8,56	1,26	0,077	0,125	0,92	3	1,53	14,46	2,91	1,91	42,73	1,06	1,02	4,27	31,64
13	91,81	-6,19	14,38	1,391	-0,094	0,218	0,95	2	1,54	12,77	3,87	2,51	41,24	0,80	1,04	3,77	34,00
14	87,11	4,85	8,04	1,28	0,071	0,118	0,95	3	1,52	14,13	2,84	1,87	42,94	1,02	1,03	4,21	31,96

Кесте 30 – Үш компонентті шикізат қоспалары клинкерлерінің химиялық және минералогиялық құрамы "Әктас ұсақтау қалдықтары+ фосфор шлактары + тефритобазальт"

№ қоспалар	Клинкердің химиялық құрамы, мас. %							ҚК	Модульдер		Клинкердің минералогиялық құрамы, мас. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқалар		п	р	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	21,83	6,67	4,24	58,33	1,49	1,45	6,00	0,75	2	1,57	20,73	46,92	10,47	12,89
2	23,65	4,81	3,07	58,69	1,84	1,36	6,57	0,75	3	1,57	22,47	50,86	7,54	9,33
3	21,15	6,45	4,12	59,46	1,41	1,48	5,92	0,8	2	1,57	32,15	36,37	10,09	12,53
4	22,86	4,64	2,98	59,91	1,75	1,40	6,47	0,8	3	1,56	34,75	39,32	7,22	9,06
5	20,51	6,25	4,01	60,53	1,34	1,51	5,85	0,85	2	1,56	42,87	26,46	9,73	12,19
6	22,12	4,47	2,90	61,04	1,66	1,44	6,37	0,85	3	1,54	46,23	28,53	6,93	8,81
7	20,15	6,13	3,95	61,14	1,30	1,53	5,81	0,88	2	1,55	49,00	20,79	9,53	12,00
8	21,70	4,38	2,85	61,69	1,61	1,46	6,31	0,88	3	1,54	52,77	22,39	6,76	8,67
9	19,91	6,05	3,91	61,53	1,28	1,55	5,78	0,9	2	1,55	52,97	17,12	9,40	11,87
10	21,42	4,32	2,82	62,11	1,58	1,47	6,28	0,9	3	1,53	56,99	18,42	6,66	8,57
11	19,68	5,98	3,86	61,92	1,25	1,56	5,75	0,92	2	1,55	56,84	13,54	9,27	11,75
12	21,16	4,26	2,79	62,51	1,55	1,49	6,24	0,92	3	1,53	61,10	14,56	6,55	8,48
13	19,35	5,87	3,81	62,48	1,22	1,58	5,71	0,95	2	1,54	62,49	8,32	9,08	11,57
14	20,77	4,18	2,75	63,10	1,50	1,51	6,19	0,95	3	1,52	67,09	8,93	6,40	8,35

Үш компонентті шикізат қоспаларында $ҚК=0,88$ және $n=3$ болғанда меншікті шикізат шығыны 1,454 т/т құрайды, ал $ҚК=0,95$ деңгейінде – 1,469 т/т-ке тең. Мұндай қоспаларда әрбір тонна клинкерге шаққанда 71–86 кг фосфор шлагы және 1233–1280 кг әктас ұнтақтау қалдығы қайта өңделеді. Бұл жалпы алғанда әрбір тонна клинкер өндірісінде карьерлерде 1,4–1,5 тонна табиғи шикізатты үнемдеуге мүмкіндік береді (29, 30-кестелер). Үш компонентті қоспалардағы сұйық фаза мөлшері $ҚК$ шамасына байланысты 30,8–27,6% аралығында өзгереді.

$ҚК$ ұлғайған сайын сұйық фаза азайып, клинкер түзілу процесі қиындай түседі (31-кесте). Шикізаттық қоспалардың күйдірілу индексі $ҚК = 0,88–0,90$ кезінде 3,42–3,74 құрап, оңтайлы мәннен (3,0) сәл жоғары.

Ал жентектелу коэффициенті (№8 және №10 қоспаларда) 0,67–0,73 құрап, оңтайлы деңгейден (0,5–0,6) сәл асып түседі. Дегенмен, 5–6% фосфор шлагы мен 9–9,5% тефритобазальт енгізу бұл қоспалардың күйдірілу процесіне оң әсер етеді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, аз энергия жұмсайтын технологияларды қолдану жалпы құрылыс және арнайы жол цементтерін шығаруға, отын шығынын 10–12% азайтуға, пештердің өнімділігін арттыруға және цементтің өзіндік құнын 8–10% төмендетуге мүмкіндік береді.

Шихта құрамындағы электротермофосфор шлагы мен тефритобазальттың артуы клинкер түзілу процесін жеделдетіп, күйдіру тиімділігін арттырады. Фосфор шлагында кальций фториді бар, ол цемент клинкерінің минерализаторы ретінде әрекет етеді.

24, 27-кестелерде деректеріне сүйенсек, клинкердің химиялық-минералогиялық құрамы қанығу коэффициенті мен модульдік сипаттамаларға тәуелді. $ҚК$ ұлғайған сайын клинкердегі CaO және үшкальцийлі силикаттың мөлшері өсіп, екікальцийлі силикаттың (белиттің) үлесі төмендейді.

Састөбе әктас қалдығы мен тефритобазальттан жасалған $ҚК = 0,9–0,95$ қоспалары; «Әктас қалдығы + фосфор шлагы + тефритобазальт» ($n = 3$); «Әктас қалдығы + көмір өндірісінің қалдығы» ($ҚК > 0,85$); сондай-ақ «Әктас қалдығы + фосфор шлагы» қоспалары жол және пуццолан цементтерін өндіруге қолайлы, себебі C_3A мөлшері 8%-дан аспайды. Сонымен бірге арнайы құрамды шихталарды таңдау арқылы сульфатқа төзімді цемент клинкерін алуға болады [92, р. 180-183].

Клинкерді күйдіру барысында тефритобазальт қоспалары дәстүрлі әктас-лесс қоспаларына қарағанда клинкер түзілу процесін $50^{\circ}C$ -қа төмен температурада толық аяқтауға ықпал етеді.

«Әктас қалдығы + фосфор шлагы» шикізаттық қоспасында $ҚК=0,88$ кезінде клинкер түзілу $1400^{\circ}C$ -та аяқталады, ал еркін CaO мөлшері 1,85–2,4% құрайды. Күйдіру температурасын $1450^{\circ}C$ -қа көтеру кезінде еркін CaO деңгейі 1,51–1,9%-ға дейін төмендейді [92, р. 180-183; 95, 96].

«Әктас қалдығы + көмір өндірісінің қалдығы» және «Әктас қалдығы + фосфор шлагы + тефритобазальт» үш компонентті қоспаларында $КН$ шамасына қарай клинкер түзілу процесі $1400^{\circ}C$ немесе $1450^{\circ}C$ температурада аяқталады (32-кесте).

Кесте 31 – Аз энергияны қажет ететін үш компонентті шикізат қоспаларының жентектелу және күйдіру көрсеткіштері
 "Әктас ұсақтау қалдықтары+ фосфор шлактары + тефритобазальт"

№ қоспалар	Сұйық фазаның мөлшері, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5–3,0)	n*р	Жентектелу коэф. (оптим. 0,5–0,6)	Гидравликалық модуль (оптим. 1,7-2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0- 3,5)	Жылу калометриялық модулі (оптим. 0,3-1,8)
1	38,07	0,89	3,15	0,18	1,78	3,27	0,52
2	30,81	1,33	4,70	0,26	1,86	4,91	0,5
3	37,03	1,42	3,13	0,28	1,87	3,28	0,86
4	29,94	2,13	4,67	0,42	1,96	4,93	0,87
5	36,06	1,96	3,12	0,38	1,97	3,28	1,36
6	29,12	2,94	4,63	0,57	2,07	4,94	1,42
7	35,51	2,28	3,105	0,45	2,02	3,29	1,78
8	28,66	3,42	4,61	0,67	2,13	4,95	1,91
9	35,15	2,49	3,1	0,49	2,06	3,29	2,15
10	28,36	3,74	4,6	0,73	2,17	4,96	2,36
11	34,8	2,70	3,09	0,53	2,1	3,29	2,61
12	28,07	4,06	4,58	0,79	2,22	4,96	2,94
13	34,29	3,03	3,08	0,59	2,15	3,3	3,6
14	27,64	4,55	4,56	0,88	2,28	4,97	4,25

Кесте 32 – Қоспалардың құрамы, қанығу коэффициенті мен модульдерінің СаО сіңірілу процесіне және клинкерлердің қасиеттеріне әсері

№ қоспалар	Состав сырьевой смеси, мас.%				Шикізаттың меншікті шығыны, клинкердің т/т				ҚК	Модульдер		Бос СаО саны, %, °С		
	эктас ұсақтау қалдықтары	фос фор шлак	теф рито базальт	көмір өндірудің қалдықтары	эктас ұсақтау қалдықтары	фос фор шлак	теф рито базальт	көмір өндірудің қалдықтары		п	р	1350	1400	1450
1	87,42	-	12,58	-	1,29	-	0,19	-	0,88	2,42	1,55	2,3	1,1	0,41
2	87,94	-	12,06	-	1,30	-	0,18	-	0,9	2,44	1,54	2,9	1,9	0,81
3	89,18	-	10,82	-	1,33	-	0,16	-	0,95	2,48	1,53	5,6	4,0	2,84
4	77,46	22,54	-	-	1,08	0,31	-	-	0,88	6,80	1,48	2,5	1,85	1,51
5	78,57	21,43	-	-	1,10	0,30	-	-	0,9	6,59	1,47	4,45	2,4	1,9
6	81,15	18,85	-	-	1,15	0,27	-	-	0,95	6,12	1,46	8,3	5,6	2,52
7	88,88	-	-	11,12	1,36	-	-	0,17	0,88	3,64	2,02	3,1	1,9	1,28
8	89,35	-	-	10,65	1,37	-	-	0,16	0,9	3,62	1,99	7,4	2,3	1,49
9	90,48	-	-	9,52	1,39	-	-	0,15	0,95	3,59	1,93	10,4	4,7	1,98
10	84,82	5,89	9,29	-	1,233	0,086	0,135	-	0,88	3	1,54	1,9	1,6	1,48
11	85,50	5,58	8,92	-	1,247	0,081	0,130	-	0,9	3	1,53	5,6	2,9	2,34
12	87,11	4,85	8,04	-	1,280	0,071	0,118	-	0,95	3	1,52	8,1	5,5	4,59

Кесте 33 – Bruker де рентгендік дифрактометр бойынша клинкерлердің фазалық құрамы (ЖШС зертханасы "Стандартты Цемент")

№ қоспалар	Күйдіру температурасы, °C	Клинкер минералдары, массалар. %				СаО _{бос} , %
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
1	1450	57,9	23,4	10,20	5,20	1,02
2	1400	60,4	20,7	10,20	5,70	0,60
2	1450	59,4	21,3	10	6,5	0,58
10	1450	61,4	23,4	5,3	6,8	0,72
11	1450	64,5	20,4	5,9	5,6	1,39

Клинкердің фазалық құрамы Bruker рентгендік дифрактометрінде ЖШС «Стандарт Цемент» зертханасында зерттелді (33-кесте). Алынған клинкерлер жоғары алитті, алит мөлшері 58–64,5% аралығында. №1 және №2 клинкерлерде үшкальцийлі алюминат мөлшері 10%-дан жоғары. №10 және №11 клинкерлер төмен алюминатты, C₃A мөлшері 5,3-5,9% және темір оксидтері төмен. Мұндай клинкерлер арнайы жол және пуццолан цементтерін өндіруге жарамды.

Есептелген клинкердің химиялық құрамы (30-кесте) алынған жентектелген үлгілерінің минералогиялық құрамын растайды.

Ленгер шахталарының көмір өндірісінің қалдықтарын пайдаланғанда, олардың құрамындағы көмір мөлшеріне байланысты қатаң түрде белгіленген дозаны сақтау қажет. Себебі көмірдің үлесі едәуір шектерде өзгеріп тұрады, сондықтан технологиялық бақылауды қатаң жүргізу талап етіледі [97]. В.К. Классен мен И.Н. Борисовтың [1, с. 3-124] деректеріне сәйкес, шикізат қоспасына 3,8%-ға дейін жанғыш масса немесе 15–22% көмір қалдықтарын қосуға болады. Көмірқалдықтардың минералдық бөлігі цементтік шикізаттағы балшықты компонентті алмастыруға жарамдылығын олардың негізгі оксидтері мен қоспаларының мөлшері арқылы бағалауға болады.

В.К. Классеннің [1, с. 3-124; 28, с. 3-262] зерттеулерінде цементтің жоғары беріктік қасиеттерін қамтамасыз ету үшін SiO₂/Al₂O₃ қатынасының оңтайлы мәні 3,5–3,8 аралығында, бірақ 4-тен жоғары болмауы қажет. Мұндай жағдайда ерте қатаю кезеңінде беріктікке әсер ететін үшкальцийлі алюминат (C₃A) мөлшері қолайлы деңгейде қалыптасады. Егер SiO₂/Al₂O₃ қатынасы 4-тен артық болса, шикізат қоспасын дайындау үшін міндетті түрде алюминийқұрамды қоспалар енгізілуі тиіс, әрі қатынас неғұрлым жоғары болса, соғұрлым алюминийқұрамды қоспаның мөлшері де артады. Ал бұл қатынас 3-тен төмен болған жағдайда, керісінше, шикізат құрамына қосымша кремнеземге бай компонент (мысалы, кварц құмы) енгізу қажет.

Біздің зерттеулерімізде сульфатқа төзімді және жол цементтеріне арналған төмен алюминатты клинкер алу барысында басты мақсат – үшкальцийлі алюминаттың (C₃A) ең аз мөлшерін қамтамасыз ету болды. Ерте беріктік те маңызды фактор болып табылады, алайда ол C₃A құрамын төмендету қажеттілігіне қарағанда екінші орында тұрды.

Жанғыш масса мөлшері 3,8%-дан асқан жағдайда немесе пештегі оттегі жетіспегенде, көмірдің қызу кезінде бөлінетін ұшпа заттары төмен температура

аймағында газбен бірге әкетіліп, электрофилтрлерде жарылыс қаупін туғызуы мүмкін [1, с. 3-124; 28, с. 3-262].

И.Н. Борисов пен В.К. Классеннің 5×185 м өлшемді өндірістік пештерде жүргізген зерттеулері көрсеткендей, көмірдің толық жанбауы жентектелу аймағында тотықсыздану жағдайын тудырады. Соның салдарынан клинкерде темірдің (II) оксиді пайда болып, алит құрылымына енеді. Бұл алиттің тұрақтылығын төмендетеді, әсіресе ұзақ салқындату аймағында, әрі цемент сапасының нашарлауына әкеледі. Сондықтан шикізат қоспасындағы көмір қалдықтарының мөлшері өндірістік жағдайда мұқият тәжірибелік сынақтан кейін ғана анықталуы тиіс. Сонымен қатар, айналмалы пештерде күйдіру процесінде артық ауа мөлшерін қамтамасыз ету қажет [1, с. 3-124].

Өнеркәсіп қалдықтары қоспалары бар шикізат қоспаларын күйдіру процестерін зерттеу

Тәжірибелік-зертханалық жағдайда шикізат қоспаларының 4 партиясы дайындалды:

- састөбе әктас ұсақтау қалдықтары + тефритобазальт;
- састөбе әктасын ұсақтау қалдықтары + фосфор шлактары;
- састөбе әктасын ұсақтау қалдықтары + көмір өндіру қалдықтары";
- састөбе әктасын ұсақтау қалдықтары + фосфор шлактары + тефритобазальт.

Көрсетілген шикізат қоспаларынан диаметрі Ø 30 мм, биіктігі 2,5 см болатын таблеткалар 20 МПа қысымда престеліп, жоғары температуралы пеште 1350°C, 1400°C және 1450°C-та күйдірілді.

Күйдіру режимі: белгіленген температураға дейін көтерілу – 2 сағат, ұстап тұру – 0,5 сағат, одан кейін ауада тез салқындату [97, с. 147-155; 98].

Бос СаО мөлшері этилглицераттық әдіспен анықталды (32-кесте), рентгенфазалық талдау жүргізілді (33-кесте) және клинкерлердің есептік химиялық құрамы айқындалды (34-кесте).

Кесте 34 – Клинкерлердің есептік химиялық құрамы

№ қоспалар	Күйдіру T, °C	Клинкердің есептік химиялық құрамы, массасы. %				ҚК	Модульдер	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO		п	р
1	1450	23,39	4,94	1,71	66,64	0,88	3,52	2,89
2	1400	23,10	5,05	1,87	66,95	0,90	3,34	2,69
2	1450	23,05	5,14	2,14	66,85	0,89	3,17	2,41
10	1450	24,31	3,43	2,23	66,90	0,89	4,29	1,53
11	1450	24,08	3,40	1,84	67,05	0,90	4,59	1,85

Энергия үнемдейтін №1 және №2 шикізат қоспалары (Састөбе әктас уату қалдығы + тефритобазальт) ҚК=0,88–0,90 болған жағдайда 1400°C температурада кальций тотығының жеткілікті дәрежеде сіңірілуін қамтамасыз етеді. Мұндай клинкерлердегі бос СаО мөлшері 1,1–1,9% аралығында болды. Қк 0,95-ке дейін көтерілгенде бос СаО үлесі 4%-ға дейін өсті.

№4 және №5 қоспалар (Састөбе әктас ұсақтау қалдығы + фосфорлы шлак) да жақсы күйдіріледі. 1400°C-та кальций тотығының толық дерлік сіңірілуі жүреді. Бұл клинкерлерде бос СаО мөлшері 1,85–1,9%-ды құрады. ҚК-ті 0,95-ке дейін арттырғанда бос СаО 2,5–5,6%-ға дейін өсті.

Састөбе әктас қалдығы мен көмір өндіру қалдықтарынан дайындалған қоспаларда да клинкер түзілуі қанығу коэффициентіне тәуелді. ҚК = 0,88–0,90 болғанда клинкерлер жақсы күйдіріледі және кальций тотығы жеткілікті дәрежеде сіңіріледі.

Үш құрамды қоспаларда (әктас уату қалдығы + фосфорлы шлак + тефритобазальт) ҚК = 0,88 кезінде клинкер түзілу процесі 1350°C-та аяқталады. Бұл дәстүрлі қоспамен салыстырғанда 100°C-қа төмен. Мұндай клинкерлерде бос СаО мөлшері 1,5–1,9%-ды құрады. ҚК 0,95-ке дейін көтерілгенде еркін СаО мөлшері артады.

Bruger рентгендік дифрактометрінде («Стандарт Цемент» ЖШС зертханасы) жүргізілген фазалық талдау нәтижесінде, бос кальций тотығының қолайлы мөлшерін қамтитын сапалы алитті клинкерлер алынды (33-кесте)

34-кестеде клинкерлердің есептік химиялық құрамы берілген. Bruger рентгендік дифрактометрінде жүргізілген талдаулар теориялық есептеулер нәтижелерін және өнеркәсіптік қалдықтардан дайындалған шикізаттық қоспаларды күйдіру процесінде СаО-ның сіңірілу көрсеткіштерін растады.

Күйдіру температурасының артуы (~1350-тен 1450°C-қа дейін) сұйық фазаның түзілуін күшейтеді, бұл өз кезегінде әк, кремнезем, глинозем және темір тотығы арасындағы реакциялардың толығырақ жүруіне жағдай жасайды.

Температура жоғарылаған сайын цементтің ерте беріктігін қамтамасыз ететін үшкальцийлі силикаттың (C_3S) үлесі өседі, ал баяу гидратацияланатын екікальцийлі силикаттың (C_2S) мөлшері азаяды.

Егер күйдіру температурасы жеткіліксіз болса, клинкер құрамында еркін СаО сақталады. Бұл клинкердің сапасын төмендетіп, брак түзілуіне, сондай-ақ цементтің тұрақсыздығына (шөгу, жарықшақ пайда болуы) алып келеді.

Осылайша, күйдіру температурасы мен клинкердің есептік химиялық құрамы тығыз байланыста: олар фазалық құрамды (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF арақатынасы), сұйық фазаның мөлшерін, соның негізінде цементтің беріктік қасиеттерін, суға төзімділігі мен ұзақ мерзімділігін анықтайды. Бұл параметрлерді оңтайландыру арқылы тұрақты сапалы клинкер алуға және өндірістегі энергия шығындарын азайтуға мүмкіндік туады.

3.4 Ащысай темір зауытының клинкерін белит клинкерін синтездеу үшін пайдалану

РСС бағдарламасында «Әктас+лесс+Ащысай клинкері» үш компонентті шикізат қоспа құрамына есептеу жүргізілді. 35 кестеде үш компонентті шикізат қоспаның құрамы және шикізаттардың үлестік шығын есептеу нәтижелері келтірілген.

Кесте 35 – Үш компонентті шикізат қоспаның құрамы және шикізаттардың үлестік шығыны

Қоспа атауы	Шикізат қоспаның құрамы, мас. %			Шикізаттардың үлестік шығыны, т/т клинкерге			ҚК	Модульдер	
	Әктас	Лесс	Ащысай клинкері	Әктас	Лесс	Ащысай клинкері		п	р
ШҚ 1	80,59	11,44	7,96	1,163	0,165	0,115	0,75	2,2	0,72
ШҚ 2	81,65	13,09	5,26	1,180	0,190	0,077	0,75	2,5	0,92
ШҚ 3	82,97	15,16	1,86	1,221	0,223	0,027	0,75	3,0	1,33

«Әктас+лесс+Ащысай клинкері» шикізат қоспасында компоненттердің үлестік шығыны силикатты модульге байланысты өзгерді: әктас 1,163–1,221 т/т, лесс - 0,165–0,223 т/т өсті, ал Ащысай клинкері – 0,115–0,027 т/т, яғни 1 т цемент клинкер алу үшін Ащысай клинкерінің мөлшері азайды. Силикатты модуль 2,2-ден 3,0-ге дейін жоғарылаған кезде реттеуші компонент – Ащысай клинкерінің үлестік шығыны төмендеді. Орта есеппен 1 т цемент клинкерді алу үшін 27-115 кг Ащысай клинкері жұмсалады. Алынатын клинкердің болжамды химиялық және минерологиялық құрамы 36 кестеде келтірілген.

Кесте 36 – Клинкердің болжамды химия-минерологиялық құрамы

Қоспа атауы	Клинкердің химиялық құрамы, мас. %							Минерологиялық құрамы, мас. %				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқалар	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	жалпы
ШҚ 1	22,97	4,39	6,05	57,59	1,95	1,54	5,51	21,82	49,38	1,35	18,39	90,94
ШҚ 2	23,48	4,48	4,91	58,43	1,82	1,53	5,35	22,31	50,49	3,53	14,93	91,25
ШҚ 3	24,14	4,60	3,45	59,50	1,66	1,51	5,14	22,94	51,91	6,32	10,49	91,65

Есептеу нәтижесі көрсеткендей, клинкердің минерологиялық құрамы белитті клинкер алуға болатындығын көрсетті. Силикатты модуль көрсеткіші 2,2-3,0 дейін жоғарлатқанда белит минералы мөлшері артып 51,91% жетті, ал C₃A мөлшері 1,35-6,32% жоғарлады. Керісінше C₄AF мөлшері 18,39%-дан 10,49%-ға азайды [99].

Есептеу нәтижесіне сәйкес «Әктас+лесс+Ащысай клинкері» шикізат қоспалары бойынша диаметрі 2 см және биіктігі 1,0-1,5 см болатын таблеткалар дайындалды. Таблеткаларды күйдіру зертханалық электр пеште 1300°C температурада жүргізілді. Пешті жоғары максималды 1300°C температураға дейін көтеру 2-2,5 сағат ішінде жүзеге асты. Берілген жоғары температурада таблеткаларды ұстап тұру уақыты 30 минутты құрады.

«Әктас+лесс+Ащысай клинкері» шикізат қоспасы негізінде күйдірілген цемент клинкерінің жалпы көрінісі 14-суретте көрсетілген.



Сурет 14 – «Әктас+лесс+Ащысай клинкері» шикізат қоспасы негізінде күйдірілген клинкерлер

1300°C температурада күйдірілген клинкерлердің құрамындағы байланыспаған бос СаО мөлшері этил-глицератты әдіспен анықталды. Клинкердің іс жүзіндегі химия-минералогиялық құрамы ЖШС «Стандар Цемент» зауытындағы орталық лабораторияда X-ray (S8 Tiger) заманауи құрылғысының көмегімен анықталды.

ҚК=0,67 минималды қанығу коэффициенті бар шикізат қоспасының құрамы мен модульдерінің клинкер минералдарында кальций тотығын байланыстыру процесіне әсері, сондай-ақ клинкердің нақты химиялық-минералогиялық құрамын анықтау нәтижелері 37, 38-кестелерде берілген.

Кесте 37 – Шикізат қоспасының құрамы, қанығу коэффициенті 0,67 және модульдер клинкер минералдарының кальций оксидіне байланысу процессіне әсері

Қоспа атауы	Шикізат қоспаның құрамы, мас. %			Қанығу коэффициенті	Модульдер		Бос СаО, % 1300°C кезінде
	Әктас	Лесс	Ащысай клинкері		п	р	
ШҚ 1	74,42	16,25	9,32	0,67	2,55	0,83	0,27
ШҚ 2	75,12	17,58	7,30	0,67	2,78	1,02	0,54
ШҚ 3	75,98	19,21	4,81	0,67	3,0	1,18	1,89

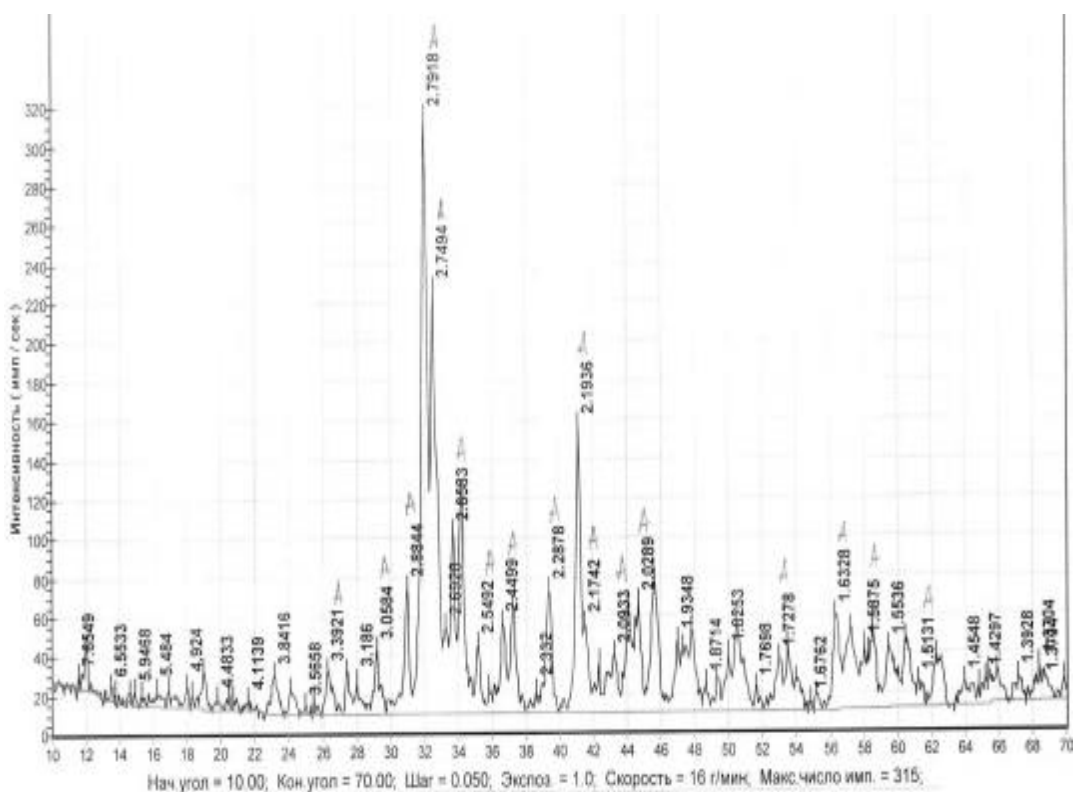
Кесте 38 – 1350°C күйдірілген клинкердің іс жүзіндегі химия-минералогиялық құрамы

Клинкер	Клинкердің химиялық құрамы, мас. %							Минералогиялық құрамы, мас. %				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	проч	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	сумма
Кл1	26,67	4,75	5,73	59,60	2,36	0,58	0,31	16,87	59,64	2,87	17,42	96,80
Кл2	27,15	4,88	4,90	59,61	2,36	0,48	0,62	17,64	62,76	4,62	14,90	99,92
Кл3	27,45	4,95	4,20	60,25	2,36	0,58	0,21	17,77	62,82	5,99	12,77	99,35

Іс-жүзінде анықталған нәтижелерге сәйкес алынған клинкердің құрамында бос СаО мөлшері 0,27-1,89% аралығында екендігі анықталды. Технологиялық талаптары бойынша клинкердегі бос СаО мөлшері 2% аспағандығын дәлелдейді.

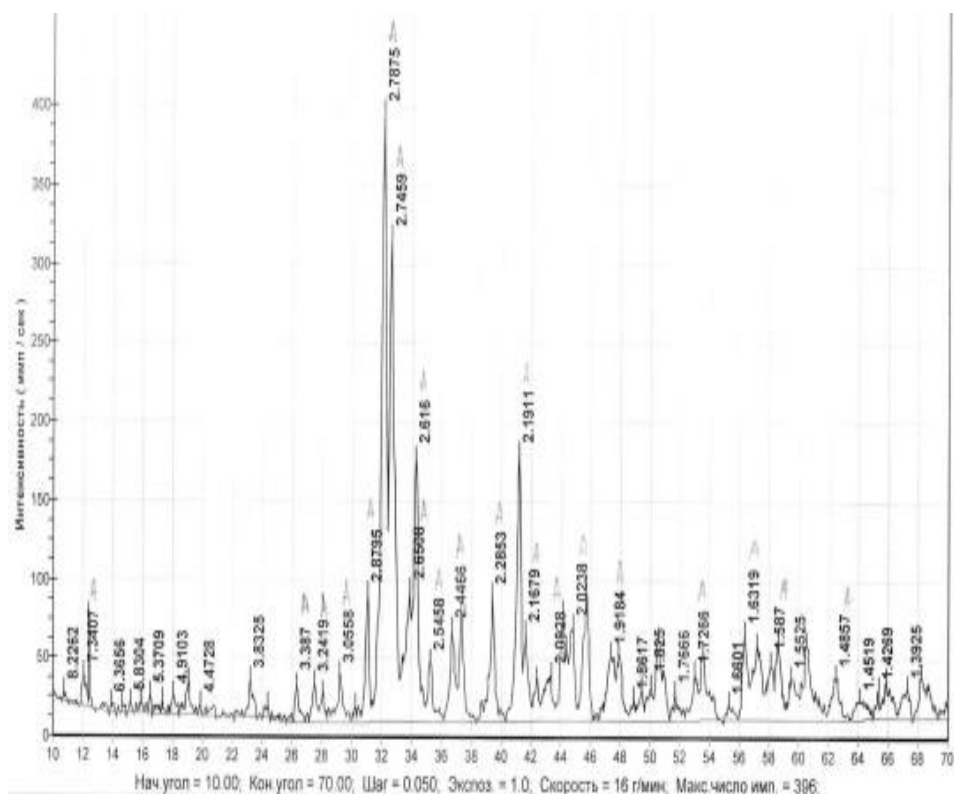
Әктас+лесс+Ащысай металлургия зауыты клинкері» шикізат қоспада компоненттердің үлестік шығыны силикатты модульге байланысты өзгерді: әктас 1,163-1,221 т/т, лесс - 0,165-0,223 т/т өсті, ал Ащысай клинкері – 0,115-0,027 т/т, яғни 1 т цемент клинкер алу үшін Ащысай клинкерінің мөлшері азайды. Силикатты модуль 2,2-ден 3,0-ге дейін жоғарылаған кезде реттеуші компонент – Ащысай клинкерінің үлестік шығыны төмендеді. Орта есеппен 1 т цемент клинкерді алу үшін 27-115 кг Ащысай клинкері жұмсалады.

Күйдірілген клинкерлерді рентгенофазалық талдау жұмыстары ЖШС «ЦеЛСИМ» құрылыс материалдарын сертификаттық сынаудың орталық зертханасында (Алматы) жасалды. Алынған клинкерлердің ретгенограммалары 15-суретте келтірілген.

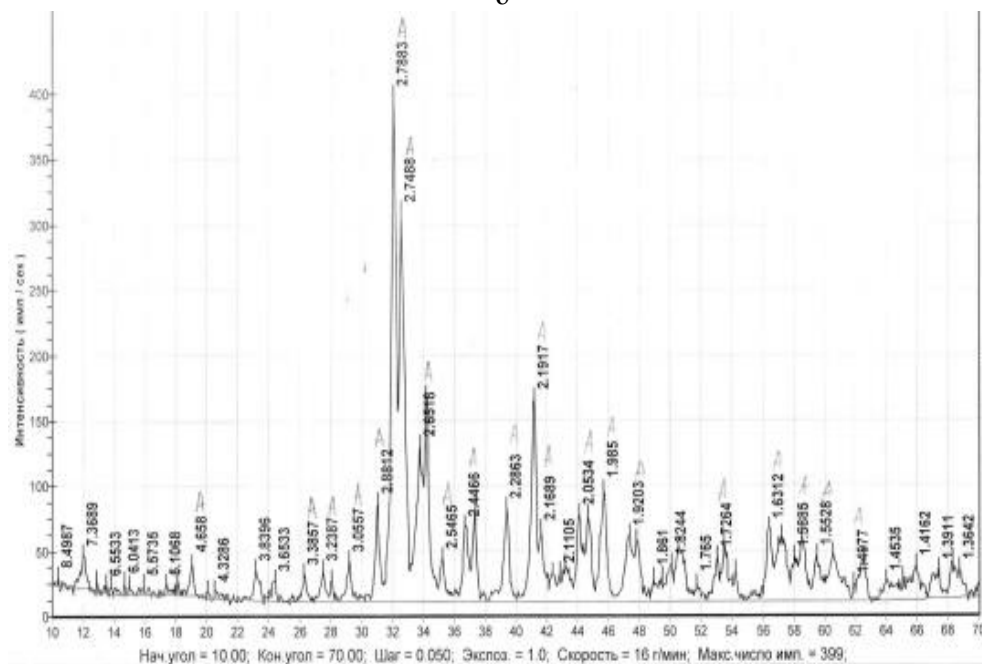


а

Сурет 15 – 1300°C температурада күйдірілген клинкерлердің ретгенограммалары, парақ 1



а



б

Сурет 15, парақ 2

1300°C температурада күйдірілген барлық клинкерлердің рентгенограммасында келесідей түзілген минералдарға тиесілі жазықтық аралық нүктелері сәйкестендірілген:

1. C_2S (белит) $d = 1,72; 1,98; 2,05; 2,28; 2,54; 2,74; 2,78; 3,05; 3,23; 3,33 \text{ \AA}$.
2. C_3S (алит) $d = 1,49; 1,63; 1,82; 2,44; 2,88 \text{ \AA}$.
3. C_3A $d = 1,55; 2,70; 4,11 \text{ \AA}$.
4. C_4AF $d = 1,92; 2,16; 2,19; 2,63 \text{ \AA}$.

Рентгенофазалық талдау нәтижесінде Ащысай металлургиялық зауыт клинкерінен 1300°C температурада күйдіріп алған клинкерлердің құрамында C_2S минералдарының көп мөлшерде түзілгендігін көуге болады. Сонымен қатар, бос CaO минералына тиісті жазықтық аралық нүктелер байқалмайды және клинкердің құрамында минерал түзілу процессінің толық аяқталғандығы анықталды [99, с. 83-92].

Осылайша, анықталған нәтижелерге сәйкес 1300°C күйдірілген клинкердің құрамында бос CaO мөлшері 0.27–1.89% аралығында болды. Рентгенофазалық талдау нәтижесінде анықталған клинкер минералдардың толық түзілгендігі дәлелденді.

Белитті клинкер құрамында түзілген негізгі минералдар саны C_2S – 59.64-62.82%, C_3S – 16.87-17.77%, C_3A – 2.87-5.99%, C_4AF – 17.42-12.77% болды.

3.5 Әктас, көмір өндіру, тефритобазальт және қорғасын шлағының қалдықтарын қамтитын шикізат қоспаларын күйдіру процестерін зерттеу

Энергия тиімділігін арттыру, отын шығынын және CO_2 шығарындыларын азайту мақсатында, Састөбе әктасы ұсақтау қалдықтары, Ленгер көмір өндіру қалдықтары, тефритобазальт және қорғасын шлағы енгізілген шикізат қоспаларынан клинкерді күйдіру үдерістері зерттелді. Бұл шихталарда дәстүрлі табиғи шикізат толық немесе ішінара техногендік өнімдермен алмастырылды [99, с. 83-92].

Дәстүрлі карбонаттық, алюмосиликаттық және түзетуші құрамдас шикізат қоспасын Састөбе әктас ұсақтау қалдықтарына, Ленгер қаласындағы көмір шахталарының қалдықтарына, Оңтүстік Қазақстандағы Даубаба кен орнының магмалық тау жынысы – тефритобазальтқа және қорғасын шлағына алмастыру бойынша зерттеулер жүргізілді.

Шикізат шихталарының 3 сериясы дайындалды:

- дәстүрлі (бақылау нұсқасы) – «Әктас + лесс + огарки»;
- 1-энергияны аз қажет ететін, ресурсты үнемдейтін қоспа – «Әктас қалдығы + көмір өндіру қалдығы + қорғасын шлағы»;
- 2-энергияны аз қажет ететін, ресурсты үнемдейтін қоспа – «Әктас қалдығы + (көмір өндіру қалдығы + тефритобазальт (1:1 қатынасында) + қорғасын шлағы».

Дайындалған шикізат шихтасының құрамы аз энергияны қажет етеді, себебі қорғасын шлағының минералдандырғыш әсері арқасында клинкерді күйдіру кезінде отын шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл қоспалар ресурсты үнемдеуші болып табылады, өйткені табиғи шикізат толықтай өнеркәсіптің көп тоннажды қалдықтарымен алмастырылған.

Шикізат қоспалардың қанығу коэффициенті 0,85–0,95 аралығында өзгертілді, силикаттық модуль – 2,2 және 2,5 деңгейінде, ал глиноземдік модуль 0,70–0,99 шегінде болды.

Клинкерді күйдіру 1300–1450°C температура аралығында, ең жоғарғы температурада 30 минут ұстап тұру арқылы жүргізілді.

Кесте 39 – Үш компонентті шикізат қоспаларының химиялық құрамы және шикізаттың меншікті шығыны (Састөбе әктас қалдығы +көмір өндіру қалдығы+қорғасын шлағы)

№ қос па лар	Шикізат қоспасының құрамы, мас. %			Шикізаттың меншікті шығыны, клинкердің т/т			ҚК	Модульдер		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, массасы. %							
	састөбе әктас қалдық тары	көмір өндіру дің қалдық тары	қорға сын шлағы	састөбе әктас қалдық тары	көмір өндіру дің қалдық тары	қорға сын шлағы		п	р	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Mg O	SO ₃	бас қа лар	кксж
1	85,70	9,42	4,88	1,251	0,145	0,066	0,85	2,5	0,87	14,65	2,73	3,13	40,46	0,68	1,25	3,81	33,29
2	86,02	7,4	6,57	1,249	0,113	0,088	0,90	2,2	0,69	13,96	2,61	3,74	40,80	0,72	1,3	3,80	32,92
3	84,29	7,22	5,79	1,258	0,108	0,086	0,92	2,2	0,70	13,77	2,57	3,69	41,00	0,72	1,30	3,94	33,02
4	87,52	7,97	4,52	1,284	0,123	0,061	0,92	2,5	0,87	13,93	2,59	2,98	41,19	0,67	1,24	3,79	33,60
5	88,24	7,39	4,37	1,297	0,115	0,059	0,95	2,5	0,86	13,64	2,53	2,93	41,49	0,67	1,24	3,78	33,72
6	88,78	7,89	3,33	1,311	0,123	0,045	0,95	2,7	1,0	13,73	2,54	2,55	41,59	0,64	1,21	3,70	34,04

Кесте 40 – Үш компонентті шикізат қоспаларына негізделген клинкерлердің химиялық-минералогиялық құрамы (Састөбе әктас қалдығы + көмір өндіру қалдығы + қорғасын шлағы)

Қоспалар	Клинкердің химиялық құрамы, масс. %							ҚК	Модульдер		Минералогиялық құрамы, масс. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқалар		п	р	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	21,96	4,09	4,69	60,65	1,02	1,87	5,71	0,85	2,5	0,87	45,89	28,33	2,86	14,27
2	20,92	3,89	5,57	60,83	1,07	1,94	5,88	0,90	2,2	0,7	55,37	17,9	0,84	16,94
3	20,56	3,84	5,51	61,22	1,07	1,94	5,88	0,92	2,2	0,70	59,37	14,14	0,81	16,74
4	20,98	3,90	4,50	62,04	1,01	1,87	5,71	0,92	2,5	0,87	60,58	14,43	2,68	13,67
5	20,58	3,82	4,42	62,60	1,01	1,87	5,71	0,95	2,5	0,86	66,49	8,85	2,61	13,42
6	20,81	3,85	3,86	63,06	0,97	1,84	5,62	0,95	2,7	0,99	67,22	8,95	3,64	11,73

Кесте 41 – Шикізат қоспаларының күйдіру индексі және агломерация коэффициенті (Састөбе әктас қалдығы + көмір өндіру қалдығы + қорғасын шлағы)

Қос па лар	ҚК	п	Сұйық фаза саны, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5-3,0)	п*р	Жентектелу коэффициенті (оптим. 0,5-0,6)	Гидравликалық модуль (оптим. 1,7-2,4)	Матердің футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0-3,5)	Жылу калометриялық модулі (оптим. 0,3-1,8)
1	0,85	2,5	31,07	2,67	2,18	0,50	1,97	5,38	1,14
2	0,90	2,2	32,7	3,41	2,17	0,63	2,07	5,38	1,85
3	0,92	2,2	32,39	3,38	1,53	0,62	2,05	5,36	1,95
4	0,92	2,5	30,04	3,71	2,17	0,69	2,11	5,38	2,25
5	0,95	2,5	29,63	4,14	2,16	0,77	2,17	5,39	3,10
6	0,95	2,7	28,34	4,37	2,69	0,82	2,21	5,41	3,43

Кесте 42 – Үш компонентті шикізат қоспаларының химиялық құрамы және шикізаттың меншікті шығыны (Састөбе әктас қалдығы +(көмір өндіру қалдығы+Тефритобазальт (1:1)) + қорғасын шлағы

№ қос па лар	Шикізат қоспасының құрамы, мас. %			Шикізаттың меншікті шығыны, клинкердің т/т			ҚК	Модульде р		Шикізат қоспасының химиялық құрамы, массасы. %							
	әктас қал дық тары	қорға сын шла гы	көмірдің қалдық тары+теф рито базальт	әктас қалдық тары	қорға сын шлагы	көмірдің қалдықта ры+тефри тобазальт		п	р	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқа лар	кксж
1	85,39	3,60	11,00	1,268	0,053	0,164	0,85	2,5	0,93	14,65	2,83	3,03	40,59	1,00	1,18	4,06	32,67
2	86,74	3,47	9,77	1,294	0,052	0,146	0,90	2,5	0,93	14,13	2,72	2,93	41,10	0,95	1,18	4,02	32,97
3	86,31	5,49	8,20	1,280	0,081	0,122	0,92	2,2	0,73	13,77	2,65	3,61	41,10	0,95	1,24	4,12	32,56
4	87,26	3,43	9,31	1,304	0,051	0,139	0,92	2,5	0,92	13,93	2,67	2,90	41,30	0,94	1,18	4,00	33,08
5	88,00	3,37	8,63	1,318	0,050	0,129	0,95	2,5	0,92	13,64	2,61	2,85	41,59	0,91	1,18	3,98	33,24
6	88,52	2,25	9,23	1,332	0,034	0,139	0,95	2,7	1,07	13,73	2,62	2,46	41,70	0,91	1,15	3,91	33,52

Кесте 43 – Үш компонентті шикізат қоспаларына негізделген клинкерлердің химиялық-минералогиялық құрамы (Састөбе әктас қалдығы + (көмір өндіру қалдығы+тефритобазальт 1:1)) + қорғасын шлагы

Қоспалар	Клинкердің химиялық құрамы, масс. %							ҚК	Модульдер		Минералогиялық құрамы, масс. %			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	басқалар		п	р	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1	21,75	4,20	4,50	60,28	1,48	1,75	6,04	0,85	2,5	0,93	45,46	28,06	3,49	13,67
2	21,07	4,05	4,38	61,32	1,42	1,76	6,00	0,90	2,5	0,93	56,05	18,12	3,30	13,31
3	20,41	3,92	5,36	60,94	1,41	1,84	6,11	0,92	2,2	0,73	58,96	14,05	1,29	16,28
4	20,81	3,99	4,33	61,71	1,40	1,77	5,98	0,92	2,5	0,92	60,10	14,32	3,22	13,17
5	20,43	3,91	4,26	62,29	1,37	1,77	5,96	0,95	2,5	0,92	65,99	8,79	3,11	12,96
6	20,65	3,95	3,70	62,72	1,36	1,73	5,89	0,95	2,7	1,07	66,69	8,88	4,17	11,25

Кесте 44 – Шикізат қоспаларының күйдіру индексі және жентектелу коэффициенті (Састөбе әктас қалдығы + (көмір өндіру қалдығы+тефритобазальт 1: 1)) + қорғасын шлагы

Қоспа лар	КН	Сұйық фаза саны, L, %	Күйдіру индексі (оптим. 2,5-3,0)	п*р	Жентектелу коэффициент (оптим. 0,5-0,6)	Гидравликал ық модуль (оптим. 1,7- 2,4)	Материалдың футеровкаға жабысу критерийі (оптим. 3,0-3,5)	Жылу калометриялық модулі (оптим. 0,3- 1,8)
1	0,85	31,63	2,64	2,35	0,50	1,97	5,17	1,17
2	0,90	30,83	3,38	2,31	0,63	2,08	5,20	1,89
3	0,92	32,80	3,35	1,61	0,62	2,05	5,20	1,99
4	0,92	30,53	3,67	2,31	0,69	2,12	5,21	2,30
5	0,95	30,09	4,11	2,29	0,78	2,18	5,23	3,18
6	0,95	28,84	4,26	2,88	0,82	2,22	5,23	3,52

39, 40, 41, 42, 43, 44-кестелерде өнеркәсіп қалдықтарынан дайындалған үш- және төрткомпонентті шикізат қоспаларының есептік нәтижелері берілген. Қанығу коэффициенті мен силикаттық модульдің шамасына байланысты үшкомпонентті қоспалардың құрамында 7,22–9,42% көмір өндірісі қалдықтары бар немесе 1 т клинкер алу үшін 108–145 кг көмір қалдығы енгізілді. Осылайша, әрбір тонна шикізат шихтасында 2,8–3% жанғыш көміртек болады, бұл алынатын клинкердің әр тоннасына жұмсалатын меншікті отын шығынын айтарлықтай төмендетеді.

Шикізат қоспасының құрамына темірқұрамды түзетуші қоспа ретінде 3,33–6,57% қорғасын шлағы енгізілді, бұл 1 т клинкерге шаққанда 45-тен 88 кг-ға дейінгі мөлшерді құрайды (39-кесте). Қорғасын шлағын пайдалану Шымкент қорғасын зауытының ондаған жылдар бойы жиналып, қала экологиясына зиян келтіріп тұрған үйінділерін біртіндеп қайта өңдеуге мүмкіндік береді. Шлактің құрамындағы мырыш тотығының қалдықтары пештегі клинкерді күйдіру процесінде минералдандырғыш әсер атқарады.

Өзірленген аз энергия тұтынатын шикізат қоспалары төмен алюминатты болып табылады және арнайы сульфатқа төзімді цемент клинкерлерін алуға жағдай жасайды. №1–5 клинкерлеріндегі есептік C_3A мөлшері 0,81–2,86% аралығында, бұл МЕМСТ 22266-2013 талаптарына сәйкес келеді. C_3A мен C_4AF қосынды мөлшері 16-18%-дан аспайды (41-кесте).

Аз энергия қажет ететін, ресурсты үнемдейтін екінші сериядағы төрт компонентті шикізат қоспаларында (42-кесте) – «Әктас қалдығы + (көмір өндірісі қалдығы + тефритобазальт (1:1) + қорғасын шлағы» құрамына қосымша Даубаба кен орнынан алынған 4,1–5,5 % тефритобазальт енгізілді. Бұл жағдайда көмір өндірісі қалдықтарының мөлшері азаяды. Дегенмен, тефритобазальт клинкерді күйдіру барысында фазалардың түзілуін жеделдетеді, сұйық фазаның пайда болу температурасын төмендетеді, оның қасиеттерін жақсартады және клинкерлік сұйық фаза көлемін арттырады. Мұның барлығы күйдіру процесін жеделдетіп, пештегі отын шығынын азайтуға ықпал етеді.

Коэффициент қанығуы мен силикатты модуль мәндеріне байланысты үш кальцийлі алюминаттың мөлшері 1,29–3,3% аралығында өзгереді. Сондықтан бұл көрсеткіштерді реттей отырып, арнайы сульфатқа төзімді цементтер мен жол құрылысына арналған цементтерді алуға болады (43-кесте). Төрт компонентті шикізат қоспаларының күйдірілуі мен жентектелу көрсеткіштері бірінші кезекте қанығу коэффициентінің шамасына байланысты. ҚК артқан сайын жентектелу процестері қиындайды (44-кесте).

45-кестеде күйдіру температурасының және қоспа құрамдарының клинкердегі бос кальций оксиді мөлшеріне әсері келтірілген. Бос CaO мөлшері этил-глицерат әдісімен анықталды.

Кесте 45 – Өнеркәсіп қалдықтары мен температура қоспаларының құрамдарының аз энергияны қажет ететін клинкерлерді күйдіру процесіне әсері

Қоспалар	Шикізат қоспасының құрамы, мас.%						Модульдер			Бос СаО саны, %, күйдіру температурасында, °С			
	әктас қалдығы	көмір қалдықтары	огар-кі	көмір текті қалдықтар + тефрито-базальт	қорғасын шлағы	лесс	ҚК	n	p	1300	1350	1400	1450
Шикізатты бақылау қоспасы (дәстүрлі)													
1	78,3	-	1,35	-	-	20,3	0,90	2,5	1,69	8,6	6,4	3,5	1,7
Энергияны аз қажет ететін ресурстарды үнемдейтін шикізат қоспалары													
2	86,02	7,4	-	-	6,57	-	0,90	2,2	0,69	2,1	1,62	1,4	1,1
3	84,29	7,22	-	-	5,79	-	0,92	2,2	0,7	2,2	1,76	1,5	1,3
4	87,52	7,97	-	-	4,52	-	0,92	2,5	0,87	2,4	1,82	0,6	0,5
5	88,24	7,39	-	-	4,37	-	0,95	2,5	0,86	2,5	1,95	1,1	0,6
6	86,74	-	-	9,77	3,47	-	0,9	2,5	0,93	1,6	1,2	0,8	0,4
7	86,31	-	-	8,2	5,49	-	0,92	2,2	0,73	2,5	1,5	1,2	0,6
8	87,26	-	-	9,31	3,43	-	0,92	2,5	0,92	3,1	1,9	1,4	0,8
9	88,0			8,63	3,37		0,95	2,5	0,92	5,2	2,8	1,6	1,2

Дәстүрлі бақылау қоспасының күйдірілуі 1450°С-та аяқталады. Ал 7,22-8% көмір өндірісі қалдықтары мен 4,37–6,57% қорғасын шлағы бар аз энергия тұтынатын, ресурсты үнемдейтін №2, 3, 4 және 5 шикізат қоспаларының күйдірілуі 1350°С-та толық аяқталады. Коэффициент қанығуы (ҚК) мен силикатты модульге байланысты бос СаО мөлшері 1,62–1,95% аралығында. Бұл қоспалар құрамындағы көмір өндірісі қалдықтары шамамен 2–2,5% көмір енгізіп, пештегі форсункадағы отын шығынын төмендетеді. Қорғасын шлагінің минералдандырғыш әсері нәтижесінде клинкердің жентектелу температурасы 100°С-қа төмендейді.

№6, 7, 8 және 9 аз энергия қажет ететін, ресурсты үнемдейтін шикізат қоспаларында алюмосиликатты компонент ретінде көмір қалдығы мен тефритобазальт (1:1) қоспасы қолданылады. Көмір қалдықтары қоспаға көміртек енгізсе, тефритобазальт клинкерлік сұйық фазаның қасиеттерін жақсарту арқылы клинкер түзілу процесін жеделдетеді. Бұл қоспаларға 3,37–5,49% мөлшерінде енгізілетін қорғасын шлағы де минералдық фазалардың түзілуін жылдамдатып, отын шығынын азайтады және клинкер минералдарының құрылымын түрлендіреді.

Коэффициент қанығуы мен силикатты модуль шамасына байланысты шикізат қоспаларының толық жентектелуі 1300 немесе 1350°С-та жүреді. Еркін СаО қалдық мөлшері 1,6–1,9% деңгейінде. Ал шамадан тыс жоғары ҚК = 0,95 болған жағдайда сапалы күйдіру тек 1400°С-та мүмкін болып, еркін СаО мөлшері 1,6%-ға дейін төмендейді.

Осылайша, клинкер түзілу үдерістеріне бірнеше факторлар айтарлықтай ықпал етеді. Бұл қоспалардағы қанығу коэффициентінің шамасы клинкердің

түзілу барысына елеулі әсерін тигізеді: ҚК артқан сайын жентектелудегі бос СаО мөлшері бірқалыпты көбейеді.

Клинкердің жентектелу процесі қорғасын шлагінің мөлшеріне де тәуелді: оның артуы реакцияларды жеделдетіп, клинкерді күйдіру температурасын төмендетеді. Алынған нәтижелер 1300–1350°C аралығында аз энергия тұтынатын клинкер алуға болатынын көрсетті. Бұл өз кезегінде клинкерді күйдіруге жұмсалатын отын шығынын азайтып, цемент өндірісінде дәстүрлі шикізатты үнемдеуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, күйдіру температурасын төмендету және отын шығынын қысқарту атмосфераға бөлінетін көмірқышқыл газының көлемін азайтады. Бұл цемент өндірісі технологиялық процестерін көміртексіздендірудің қазіргі заманғы үрдістеріне толық сәйкес келеді.

Бөлім бойынша қорытындылар

1. Табиғи шикізатты техногендік қалдықтармен толық немесе ішінара алмастыру мүмкіндігі анықталды: электротермофосфорлы, грануляцияланған қорғасын шлактарымен, Ленгер шахттарының көмір қалдықтарымен. Осы негізде аз энергия тұтынатын және ресурсты үнемдейтін шихталар әзірленді, олар табиғи шикізатты 30–90% ауыстырып, 1 т клинкерге қажетті шикізат шығынын 0,1–0,2 т/т азайтуға мүмкіндік береді. Әр түрлі құрылыс және арнайы цементтер үшін шихталардың құрамы есептелді.

2. Энергия үнемдейтін клинкер өндіру мүмкіндігі анықталды: шикізат қоспалары құрамында Састөбе әктас қалдықтары, Ленгер шахттарының көмір қалдықтары, даубаба тефритобазальт, электротермофосфорлы және қорғасын шлактар, цинк кендерін вельцилеу клинкері бар. Жаңа шихталарда клинкер қалыптасуы 1350–1400°C температурада аяқталады. Бұл отын шығынын төмендетуге, атмосфераға CO₂ және NO_x шығарындыларын азайтуға, техногендік қалдықтарды пайдалануға және экологиялық ластануды азайтуға мүмкіндік береді. Еркін СаО мөлшері нормада. Тефритобазальт, фосфорлы және қорғасын шлактар, цинк вельцилеу клинкері клинкер минералдарының түзілуін минерализациялап, жентектелу процесін төмен температурада аяқтауға ықпал етеді. Мұны шлактардағы P₂O₅, фтор, Zn және Pb оксидтері қолдайды.

3. Аз энергиялы, ресурс үнемдейтін шихталардағы клинкер қалыптасу заңдылықтары анықталды: олар шикізат құрамына, қанығу коэффициентіне, модульдерге, 1 т клинкерге шикізат шығынына, қалдықтар дозасына және күйдіру температурасына тәуелді. ҚК және силикат модулі артқан сайын клинкер қалыптасуы қиындайды, еркін СаО мөлшері өседі. Ал өнеркәсіптік қалдықтар үлесі артқан сайын 1 т клинкерге шикізат шығыны төмендейді, бұл отын шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

4. Электрондық микроскопиялық зерттеулер көрсеткендей, аз энергия тұтынатын шихталарды күйдіру кезінде алынған клинкерлер жоғары сапалы болып шықты. Бұл химиялық, рентгенофазалық және сканерлік электрондық микроскопиялық талдаулармен расталды.

Минералдардың кристалдануы әзірленген аз энергия тұтынатын клинкерлерде айқын байқалады, олардың таралуы негізінен біркелкі және

зоналық сипатта. Алит әртүрлі өлшемді және пішінді кристалл түрінде кездеседі, кейде алит кристалдарының бірігуі байқалады. Белит кіші өлшемді дөңгелек немесе овалды кристалл ретінде кристалданады, кейде белит түйірлерінің бетінде жарықтар көрінеді, ал кейбір клинкерлерде екінші реттік белит анықталған. Кальций алюмоферриттері жеңіл және ине тәрізді кристалдар түрінде, ал кальций алюминаты – қара түсті кристалдар түрінде болады.

Аз температурада күйдіру және клинкер минералдарының айқын кристалдануына қорғасын шлактар мен вельцилеу клинкеріндегі цинк оксидінің минерализаторлық әсері ықпал етеді. Вельцилеу клинкері мен қорғасын шлактардағы минерализаторлық және модификациялық компоненттер (қоспалар) шикізат шихтасында төмен ерігішті эвтектика түзілуіне себеп болады. Бұл балқыма мөлшерін арттырады, төмен температурада балқу пайда болуына ықпал етеді және клинкер балқымасының қасиеттерін жақсартады: беттік керілу, тұтқырлық төмендеуі, тығыздық азаюы, диффузия жылдамдығының артуы. Нәтижесінде минерал түзілу процесі әзірленген аз энергия тұтынатын шихталарда жеделдейді.

5. Ащысай металлургия зауытының вельцилеу клинкерін шихта құрамына 4,81–9,32% мөлшерінде қосу арқылы арнайы төмен экзотермиялық белит клинкерін алу мүмкіндігі көрсетілген. 1300°C температурада күйдірілген белит клинкерлерінде C_2S мөлшері 59,6–62,8% болып, ерітілмеген бос CaO мөлшері 0,27–1,89% аралығында қалыптасты.

6. Шихта құрамына Ленгер шахттарының көмір шығару қалдықтарын, құрамында 20–22% көмір бар, енгізу арқылы клинкерді күйдіру кезінде форсункадағы отын шығынын қосымша 3–4% қысқартуға болады.

7. Термодинамикалық талдау 1350–1400°C температурасында жоғары CaO және метал оксидтері бар техногенді шикізатты тиімді пайдалануға мүмкіндік беретінін көрсетеді, бұл қажетті құрылымдық-фазалық сипаттамалары бар клинкерді алуға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер өндіріс процесін оңтайландыруға және өнеркәсіптік қалдықтарды қолдана отырып, экологиялық қауіпсіз цемент өндірісі технологияларын әзірлеуге маңызды әсер етеді [100-102].

4 ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЦЕМЕНТ ӨНДІРУДІҢ АЗ ЭНЕРГИЯНЫ ҚАЖЕТ ЕТЕТІН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

4.1 Цемент өндіруге жарамды Оңтүстік Қазақстанның минералды қалдықтарының кадастрын әзірлеу

Зерттеулер нәтижесінде өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалану арқылы көмірқышқыл газын шығарындыларын азайтудың рационалды жолдары анықталып, Оңтүстік Қазақстандағы цемент өндірісінде қолдануға жарамды қалдықтардың толық кадастры жасалды [103].

Қазіргі уақытта әлемдегі CO_2 шығарындыларының шамамен 7–8 % цемент өнеркәсібіне тиесілі. Сондықтан дамыған елдерде CO_2 шығарындыларын түбегейлі азайтуға, көміртексіз немесе аз көміртекті отынмен цемент өндірісін ұйымдастыруға, CO_2 ұстап қалу технологияларын енгізуге бағытталған ғылыми зерттеулер мен өндірістік сынақтар қарқынды жүргізілуде [104].

Мысалы, SEMEX компаниясы 2030 жылға қарай цементтің бір тоннасына шығарындыларды 475 кг-ға дейін азайтып, 1990 жылғы деңгеймен салыстырғанда шамамен 40 % қысқартуды жоспарлап отыр. 2025 жылға қарай шығарындылар 520 кг/т деңгейіне төмендетіледі. Бұған қол жеткізу үшін компания жыл сайын шамамен 60 млн АҚШ долларын инвестициялады жоспарлап отыр. Осы мақсатта қолданылатын негізгі шаралар:

- биомассасы жоғары баламалы отын түрлерін пайдалану;
- отын ретінде сутегі енгізу;
- төмен температурада өндірілетін және көміртегі ізін азайтатын клинкерлерді өндіру;
- декарбонизацияланған шикізаттарды (шлактар және т.б.) пайдалану;
- пештердегі жылу тұтынуды оңтайландыру;
- шамадан тыс клинкер қолдануды азайту арқылы аралас цементтерді кеңінен пайдалану.

Сонымен қатар, Holcim тобының Ресейдегі кәсіпорындары 2030 жылға қарай цементтің бір тоннасына CO_2 шығарындыларын 2019 жылғы 516 кг/т көрсеткішінен 475 кг/т-ға дейін төмендетуді жоспарлап отыр [102]. Бұған қол жеткізу үшін қолданыстағы екі шешім бар:

– баламалы отынды пайдалану, ол әртүрлі қалдықтардан алынады: қатты тұрмыстық қалдықтардың (ҚТҚ) сұрыпталғаннан кейін қалған қалдықтары, пайдаланылған шиналар және басқа да материалдар. Бұл отын құрамында биомасса болғандықтан, ол CO_2 шығарындылары бойынша нейтралды болып есептеледі, нәтижесінде цемент өндірісіндегі шығарындылар айтарлықтай азаяды;

– көміртегі көп материалдарды алмастыру, мысалы, әктас орнына шлактарды пайдалану. Жаңа құрам мен төмен температурада күйдіру жасау арқасында цемент өндірісіндегі көміртек ізін азайтуға болады, ал алынған өнімдер «жасыл» сипатқа ие болады.

Компания 2050 жылға қарай көміртегі бейтарап болуды жоспарлап отыр, соның ішінде өзінің жаңа құрылыс өнімдері – «жасыл» ECORcast бетон мен Susteno цементін қолдану арқылы. Susteno құрамында 20 %-ға дейін қайта өңделген бетон бар, ал ECORcast өндірісінде CO₂ шығарындылары кәдімгі бетонмен салыстырғанда 30–100 % төмен.

Hanson UK зауытының Рибблсдейлдегі (Ұлыбритания) цемент пешінде 100 % климатқа бейтарап отын қоспасымен, оның құрамында сутегі қосылған тестік іске қосу сәтті өтті. Жаңа отынды барлық пештерде қолдану арқылы жылына 180 мың тонна CO₂ шығарындыларын азайту жоспарланып отыр. Негізгі горелкаға берілетін отын құрамында сутегі – 39 %, биомасса (12 % ет-сынақ ұнтағы) және глицерин – 49 % бар, олар басқа өнеркәсіп салаларының қосымша өнімдерінен алынған [103]. Болашақта дәстүрлі сутегі орнына «жасыл» сутегі қолданылмақ.

Ресейде ұлттық көміртек салығының жобасы әзірленіп жатыр [104]. 2021 жылғы 14 шілдеде Еуропалық комиссия ұсынған EUGreenDeal экологиялық жоспары 2030 жылға қарай CO₂ шығарындыларын 1990 жылғы деңгеймен салыстырғанда 55 %-ға азайтуды мақсат етеді. Бұл мақсатқа жету үшін трансшекаралық көміртек салығын (ТКС) енгізу ұсынылады.

Шекаралық көміртек түзету механизмі бойынша ТКС-қа енетін тауарлар қатарына болат, құбырлар, цемент, алюминий, тыңайтқыштар және электр энергиясы кіреді. Салық 2026 жылғы 1 қаңтардан бастап алынатын болады. ЕС-ке өнім импорттайтын компаниялар СВАН сертификаттарын сатып алып, оны тауарды әкелуге құқыққа айырбастауға тиіс. Өнім өндірісінен туындайтын шығарындыларға төленетін салық Еуропалық квота саудасы жүйесінде (EU ETS) CO₂ құнына сәйкес есептеледі, қазіргі кезде ол 1 т CO₂ үшін шамамен 60 евроға тең. Экономика министрлігінің бағалауынша, ТКС енгізілуі Ресейден ЕС-ке экспортталатын 7,6 млрд. АҚШ долларына бағаланатын өнімді қамтиды.

Ресейде «жасыл» жобаларды және тұрақты дамуға бағытталған бастамаларды қаржыландыру жүйесін іске қосуға дайындық жүргізілуде. Сонымен қатар, ресей экономикасын жаһандық энергетикалық ауысуға бейімдеу бойынша біртұтас іс-қимыл жоспары әзірленіп жатыр [104].

Басты бағыттардың бірі – экономиканың салаларын технологиялық жаңғыртуды жеделдету, оның ішінде ең үздік қолжетімді технологияларды енгізу арқылы. Бағдарламаның екінші тармағы – технологиялық және табиғи артықшылықтарға негізделген шаралардың халықаралық мойындалуына қол жеткізу. Мұнда ресейлік ормандардың көміртекті сіңіру қабілеті туралы да сөз болады. Үшінші – «жасыл» технологияларға көшетін және шығарындыларды азайтатын субъектілерге салықтық ынталандыру жүйесін енгізу. Төртінші – жаңа және серпінді технологияларды кеңінен қолдану, оның ішінде сутек энергетикасы, көмірқышқыл газын жинау және сақтау технологиялары, атом және су энергетикасы салаларын дамыту. Бесінші – өңірлік ерекшеліктерді ескеру.

«Қазақстанның жасыл экономикаға көшу концепциясы» мен 2021–2025 жылдарға арналған «Жасыл Қазақстан» ұлттық жобасында қалдықтарды қайта өңдеу үлесін 2030 жылға қарай 40%-ға, ал 2050 жылға қарай 50%-ға жеткізу

карастырылған. 2019 жылғы өндірістік және тұтыну қалдықтарының мемлекеттік кадастры деректері бойынша елімізде шамамен 30,6 млрд. тонна қалдық жиналған, оның шамамен 100 млн тоннасы тұрмыстық қатты қалдықтар болса, қалған көлемі – экологиялық қауіп төндіретін өнеркәсіптік қалдықтар.

2021 жылы Қазақстан Республикасының Жаңа экологиялық кодексі қабылданды [105]. Қазақстанда басқа дамыған елдердегідей цемент пен әк өндірісінде ең үздік қолжетімді технологиялар мен әдістемелерді сипаттайтын НДТ Справочнигі (Справочник по наилучшим доступным технологиям – СНДТ) әзірленді. Бұл Справочник 2021 жылғы 2 қаңтардағы №400-VI ҚР Заңы аясында Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексін жүзеге асыру мақсатында, сондай-ақ Экология, геология және табиғи ресурстар министрлігінің «Технологияларды және үздік тәжірибелерді насихаттау, бизнес пен инвестицияларды дамыту арқылы Қазақстанның жасыл экономикаға жылдам өтуін қолдау» (044) бюджет бағдарламасын іске асыру шеңберінде дайындалған [105].

Справочник әзірлеу кезінде әлемдік үздік тәжірибе ескерілген, сонымен қатар Еуропалық одақтың 2009 жылғы «Цемент, әк және магний оксидін өндіру үшін НДТ бойынша ақпараттық құжат» және Ресей Федерациясының 2015 жылғы аналогтық құжаттары қарастырылған. Дегенмен, олар Қазақстанның климаттық, экономикалық, экологиялық жағдайларына және шикізат базасына сәйкес әділ бейімделуі қамтамасыз етілген, бұл үздік қолжетімді техникаларды қолданудың техникалық және экономикалық қолжетімділігін негіздейтін фактор болып табылады.

Қазақстан Республикасы Үкіметінің бекіткен 2022–2025 жылдарға арналған Көміртекті квоталар ұлттық жоспары [106] және 2007 жылғы 9 қаңтардағы Экологиялық кодексінің 16-бабының 7-тармақшасына сәйкес, реттелетін салалар бойынша парниктік газдардың шығарындыларына жалпы квота көлемі 108,8 млн тоннаға жетеді. Оның ішінде өңдеу өнеркәсібі үшін, атап айтқанда құрылыс материалдарын – цемент, әк, гипс және кірпіш өндірісі үшін бөлек квоталар белгіленген. Цемент зауыттарының СО₂ шығарындыларына квоталар мынадай: 2022 жыл – 6,02 млн. тонна; 2023 жыл – 5,55 млн. тонна; 2024 жыл – 5,5 млн. тонна; 2025 жыл – 5,2 млн. тонна [106].

Осылайша, өнеркәсіптік кәсіпорындар зиянды заттардың атмосфераға шығарылуын азайтып, қоршаған ортаны ластанудан қорғап, агрегаттардың өнімділігін арттырады, экологиялық таза және аз энергия қажет ететін процестерді енгізеді, тиімді тазалау жабдықтарын, соның ішінде электро-, рукавтық және гибридік фильтрлерді орнатады, клинкерді күйдіруге арналған отын шығынын азайтады, цемент құрамындағы клинкер үлесін төмендетеді және техногендік өнімдерді барынша қайта өңдейді.

Еуропа тәжірибесін ескере отырып, өнеркәсіптік кәсіпорындардың қоршаған ортаға тигізетін зиянын минимизациялау – заман талабы. Бұл талаптарға сәйкес келмейтін кәсіпорындар пайдаланудан алынып, тоқтатылатын болады. Сонымен қатар, әрбір кәсіпорын үшін «Кешенді экологиялық рұқсат» алу рәсімі бекітіліп, іске қосылады. Қоса кетерлігі, көршілес Ресейде бұл процедура бұрыннан бекітіліп, іске қосылған.

Цемент өндірісінің негізгі технологиялық операциялары – шикізатты өндіру және ұсақтау, материалдарды ұнтақтау, шикізат шламын немесе ұнын дайындау, олардың гомогенизациясы мен түзетуі, клинкерді күйдіру және салқындату, клинкерді қоспалармен ұнтақтау болып табылады. Цемент клинкерін алу үшін табиғи шикізат ретінде әк (CaCO_3), сазды жыныс және темірлі қоспалар пайдаланылады [107].

Ең көп энергия қажет ететін және экологиялық тұрғыдан ластайтын операция – клинкерді күйдіру. 900–1000°C температурада күйдіру кезінде әк мынадай реакцияға түседі:



Шығарылған CO_2 қоршаған ортаны ластайды. Сонымен қатар, отынның жануы кезінде де CO_2 бөлінеді. Әктастан бөлінген CaO 1100–1450°C температурада кремний, алюминий және темір оксидтерімен әрекеттеседі. Нәтижесінде негізгі клинкер минералдары – алит, белит, үшкальцийлі алюминат және төрткальцийлі алюмоферрит түзіледі. Олар цементтің гидратациясы мен қату процесін қамтамасыз етіп, кальций гидросиликаттары, гидроалюминаттар, гидроалюмоферриттер, гидросульфоалюминаттар және $\text{Ca}(\text{OH})_2$ түзеді. Бұл жаңа гидраттық қосылыстар цемент тасын қатайтып, бетон және темір-бетон өнімдері мен конструкцияларының ұзақ мерзімді беріктігі мен төзімділігін қамтамасыз етеді.

CO_2 шығарындыларын азайту үшін клинкерді күйдіруге арналған отын шығынын төмендету қажет, сондай-ақ белсенді минералдық қоспаларды қолдану арқылы цементтегі клинкер үлесін азайтуға болады.

Цемент өнеркәсібі көп тоннаждық болғандықтан, Оңтүстік Қазақстанда жиналған әртүрлі өнеркәсіп қалдықтарын тиімді пайдаға жарату мүмкіндігі бар (46-кесте). Бұл бірнеше міндеттерді бір уақытта шешуге мүмкіндік береді:

- атмосфераға CO_2 шығарындыларын азайту;
- қалдықтарды пайдаға жарату және қоршаған ортаға антропогендік әсерді төмендету;
- портландцемент өндіріс технологиясын интенсификациялау;
- клинкерді күйдіруге арналған отын шығынын азайту және пештердің өнімділігін арттыру;
- цементтегі клинкер үлесін азайту және өнімнің өзіндік құнын төмендету.

Ғылыми зерттеулер мен цемент зауыттарында тәжірибелік өндірістік сынақтардың нәтижесінде клинкер мен цемент алуда ең тиімді шикізаттар ретінде Ачисай металлургия зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкері, электротермофосфорлық шлактар, Ленгер шахтасының көмір қалдықтары, қорғасын шлактар, ТЭЦ күл-шлактар, Састөбе әк ұнтағы қалдықтары және т.б. анықталды.

Минералдық қалдықтар кадастры, қол жеткізілетін технологиялық және экологиялық әсерлер, ұсынылатын енгізу және кәсіпорындар 46-кестеде берілген.

Кесте 46 – Цемент өндіруге жарамды Оңтүстік Қазақстанның минералды қалдықтарының кадастры

Атауы қалдық тардың пайда болу орны	Көлемі, млн. тонна	Химиялық құрамы, %	Мақсаты, қол жеткізілген технологиялық және экологиялық әсер	Енгізу орны	Ұсынылатын енгізу %, зауыт
1	2	3	4	5	6
1. Ачисай металлургия зауытының мырыш кендерін илеу клинкері	4,6	SiO ₂ ~27,55 CaO~17,33 Fe ₂ O ₃ ~33,5 MgO~6,07 Al ₂ O ₃ ~5,7 4 Көміртегі~10-20	1. Толық темір компонентін шикізат қоспасынан алмастыру, алюмосиликаттық және карбонаттық компоненттердің бөлікті алмастырылуы, шикізат қоспасына 2-4% көмірді қосу. 2. Клинкерді қыздырудағы отын шығынын 10-15% төмендету. Қыздыру процесіне минерализациялық әсері мен карбонатты емес әктас қосудың арқасында пештің өнімділігін 2-3% арттыру.	Шикізат диірмен, декарбонизатор	3-12% ЖШС «Шымкентцемент», ЖШС «Стандарт Цемент», ЖШС «Састобе Технолоджис», ЖШС «Гежуба Шиели Цемент»
2. Электро термофос фор шлактары. Шымкент қ. "Фосфор" ТЖКБ, Тараз қ. ҚДФЗ	35-40	SiO ₂ ~40 CaO~40 P ₂ O ₅ ~1-2,5 F~1-2	1. Минералдық белсенді қоспаны портландцементті және шлакопортландцементті ұсақтауда қолдану. Цементтегі клинкер үлесін азайту. CO ₂ зиянды шығарындыларын төмендету.	Цемент диірмені	Минералды қоспасы бар ПЦ үшін 10-20%, ШПЦ үшін 21-40% АҚ «Шымкентцемент», ЖШС «Стандарт Цемент», ЖШС «Састобе Технолоджис»
			2. Шикізат қоспасындағы саз компонентін толық, ал карбонат компонентін ішінара алмастыру. Отын шығынын азайту, пештің өнімділігін арттыру. CO ₂ зиянды шығарындыларын азайту.	Шикізат диірмені	15-35% АҚ «Шымкентцемент», ЖШС «СтандартЦемент», ЖШС «Састобе Технолоджис»
			3. Клинкерді күйдіру минерализаторы, күйдіру температурасын төмендету, пештің өнімділігін арттыру, отын шығынын және CO ₂ шығарындыларын азайту.	Шикізат диірмені, Айналма лы пеш	5-10% АҚ «Шымкентцемент», ЖШС«СтандартЦемент», ЖШС «Састобе Технолоджис»
			4. Пештің суық ұшынан қосымша қоректендіру. Әсері 2 және 3 тармақтарымен ұқсас.	Айналма лы пеш	15-20% ЖШС «Састобе Технолоджис»
			5.Аралас байланыстырғыш материалдарды алу. Қалдықтарды пайдаға жарату, жаңа материалдар алу.	Цемент диірмені	50-80% жаңа кәсіпорындар мен тұтастырғыш өндірістер

46-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
			6. Шлак-сілтілі байланыстырғыш заттарды алу. Қалдықтарды пайдаға жарату, жаңа материалдар алу.	Цемент диірмені	70-90% жаңа кәсіпорындар мен тұтастырғыш өндірістер
3. Қорғасын шлагы	8-10	SiO ₂ ~23-26 CaO~14- 15,8 Fe ₂ O ₃ ~32- 38 Al ₂ O ₃ ~4-7	1. Клинкерді алу үшін шикізат қоспасындағы түзеткіш темір қоспасын ауыстыру	сырьевая мельница	3-10% АҚ «Шымкентцемент», ЖШС «СтандартЦемент», ЖШС«Састобе Технолоджис»
			2. Клинкерді күйдіру минерализаторы. Күйдіру температурасының төмендеуі, пештің өнімділігінің жоғарылауы, отын шығыны мен CO ₂ шығарындыларының төмендеуі	Шикізат диірмені, Айналма лы пеш	
			3. Пештің суық ұшынан қосымша қуат. Әсер 1 және 2- тармақтарға ұқсас.	Айналма лы пеш	
4. ЖЭО мен қазандықтар дың күл шлактары	2-4	SiO ₂ ~47-53 CaO~2-3 Fe ₂ O ₃ ~12- 15 Al ₂ O ₃ ~24	1. Сазды компонентті күл-шлак қалдықтарымен ауыстыру шикізатты ұнтақтауға электр энергиясын тұтынуды 5-10% - ға азайтуға, таралуын арттыруға және шламның ылғалдылығын 2-4% - ға төмендетуге мүмкіндік береді, отын шығынын 3-5% - ға төмендеткен кезде пештің өнімділігі 3-5% - ға артады.	Шикізат диірмені	ЖШС «Састобе Технолоджис»
			2. Аралас тұтастырғыш заттарды алу	Цемент диірмені	тұтастырғыш заттарды шыға ратын жаңа кәсіпорындар мен өндірістер
5. Көмір өндіру қалдықтары Ленгер	12-15	SiO ₂ ~54- 56,5 CaO~3-5 Fe ₂ O ₃ ~2-3 Al ₂ O ₃ ~8- 11 MgO~1	1. Шикізат шихтасының сазды компонентін толық ауыстыру 20-25%, шихтаның құрамына көмірді 2-4% енгізу. Клинкерді күйдіру үшін отын шығынын 10-15% төмендету. Шикізат шламының ылғалдылығын 2-4% төмендету. Шикізат диірменінің өнімділігін арттыру. Шламның ылғалдылығын төмендету арқылы пештің өнімділігін 2-3% арттыру.	Шикізат диірмені	"Састөбе Технолоджис" ЖШС шикізат диірменіне 15-25 мөлшерінде енгізілсін %
6. Әктас ұсақ тау қалдықта ры "Састөбе Технолоджис " ЖШС	3-4	SiO ₂ ~10-11 CaO~47-48 Fe ₂ O ₃ ~0,74 MgO~1,0 Al ₂ O ₃ ~1,47	1. Шикізат шихтасының карбонатты компонентін ауыстыру ішінара немесе толық	Шикізат диірмені	60-80% ЖШС «Састөбе Технолоджис»
			2. Композициялық цемент алу	Цемент диірмені	3-5% ЖШС «Састөбе Технолоджис»

4.2 Карьерлік шикізатты өнеркәсіптік қалдықтармен толық ауыстыру кезінде портландцемент өндірісінің энергия-ресурс үнемдеуші технологиясының технологиялық схемасын әзірлеу

Қазақстан Республикасында цемент өндірісіне ерекше көңіл бөлінеді. Цемент – еліміздегі ішкі құрылыс қажеттілігін толық қамтамасыз ететін бірнеше материалдардың бірі. Түркістан облысында республикадағы 17 цемент зауытының 3-і орналасқан, олардың жалпы өндірістік қуаты 3,5 млн. тоннадан астам цементті құрайды. Сондай-ақ осы және көрші өңірлерде цемент пен басқа құрылыс материалдарын өндіруге жарамды техногендік шикізаттың ірі көздері орналасқан. Бұл қалдықтардың тастамалары үлкен аумақтарды алып, қоршаған ортаны ластап, табиғатқа және халықтың денсаулығына қайтымсыз зиян келтіреді.

Біз көп тоннаждық өнеркәсіп қалдықтарын портландцемент өндірісінде шикізат, белсенді минералдық қоспалар, күйдіру минерализаторлары, цемент ұнтақтау интенсификаторлары және альтернативті отын ретінде тиімді және рационалды пайдалану жөнінде бірқатар зерттеулер жүргіздік [108].

Белгілі [2, с. 3-442] болғандай, портландцемент – цемент клинкерінің және табиғи қос суы бар гипстің бірлескен ұсақ ұнтақталуынан алынатын өнім. Қосымша цементтерді алғанда клинкер ұнтақтау кезінде 20%-ға дейін белсенді минералдық қоспалар енгізіледі, ал шлакпортландцементтер мен композициялық цементтерде белсенді минералдық қоспалардың мөлшері 70–90%-ға дейін жетеді. Минералдық қоспалар табиғи немесе жасанды болуы мүмкін.

Портландцемент клинкерін алу үшін шикізат қоспасы әдетте карбонаттық, алюмосиликаттық компоненттер мен түзетуші, көбіне темірлі қоспадан тұрады. Компоненттердің мөлшері шамамен мынадай аралықта өзгереді: карбонаттық – 70-75%, алюмосиликаттық – 15-25%, түзетуші қоспа – 4-8%.

Әртүрлі типтегі қалдықтар цемент өндірісінде табиғи шикізат пен қазба отынның орнын ауыстыра алады. Оларды рационалды пайдалану бір жағынан табиғи ресурстарды сақтау, екінші жағынан клинкер мен цемент өндірісіндегі материалдық және энергия шығынын төмендетуге мүмкіндік береді.

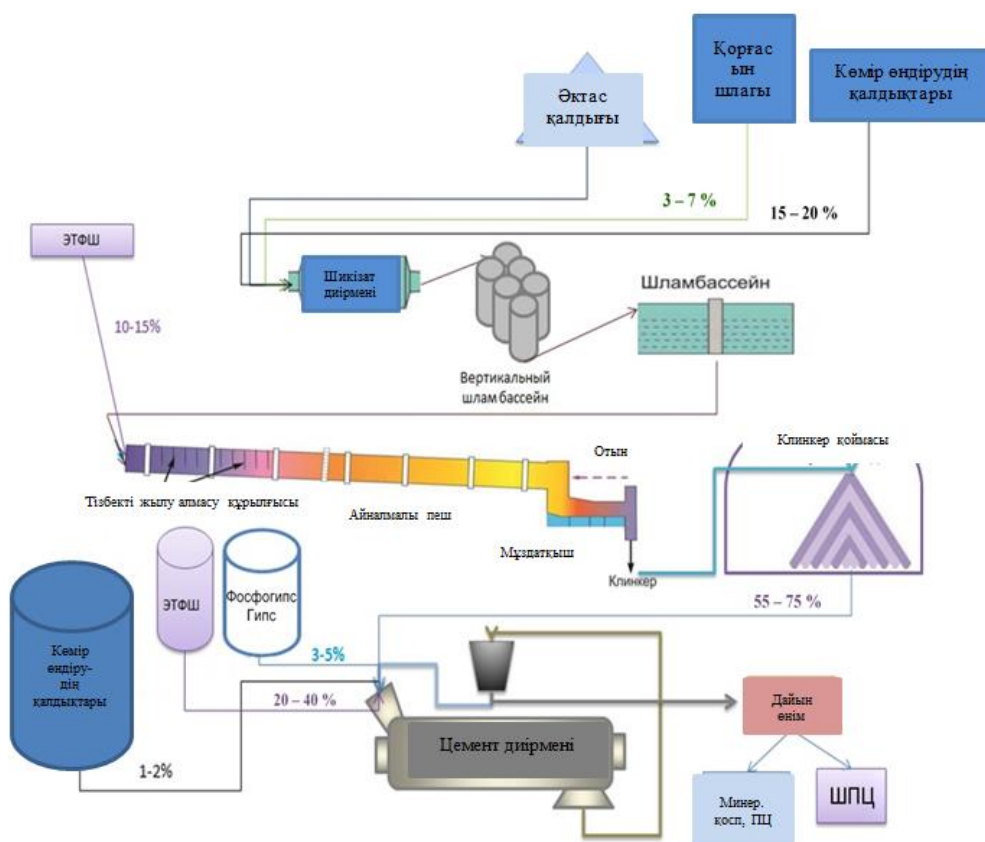
Бұрын біз өнеркәсіптік қалдықтардың химиялық-минералогиялық құрамын зерттеп, оларды цемент өндірісінде қолдануға болатындығын анықтадық.

Зерттелген өнеркәсіптік қалдықтардың жылу өңдеуден өткен түрлері – электротермофосфорлық (ЭТФШ) және қорғасын шлактар грануланған материал болып, дәндерінің өлшемі 2–5 мм-ге дейін жетеді. Қалдықтар жақсы тасымалданады, оңай мөлшерленеді, цемент өндірісінде қолдану технологиялық қиындық туғызбайды. Грануланған фосфор шлактарын белсенді минералдық қоспа ретінде қолданған жағдайда, оларды алдын ала кептіргіш барабанда 1–2% қалған ылғалдылыққа дейін кептіру қажет (әсіресе күз-қыс кезеңінде).

Әктен ұсақтау қалдықтары, Састөбе алюминий құрамды қоспасы, Ленгер шахтасының көмір қалдықтары да технологиялық жағынан ыңғайлы. Бұл қалдықтарды тиеу, тасымалдау және мөлшерлеу қиындық тудырмайды.

Біздің зерттеулеріміз көп энергияны қажет етпейтін цемент клинкерлерін өндіру мүмкіндігін көрсетті, мұнда шикізат қоспаларына әктен ұсақтау қалдықтары, Ленгер шахтасының көмір қалдықтары, тефритті базальттар және қорғасын шлактар қосылады. Клинкер түзілу процестері 1300–1350°C температурада аяқталады. Бұл клинкерді күйдіруге арналған отын шығынын азайтуға, атмосфераға CO₂ және NO_x шығарындыларын төмендетуге, техногендік өнімдерді қайта өңдеуге және қоршаған ортаны қорғауға мүмкіндік береді. Шикізат қоспаларының оңтайлы құрамында қанықтылық коэффициенттері 0,9–0,92, n = 2,5–2,7, p = 1,28–1,52 деңгейінде болады.

Біз әртүрлі өндірістік қалдықтарды утилизациялау үшін технологиялық схемалардың бірнеше нұсқаларын жасадық, оларды ылғалды және құрғақ әдіспен жұмыс істейтін зауыттарда қолдануға болады. ТОО «Састөбе Технолоджис» үшін жасалған схема бойынша: карбонаттық компонент ретінде – әктен ұсақтау қалдықтары [108], алюмосиликаттық компонент ретінде – Ленгер шахтасының көмір қалдықтары немесе Састөбе алюминий құрамды қоспасы (жер қыртысы), түзетуші қоспа ретінде – Шымкент қорғасын зауытының грануланған шлактары немесе Ачисай металлургия зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкері пайдаланылады (16-сурет).



Сурет 16 – Карьерлік шикізатты өнеркәсіптік қалдықтармен толық ауыстыру кезінде портландцемент өндірісінің энергия - ресурс үнемдеу технологиясының технологиялық схемасы ("Састөбе Технолоджис" ЖШС-не қатысты)

Электротермофосфорлық шлак 10–15% мөлшерде пештің суық ұшынан қосымша қоректендіру ретінде және портландцемент пен шлакпортландцементті ұнтақтауда белсенді минералдық қоспа ретінде енгізіледі. Фосфорлық және қорғасын шлактар клинкерді күйдіру процесіне минералдандыру әсерін тигізіп, жентектелу температурасын төмендетеді, форсункалы отын шығынын азайтады және пештің өнімділігін арттырады.

Осылайша, өнеркәсіп қалдықтарының химиялық-минералогиялық құрамы зерттеліп, олардың цемент өндірісінде қолдану мүмкіндігі анықталды. ТОО «Састөбе Технолоджис» жағдайында әктен ұсақтау қалдықтары, Састөбе алюмосодержащий қоспасы, Ленгер шахтасының көмір қалдықтары, электротермофосфорлық шлактар – альтернативті шикізат ретінде, ал қорғасын шлактар мен Ачисай металлургия зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкері – түзетуші қоспа ретінде клинкер өндіруде қолдануға болатыны анықталды [108].

Сонымен қатар, Оңтүстік Қазақстандағы көп тоннаждық қалдықтарды портландцемент өндірісінде шикізат, белсенді минералдық қоспалар, клинкерді күйдіру минерализаторлары, цемент ұнтақтау интенсификаторлары және альтернативті отын ретінде рационалды утилизациялау бойынша технологиялық схема әзірленді. Сонымен бірге, көп тоннаждық өнеркәсіп қалдықтарын пайдалана отырып, жалпы құрылыс және арнайы цементтерге арналған экологиялық таза, аз энергия тұтынатын шикізат қоспалары жасалды. Бұл өңірлік экологиялық мәселелерді шешуге мүмкіндік береді, себебі отын шығынын азайту және қалдықтарды қайта өңдеу арқылы CO₂ шығарындылары төмендейді.

Портландцемент алу үшін дайын клинкер, гипс немесе фосфогипс 3-5%, ЭТФШ минералды қоспасы бар ПЦ үшін 10-20%, ШПЦ алу үшін 21-40% ұнтақталады. Сонымен қатар, 1-2% мөлшерінде көмір өндіретін қалдықтарды ұнтақтау интенсиваторы ретінде цемент диірменіне ұнтақтауға беруге болады.

4.3 Маркерлерді, сондай-ақ цемент өндірісінің аз энергияны қажет ететін «жасыл» технологиясының экологиялық және технологиялық тиімділігінің көрсеткіштерін тандау және негіздеу

Қазақстан Республикасының «Цемент және әк өндірісінде ең үздік қолжетімді технологиялар бойынша Справочник» әзірлеу барысында «Кәсіпорында қолданылатын техникалық әдістерді ең үздік қолжетімді техникаларға (технологияларға) жатқызу бойынша әдістемелік нұсқаулар» әзірленді:

1. Мақсаты:

1.1. Осы әдістемелік нұсқаулар әрбір нақты кәсіпорын үшін өндірістік процестерді, жабдықтарды, техникалық әдістерді, тәсілдер мен құралдарды ең үздік қолжетімді технологияға жатқызу тәртібін реттейді.

2. Терминдер, анықтамалар және қысқартулар:

2.1. Ең үздік қолжетімді технология (ЕҮҚТ) – бұл қызмет түрлерін және олардың жүзеге асырылу әдістерін дамытудың ең тиімді және заманауи сатысы, ол белгілі технологиялардың шекті шығарындылар мен басқа да рұқсат етілген

талаптарды орындауға жарамдылығын, қоршаған ортаға әсерді алдын алу немесе оны төмендету қабілетін көрсетеді.

2.2. Техникалық әдістер – нысанның жобалануы, салынуы, эксплуатациясы және пайдаланудан шығарылуы кезінде қолданылатын технологиялар мен әдістер.

2.3. Қолжетімді – экономикалық және техникалық тұрғыдан негізділікке сәйкес, шығындар мен артықшылықтарды ескере отырып, тиісті өнеркәсіп секторында енгізілу мүмкіндігі бар техникалық әдістер.

2.4. Ең үздік – қоршаған ортаны қорғаудың жалпы жоғары деңгейіне қол жеткізуге бағытталған, ең тиімді тәсілге негізделген техникалық әдістер.

3. Жауапкершілік пен өкілеттілік:

3.1. ЕҮҚТ таңдау және қолдану үшін жауапкершілік кәсіпорын басшысында.

3.2. ЕҮҚТ енгізу және жұмыс істеу үшін жауапкершілік кәсіпорынның техникалық басшысында.

3.3. ЕҮҚТ-ні тоқтату және утилизациялау үшін жауапкершілік кәсіпорын басшысында.

4. Жұмысты жүргізу тәртібі:

4.1. ЕҮҚТ енгізу кәсіпорынның қоршаған ортаға әсерін азайтуға бағытталуы тиіс, бұл келесі үш шығарындылар элементіне қатысты болуы мүмкін:

- атмосфера (шығарынды түрінде);
- гидросфера (ағыстар түрінде);
- литосфера (қалдықтар түрінде), сонымен қатар физикалық әсерлерді (сәуле, шу, діріл және т.б.) ескере отырып.

4.2. Әр кәсіпорын үшін ең үздік қолжетімді технология – кәсіпорын өндірістік қызметі немесе апатты жағдайлар салдарынан қоршаған ортаға шығарындылар мөлшерін азайтатын технология.

4.3. ЕҮҚТ құжаттамасы төмендегідей шарттардың біріне немесе бірнешеуіне сай болуы тиіс:

- технологияны енгізу арқылы қалдықтар мөлшері мен қауіптілігін минимизациялау;
- өндіріс процесінде адамға және қоршаған ортаға ең аз қауіпті жабдық пен материалдарды қолдану;
- өндірісте қолданылатын заттарды қайта өңдеу және қалдықтарды екінші шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігі;
- шығарындылар мөлшерін шартты тоннаға (1/ШДҚ) төмендету;
- бастапқы шикізат тұтынуды, оның ішінде энергия, су, пайдалы қазбалар мен олардың туындыларын азайту;
- өндірістің энергия тиімділігін арттыру;
- жабдықтың қызмет ету мерзімін ұлғайту;
- өнім бірлігіне шаққандағы шығарындыларды азайту;
- авария және қоршаған ортаны ластаудың ықтималдығын төмендету;

авариялық жағдайлардан кейін аумақты тазарту технологияларын енгізу;

– энергия, су, шикізат және шығарындыларды арттырмай өндірістік қуатты арттыру.

4.4. Әр кәсіпорында қолданылатын ЕҮҚТ келесі талаптарға сай болуы тиіс:

- қолжетімді, әзірленген және енгізуге дайын;
- техникалық жүзеге асырылатын және экономикалық тиімді;
- енгізу мерзімі сегіз календарлық жылдан аспауы;
- енгізу жоспары нақты кезеңдер мен мерзімдерді көрсетуі тиіс;
- отын мен шикізатты жеткізу, сақтау және қалдықтарды экологиялық зиянсыз утилизациялау концепциясы болуы;

– бір элементке әсерді азайту арқылы басқа элементке (атмосфера, гидросфера, литосфера, физикалық әсерлерді қоса) теріс әсерін арттырмау, немесе егер технология әсерді көшіруді көздесе, қоршаған ортаға келетін зиян мөлшерін ескеру.

4.5. Әр кәсіпорында қолданылатын ЕҮҚТ келесі факторларды ескеруі тиіс:

- кәсіпорынның орналасқан жері;
- көрші аумақтардағы халық саны;
- қолданылатын энергия, су, отын және шикізат түрлері мен мөлшері, олардың қолжетімділігі мен тасымалдану мүмкіндігі;
- кәсіпорынның қолданыстағы технологиялық схемасы және жабдық орналасуы;
- жабдықтың 100% жүктемесі үшін шикізат жеткізу мүмкіндігі;
- ЕҮҚТ жалпы құны (жобалау, енгізу, эксплуатация, тоқтату және утилизация шығындарын қосқанда);
- баламалы ЕҮҚТ нұсқаларының болуы;
- соңғы өнімнің бағасы, қызметтердің бәсекеге қабілеттілігі және сұранысы.

4.6. ЕҮҚТ енгізуді жоспарлаған кәсіпорында қоршаған ортаны басқару жүйесі болуы тиіс (PDCA принципі: Жоспарла – Орында – Тексер – Іс-қимыл жас).

4.7. ЕҮҚТ енгізілгеннен кейін кәсіпорын шығарындылары Қазақстан Республикасының ұлттық стандарттарында белгіленген нормативтерден аспауы тиіс.

4.8. Белгілі бір кәсіпорынға арналған ЕҮҚТ таңдау ұсынылатын кесте осы әдістемелік нұсқаулардың Қосымша 1-де берілген.

5. Процесс тәуекелдері:

5.1. Процесс тәуекелдері және оларды алдын алу шаралары 47-кестесінде көрсетілген.

Кесте 47 – Процестің анықталған тәуекелдері және тәуекелдерді болдырмау шаралары

Анықталған тәуекелдер	Тәуекелдерді алдын алу шаралары:
Ұлттық стандарттарға сәйкес келмейтін ЕҮОТ-ді жобаны аяқтау күніндегі қолдану:	Мемлекеттік органдардың электрондық сақтау жүйесін іске асыру, онда ЕҮОТ анықтамалықтарымен қатар қолданыстағы ұлттық стандарттар мен жаңа стандарттарды әзірлеу немесе қолданыстағы стандарттарды жетілдіру жоспарлары сақталады.
Өнімнің өзіндік құнының өсуі, ЕҮОТ енгізу кезінде бірлік өнімге арналған энергия, су, отын, шикізат және эмиссияның ерекше нормаларының артуы	Қолданылатын ЕҮОТ-лерді экономикалық тиімді нұсқаларын есепке ала отырып, олардың енгізу тиімділігін және мүмкін баламаларын талдау.
ЕҮОТ енгізу кезінде кәсіпорынның оптималды емес шығындары.	Нақты ЕҮОТ-лерді енгізу бойынша жабдық, өнім, жұмыстар мен қызметтерді ұсынатын ұйымдардың толық тізімін жыл сайын қайта қарау және жариялау. Белгілі бір ЕҮОТ-лерді енгізген кәсіпорындардың тізімін және олардың енгізуге дейінгі және кейінгі эмиссия нәтижелерін жариялау

4.4 Карьерлік шикізатты өнеркәсіптік қалдықтармен толық ауыстыру кезінде портландцемент өндірісінің энергия-ресурс үнемдеу технологиясының технологиялық регламентін әзірлеу

ТОО «Састөбе Технолоджис»-тегі клинкер және цемент өндірісі технологиялық регламентке сәйкес дәстүрлі шикізаттар – әк, лесс және түзетуші қоспа – темір рудаларын пайдалану арқылы жүзеге асырылады [108].

Біз портландцемент пен сульфатқа төзімді цемент өндірісіне арналған аз энергиялы, ресурстарды үнемдейтін технологияны әзірледік, онда цемент клинкерін алу үшін қолданылатын барлық дәстүрлі шикізаттар көп тоннаждық өнеркәсіп қалдықтарымен алмастырылған [88, р. 257-1-257-17; 89, с. 215-218; 97, с. 147-155].

Аз энергиялы ресурстар үнемдейтін технологияның мәні – цемент клинкерін алу үшін дәстүрлі шикізаттардың орнына ТОО «Састөбе Технолоджис» қасындағы техногендік қалдықтарды пайдалану.

Клинкер өндірудің бастапқы технологиялық операциясы – шикізаттарды дайындау. Әктен ұсақтау қалдықтары самосвалдар арқылы зауыттың шикізат цехына жеткізіледі. Содан кейін әктен ұсақтау қалдықтары, Ленгер шахтасының көмір қалдықтары және қорғасын шлактары трубалық балшықтағыштарда ұсақталады. Балшықтағышқа әктен, көмір қалдықтары және шлак, сонымен қатар су қажетті химиялық құрамға сәйкес доза бойынша енгізіледі, бұл жалпы құрылыс цементтері мен арнайы сульфатқа төзімді портландцемент клинкерлерінің талаптарына сәйкес келеді. Су мөлшері 2-3% азайтылуы қажет, себебі көмір қалдықтары шламды сұйылтады. Дайындалған шлам – 60–70 мм ағып тұратын шлам тәрізді масса – насос арқылы вертикальды бассейндерге бағытталады әрі қосымша түзету жүргізіледі. Түзетілген шлам горизонтальды бассейнге құйылып, одан насос және дозирлеу құралдары (ағын

өлшегіштер) арқылы біркелкі түрде айналмалы пешке жеткізіледі. Пеш айналған кезде ішіндегі материалдар суық ұшынан ыстық ұшына қарай жылжиды. Отын (көмір) жану аймағында ең жоғары температура дамып, клинкер түзілуге әкелетін химиялық реакциялар аяқталады.

Ресурстар үнемдейтін аз энергиялы шикізат қоспасының күйдіруінде клинкер түзілу процестері шамамен 100°C төмен температурада жүреді, сондықтан форсункалы отын шығынын азайту қажет. Көмір қалдықтары шикізат қоспасына 2,5–3% мөлшерде енгізілетіндіктен отын шығынын төмендету міндетті. Сонымен қатар, пештің өнімділігін арттыру үшін оның коректенуін көбейту қажет, себебі техногендік шикізат құрамында карбонат аз. Пештен кейін клинкер салқындатқышқа жіберіледі. Салқындаған клинкер қоймаға жеткізіліп, одан цемент балшықтағыштарға тікелей ұнтақтауға жіберіледі. Клинкер гипс және қажетті қоспалармен бірге ұнтақталады. Бірлескен ұнтақтау нәтижесінде цемент – соңғы өнім – алынады. Ұнтақталған цемент силос қоймасына тасымалданады:

I. Клинкер өндірісіне арналған шикізат:

1.1. Састөбе әктас қалдығы	ОҚО, Састөбе кен орнының карьерінің үйіндісі, «Састөбе Технолоджис» ЖШС	клинкердің кг/тн	1249-1284
1.2. Қорғасын шлак	Қазақстан Республикасы Шымкент қ.	клинкердің кг/тн	86-88
1.3 Көмір өндірудің қалдықтары	Қазақстан Республикасы ОҚО, Ленгер қ.	клинкердің кг/тн	113-123

II. Цемент өндіруге арналған шикізат

2.1. Гипстасы	Қазақстан Республикасы МемСТ 4013- кг/тн 60-80
1. Тараз: «ТКСМ-13» ЖШС	2019 цемент

Минеральные добавки

2.2 Түйіршікті электро-тер мо фосфорлы – шлактар	Қазақстан Республикасы МемСТ 3476- кг/тн 150-600
1. Тараз: «ТКСМ-13» ЖШС	2019 цемент

III. Процесс күшейткіштері

3.1 ММС	Қазақстан Республикасы Шымкент: «Гелийэкспресс» ЖШС	кг/тн цемент	0,25-0,3
---------	---	--------------	----------

Өнім номенклатурасы

1. Сульфатқа төзімді портландцемент Қ0	СТПЦ 400 МемСТ 22266-2013 Сульфатқа төзімді цемент	Цемент навал түрінде, қаптар да және биг-бэг
2. Сульфатқа төзімді портландцемент Қ20	СТПЦ 400 Техникалық шарттары	Каптамаларында жөнелтіледі
3. Портландцемент ЦЕМ I	МемСТ 31108-2020 Жалпы құрылыс цементтері Техникалық шарттар	Цемент навал түрінде, қаптар да және биг-бэг каптамаларында жөнелтіледі
4. Цем II/а-III қоспалары бар портландцемент	МемСТ 31108-2020	Цемент навал түрінде, қаптар да және биг-бэг

5. Шлакопортландцемент ЦЕМ III /A	МемСТ 31108-2020 Тұтыну нормалары	каптамаларында жөнелтіледі Цемент навал түрінде, каптар да және биг-бэг каптамаларында жөнелтіледі
-----------------------------------	--------------------------------------	--

Үш компонентті ресурс-энергия үнемдейтін шикізат қоспасын есептеу

атауы	құрамындағы оксидтер, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	кксж	басқалар
Әктас қалдықтары	9,63	1,72	1,26	46,0	0,55	1,15	36,2	3,49
Көмір өндірудің қалдықтары	55,50	10,60	2,01	3,21	0,7	0,79	24,08	3,11
Қорғасын шлак	23,91	5,25	38,12	15,09	2,97	3,84	–	10,82

Энергия үнемдейтін шикізат қоспасындағы материалдардың пайызы

Әктас	84,29	көмір	өндірудің	7,22	қорғасын шлак, %	5,79
қалдықтары, %		қалдықтары, %				

Ресурс-энергия үнемдейтін Шикізат қоспасының химиялық құрамы

Шикізат қоспасы	100%	13,77	2,57	3,69	41,0	0,72	1,3	33,02	3,94
-----------------	------	-------	------	------	------	------	-----	-------	------

Ресурс-энергия үнемдейтін шикізат қоспасынан клинкердің химиялық құрамы

Клинкер	100%	20,56	3,84	5,51	61,22	1,07	1,94	–	5,88	0,92	2,2	0,7
---------	------	-------	------	------	-------	------	------	---	------	------	-----	-----

Ресурс-энергия үнемдейтін шикізат қоспасынан клинкердің минералогиялық құрамы

C ₃ S – 59,37	C ₂ S – 14,14	C ₃ A – 0,81	C ₄ AF – 16,74
--------------------------	--------------------------	-------------------------	---------------------------

Жалпы құрылыс және сульфатқа төзімді цементтерге арналған материалдар

Цемент	Сульфатқа төзімді портландцемент СТПЦ 400 Қ0	Сульфатқа төзімді портландцемент СТПЦ 400 Қ20	Портландцемент ЦЕМ I ЦЕМ II/A-III	Технологиялық шығындар кг/т цем
--------	--	--	--------------------------------------	---------------------------------------

1. Клинкер	кг/тн. ц.	935	735	935	735	3
2. Гипс тасы	кг/тн. ц.	65	65	65	65	3
3. Фосфорлы шлак	кг/тн. ц.	–	200	–	200	3
4. Ұнтақтау күшейткіші	кг/тн. ц.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,01

Отын түрі

Майқұдық кен орнының тас көмірі, калориялық құндылығы күлділігі Ұшпа 33-34%
4940-5200 ккал / кг 20,10%

Отынның барлығы	1. Клинкерді күйдіру	шарт.отын.кг	219,5
	2. Шлакты кептіру	тн.цем.	10
	3. Көмірді кептіру	тн.цем.	20
көмір	кг.шарт.отын.	219,5	
	тн.цем.		
	кг. табиғи. отын	307,8	

Электр энергиясы

Электр энергиясы барлығы кВт·сағ/тн. цем. 120

4.5 Мырыш кендерін вельцилену клинкерінің дозиметриялық бақылауы

Түркістан облысы бойынша ҚР Денсаулық сақтау министрлігінің «Ұлттық сараптама орталығы» РГП-ның филиалының Шымкент қалалық бөлімшесінде Ачисай металлургиялық зауытының мырыш кендерін вельцилеу клинкеріне дозиметриялық бақылау жүргізілді.

Радиологиялық зертханаға ДКС АТ 1123 №52912 құрылғысы көмегімен мырыш кендерін вельцилеу клинkerінің үлгілерінің гамма-сәулеленуінің ағымды тиімді дозасы (АТД) өлшенді.

Зерттеу ҚР Денсаулық сақтау министрлігінің 25.08.2022 жылғы №ҚР ДСМ–90 Бұйрығымен бекітілген нормативтік құжаттар мен санитарлық ережелерге сәйкестігін анықтау мақсатында жүргізілді [109].

Дозиметриялық бақылау хаттамасы №49-пл-д/РО-25-01772 (Қосымша Ә) бойынша келесі деректер алынды (48-кесте).

Кесте 48 – Өлшеу нәтижелері

Өлшеулер жүргізілетін орын	Дозаның өлшенген қуаты (мкЗв/сағ, н/сек)			НД Сынақ әдісіне	Рұқсат етілген доза қуаты (мкЗв/сағ, н/сек)		
	на высоте от пола (грунта)						
	1,5 м	1 м	0,1 м				
Ұсынылған сынама-мырыш кендерін вельцилеу клинkerінің үлгісі	-	-	0,15	СП, утв. Приказом МЗ за №ҚР ДСМ-90 от 25.08.2022г.	-	-	0,2+фон

Осылайша, мырыш кендерін вельцилеу клинkerінің үлгісінде өлшенген сәулелену дозасының күші 0,15 мкЗв/сағ, н/с болып шықты, бұл радиациялық қауіпсіздік нормаларына сәйкес келеді. Қабылданған дозаның шекті күші 0,2 + фон (мкЗв/сағ, н/с) құрайды.

4.6 Энергия – ресурс үнемдеу технологияларын пайдалану кезінде СО₂ шығарындыларын есептеу

Көмірқышқыл газын (СО₂) шығарындыларын есептеу Қазақстан Республикасы Экология және су ресурстары министрінің 2014 жылғы 12 маусымдағы № 221-Ө бұйрығына қосымша № 6 «Цемент өндірісінің кәсіпорындарынан атмосфераға ластаушы заттардың шығарындыларын есептеу әдістемесі» негізінде жүргізілді [110].

Пеште шикізатты декарбонизациялау кезінде СО₂ шығарындыларын есептеу үшін келесі деректер қажет:

- 1) жылдық клинker өндірісі (т/жыл);
- 2) клинkerдің химиялық құрамы, атап айтқанда СаО және MgO мөлшері (%);
- 3) шикізат компоненттерінің химиялық құрамы, олардың СаО және MgO мөлшері (%);
- 4) клинker өндірісіне жұмсалған шикізат мөлшері (т/жыл).

СО₂ шығарындыларын есептеу кезінде клинker мен шикізаттың барлық көлемдері, сондай-ақ құрамындағы заттардың үлестері тек құрғақ зат негізінде алынады.

Цемент өндірісінен СО₂ шығарындылары мынадан тұрады:

1) пеште шикізатты декарбонизациялаудан туындайтын CO₂ шығарындылары;

2) пеште шикізат құрамындағы органикалық көміртектің тотығуынан туындайтын CO₂ шығарындылары.

Егер кәсіпорында әртүрлі режимде жұмыс істейтін, әртүрлі типтегі клинкер өндіретін және әртүрлі шикізатты пайдаланатын бірнеше технологиялық желі болса, CO₂ шығарындыларын есептеу әрбір технологиялық желі бойынша жеке жүргізіледі. Алынған CO₂ шығарындыларының мән.

1. Көрсеткіш: Пеште шикізатты декарбонизациялаудан шығатын CO₂ шығарындылары:

$$E_{\text{calcin, RM, y}} = \text{CLNK}_y \times \text{EF}_{\text{cli, y}}$$

мұнда $E_{\text{calcin, RM, y}}$ – "y" кезеңінде клинкер өндіру кезінде пеште шикізатты декарбонизациялаудан шығатын CO₂, тонна CO₂-эквивалент;

CLNK_y – "y" кезеңінде өндірілген клинкер мөлшері, тонна;

$\text{EF}_{\text{cli, y}}$ – клинкер өндіру кезінде кальцинациядан шығатын CO₂ коэффициенті, "y" кезеңі, тонна CO₂-эквивалент. Көрсеткіш 5-тармақта берілген формула бойынша есептеледі.

2. Клинкер өндірісінде кальцинациядан шығатын CO₂ коэффициентін анықтау үшін, квоталау субъектісі клинкердегі кальций және магний оксидтерінің құрамын пайдаланады, бұл деректер өндірістік немесе аккредиттелген тәуелсіз зертхана нәтижелеріне сүйенеді. Сондай-ақ, есепте кезінде клинкердегі кальций мен магнийдің некарбонатты көздеріне түзету енгізіледі.

3. Клинкер өндірісінде күл мен шлактар қолданылғанда, бастапқы шикізат некарбонатты кальций және магний оксидтерін қамтиды немесе шикізаттағы табиғи некарбонатты оксидтер бар болса, кальцинациядан шығатын CO₂ коэффициентіне сәйкес түзету енгізіледі (5-тармақ бойынша формула).

4. Клинкердегі кальций және магнийдің некарбонатты көздері – силикаттар арқылы пешке кіретін кальций және магний. Бұл жағдайда да CO₂ шығарындылары коэффициентіне түзету енгізіледі.

Көрсеткіш: Клинкер өндіру кезінде кальцинациядан шығатын CO₂ коэффициенті:

$$\text{EF}_{\text{cli, y}} = \text{MW}_{\text{CO}_2} \left(\frac{f_{\text{CaO, clnk}}}{\text{MW}_{\text{CaO}}} + \frac{f_{\text{MgO, clnk}}}{\text{MW}_{\text{MgO}}} \right) - \text{CORR}_{\text{non-carb, y}} - \text{CORR}_{\text{gil, y}}$$

мұнда $\text{EF}_{\text{cli, y}}$ – «y» кезеңінде клинкер өндіру кезінде кальцинациядан шығатын CO₂ коэффициенті, тонна CO₂-эквивалент/тонна;

MW_{CO_2} – CO₂ молярлық массасы, г/моль;

MW_{CaO} – кальций оксидінің молярлық массасы, г/моль;

MW_{MgO} – магний оксидінің молярлық массасы, г/моль;

$f_{CaO,clnk}$ – клинкердегі кальций оксидінің орташа салмақтық үлесі;
 $f_{MgO,clnk}$ – клинкердегі магний оксидінің орташа салмақтық үлесі;
 $CORR_{non-carb,y}$ – шикізаттағы некарбонатты кальций және магний оксидтеріне түзету, тонна CO₂-эквивалент;

$CORR_{sil,y}$ – силикат кальций және магнийге түзету, тонна CO₂-эквивалент.

5. Шикізаттағы некарбонатты кальций және магний оксидтеріне түзету:

$$CORR_{non-carb,y} = \left(\frac{RM_y \cdot MW_{CO_2}}{CLNK_y} \right) \left(\frac{f_{CaO,rm,y}}{MW_{CaO}} + \frac{f_{MgO,rm,y}}{MW_{MgO}} \right)$$

мұнда $CORR_{non-carb,y}$ – «у» кезеңінде клинкер өндіру үшін қолданылған шикізат мөлшері, тонна;

$f_{CaO,rm,y}$ – шикізаттағы некарбонатты кальций және магний оксидтерінің орташа салмақтық үлестері.

Көрсеткіш зертханалық зерттеулердің нәтижелері бойынша, тәртіппен аккредиттелген өзінің өндірістік немесе тәуелсіз зертханасында айқындалады.

1. Шикізаттағы силикат кальций және магнийге түзету:

$$CORR_{sil,y} = \frac{RM_{sil,y} \times MW_{CO_2}}{CLNK_y} \times \left(\frac{f_{CaO,RM_{CO_2}}}{MW_{Ca}} + \frac{f_{Mg,RM_{sil,y}}}{MW_{Mg}} \right)$$

мұнда $f_{Ca,RM_{sil,y}}$ – «у» кезеңінде клинкер өндірісіне қолданылған силикатты шикізат мөлшері, тонна;

$f_{Mg,RM_{sil,y}}$ – силикат шикізатындағы кальций және магнийдің орташа салмақтық үлесі;

MW_{Ca} – кальцийдің молярлық массасы 40,078 грамм/моль;

MW_{Mg} – магнийдің молярлық массасы 24,305 грамм/моль

Клинкерді өндіру үшін *Кальцийленуден* CO₂ шығарындыларының коэффициентін есептеу кезінде тиісті мән (цемент шаңына түзетусіз) 0,5101 тонна CO₂-эквивалентті құрайды.

7. Пеште шикізаттағы органикалық көміртектен шығатын CO₂:

$$E_{TOC,y} = RM_y \times f_{TOCRM_y} \times \frac{MW_{CO_2}}{MW_C}$$

мұнда $E_{TOC,y}$ – «у» кезеңінде пеште органикалық көміртектен шығатын CO₂, тонна CO₂-эквивалент;

RM_y – шикізаттағы органикалық көміртектің орташа салмақтық үлесі, егер деректер жоқ болса, әдепкі мәні 0,002;

f_{TOCRM_y} – көміртектің молярлық массасы, г/моль.

MW_{CO_2} – қосымшаның 49-кестесіне сәйкес CO₂ молярлық массасы, грамм/моль;

MW_C – көміртектің молярлық массасы, қосымшаның 49-кестесіне сәйкес, грамм/моль. Кәсіпорын шикізаттағы органикалық көміртектің массалық жалпы үлесі үшін әдепкі мәнді 0,002-ге тең қолданады, егер шикізат сипаттамаларына тиісті талдаулар болмаса (50-кесте).

Кесте 49 – Карбонаттың молярлық массасы

Карбонат	Минерал атауы	Молярлық масса	Шығару коэффициенті (тонна CO ₂ /тонна Карбонат)
CaCO ₃	Кальцит немесе аргонит	100,0869	0,43971

Кесте 50 – Клинкер алу үшін материалдарды тұтыну

Атауы	Материалдарды тұтыну / шығару
Әктас қалдықтары	1,1149
Ащысай (шлак) клинкер	0,1747
Лесс	0,1029
Клинкер	1

Шикізаттағы CaO, MgO, Ca және Mg мазмұны туралы мәліметтер (51, 52, 53, 54, 55-кестелер).

Кесте 51 – Шикізат материалдарының химиялық құрамы бойынша деректер

Шикізат ұны	Материалдарды тұтыну, т/жыл	CaO, %	MgO, %	CaO в тоннах	MgO в тоннах	Карбанатсыз кальций оксидінің қосындысы (әктас жоқ)	Шикізаттағы карбонатты емес кальций оксидінің үлесі	Карбанатсыз MgO қосындысы (әктас жоқ)	Шикізаттағы карбонатты емес MgO үлесі	Силикаттағы CaO (саз және құм)	Силикаттағы MgO (шлиан және құм)	CaO в Ca	MgO в Mg	Ca	Mg	Шикізаттағы Ca үлесі	Шикізаттағы Mg үлесі
Әктас қалдықтары	1,07700	54,91	0,290	0,591	0,0031	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ащысай клинкер	0,21400	15,07	5,420	0,032	0,0115	0,0322498	–	0,0115988	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Саз	0,09300	8,89	2,340	0,0082	0,00217	0,0082677	–	0,0021762	–	0,008267	0,00217	–	–	0,006	0,0013	–	–
Қорғасын шлағы	1,38400			0,631	0,0169	0,04052	0,029	0,01378	0,010	0,00827	0,00218	0,7146	0,60304	–	–	0,004	0,001

Кесте 52 – Ащысай клинкерін енгізу кезінде клинкер өндірісі үшін пештегі шикізатты декарбонациялаудан CO₂ шығарындылары

Клинкер саны	Коэффициенті CO ₂ шығарындылары	CO ₂ шығарындылары өндірістен клинкер
1,00	0,466	0,466

Клинкер өндірісі кезінде кальцинациядан шығатын CO₂ шығарындылары. Зауытта 1 тонна клинкерге сәйкес CO₂ шығарындылары коэффициенті 530 кг құрайды. Ачисай клинкерін қосқанда, 1 тонна клинкерге шығатын CO₂ көлемі 64 кг-ға (12,08%) азаяды.

Кесте 53 – Қорғасын шлағын енгізу кезінде CO₂ шығарындыларын есептеу

Атауы	Материалдарды тұтыну / шығару
Састөбе әктас қалдығы	1,12675
Қорғасын шлағы	0,122916667
Лесс	0,126833333
Клинкер	1

Кесте 54 – Шикізаттағы CaO, MgO, Ca және Mg мазмұны туралы мәліметтер Шикізат материалдарының химиялық құрамы бойынша деректер

	Лесс	Қорғасын шлағы	Әктас қалдықтары	Шикізат ұны
1,37650	0,12683	0,12292	1,12675	Материалдарды тұтыну, т/жыл
–	8,89	15,09	54,91	CaO, %
–	2,340	2,970	0,290	MgO, %
0,64852	0,0112	0,0185	0,6186	CaO в тоннах
0,0098	0,0029	0,0036	0,0032	MgO в тоннах
0,0298	0,011275180	0,018548628	–	Қарбанатсыз кальций оксидінің қосындысы (әктас жоқ)
0,022	–	–	–	Шикізаттағы карбонатты емес кальций оксидінің үлесі
0,00662	0,0029678	0,0036507	–	Қарбанатсыз MgO қосындысы (әктас жоқ)
0,005	–	–	–	Шикізаттағы карбонатты емес MgO үлесі
0,01128	0,01127	–	–	Силикаттағы CaO (саз және құм)
0,00297	0,00296	–	–	Силикаттағы MgO (шпиль және құм)
0,714	–	–	–	CaO в Ca
0,6030	–	–	–	MgO в Mg
–	0,008	–	–	Ca
–	0,0018	–	–	Mg
0,006	–	–	–	Шикізаттағы Ca үлесі
0,001	–	–	–	Шикізаттағы Mg үлесі

Кесте 55 – Клинкер өндірісі үшін пештегі шикізатты декарбонациялаудан CO₂ шығарындылары

Клинкер саны	Коэффициенті CO ₂ шығарындылары	CO ₂ шығарындылары өндірістен клинker
1,00	0,488	0,488

55-кестеде, клинker өндірісі кезінде кальцинациядан шығатын CO₂ шығарындылары. Зауытта 1 тонна клинkerге сәйкес CO₂ шығарындылары коэффициенті 530 кг құрайды.

Қорғасын шлактарын шикізат қоспасына коррективтік және минералдандырушы қоспа ретінде қолданғанда, атмосфераға шығатын CO₂ мөлшері 1 тонна клинkerге 42 кг-ға (7,9%) азаяды.

Сондай-ақ, Ачисай клинkerін шикізат қоспасына коррективтік темірлі қоспа ретінде енгізгенде, 1 тонна клинkerге атмосфераға шығатын CO₂ көлемі 64 кг-ға (12,08%) төмендейді.

Қорытынды: Ащысай клинkerі қолданғанда – CO₂ шығарындылары 12,08% азаяды; Қорғасын шлақы қолданғанда – CO₂ шығарындылары 7,9% азаяды.

Бөлім бойынша қорытындылар

1. Жүргізілген ғылыми-зерттеу нәтижелері бойынша Оңтүстік Қазақстандағы цемент өндірісіне жарамды көптоннаждық минералдық қалдықтардың кадастры әзірленді. Клинker мен цемент алуда ең тиімділері – Ачисай металлургиялық зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинkerі, электротермофосфорлық шлактар, Ленгер шахтасының көмір өндіріс қалдықтары, қорғасын шлактары, Састобе әктас ұнтақтау қалдықтары және басқалар. Зерттелген және ұсынылған қалдықтар зиянсыз, технологиялық жағынан ыңғайлы, тасымалдауға қолайлы, оңай дозаланатын және олардың қалдық қоймалары Оңтүстік Қазақстандағы үш ірі цемент зауытына жақын орналасқан.

2. Жүргізілген зерттеулер негізінде «Састобе Технолоджис» ЖШС үшін карьерлік шикізатты өнеркәсіптік қалдықтармен толық ауыстыра отырып, портландцемент өндірісінің энергия-ресурсты үнемдейтін технологиясының технологиялық схемасы әзірленді. Цемент өндірісі көптоннаждық болғандықтан, түрлі өнеркәсіптік қалдықтардың үлкен көлемін пайдалану мүмкіндігі бар. Бұл бірнеше міндеттің бір уақытта шешілуіне мүмкіндік береді:

- қалдықтарды өңдеу, ластануды азайту, қоршаған ортаға түсетін қысымды төмендету;
- портландцемент өндіріс процестерін интенсификациялау;
- портландцементтегі клинker үлесін азайту және өнімнің өзіндік құнын төмендету;
- отын шығынын азайту, CO₂ шығарындыларын төмендету, пештердің өнімділігін арттыру және т.б.

3. Өнеркәсіптік қалдықтарды пайдалана отырып әзірленген аз энергия жұмсайтын «жасыл» цемент өндіріс технологиясының экологиялық және технологиялық тиімділігін бағалайтын маркерлер мен көрсеткіштер таңдалды және негізделді.

4. «Састобе Технолоджис» ЖШС-де карьерлік шикізатты толық ауыстыра отырып, портландцемент және сульфатқа төзімді цемент өндірісінің энергия-ресурсты үнемдейтін технологиясының технологиялық регламенті әзірленді. Мұнда қолданылған қалдықтар: Састобе әктас ұнтақтау қалдықтары, Ленгер шахтасының көмір өндіріс қалдықтары және қорғасын шлактары.

5. Радиологиялық зертханасында Ачисай металлургиялық зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинkerіне дозиметрлік бақылау жүргізілді. Клинкер үлгісінің доза қуаты 0,15 мкЗв/сағ, бұл радиациялық қауіпсіздік нормаларына сәйкес келеді. Рұқсат етілген доза қуаты – 0,2 + фон (мкЗв/сағ).

6. Экологиялық таза аз энергия жұмсайтын технологияларды қолданғанда CO₂ шығарындыларын есептеу жүргізілді. Сырьелік қоспада коррективтік темірлі қосымша ретінде Ачисай клинkerін қолданғанда 1 тонна клинkerге атмосфераға шығатын CO₂ көлемі 64 кг (12,08%) азаяды, ал қорғасын шлактарын қолданғанда 42 кг (7,9%) төмендейді.

7. Диссертация бойынша ғылыми-зерттеу нәтижелері «Цемент өндірісінің технология негіздері» пәні аясында 6B07101 «Керамика, шыны және байланыстырғыш материалдарды материалтану және сараптама» білім беру бағдарламасының студенттері үшін оқу процесіне енгізілді. Ғылыми-зерттеу нәтижелерін енгізу туралы №21 акт 17.09.2025 ж. (Қосымша Б)-де берілген.

5 ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ӨНДІРІСІНІҢ ЭНЕРГИЯ-РЕСУРС ҮНЕМДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН ЕСЕПТЕУ

Бұл бөлімде ТОО «Састөбе Цемент» зауыты мысалында портландцемент өндірісінің энергия үнемдейтін технологиясын енгізудің экономикалық тиімділігі есептеледі. Есептеу үшін 2025 жылғы өндірістік деректер негізге алынды.

Бастанқы деректер (55, 56-кестелер):

- өндіріс көлемі – 470 600 т/жыл;
- жұмысшылар саны – 450 адам;
- орташа айлық жалақы – 233 000 теңге;
- әктас қалдығы – 2300 теңге/м³ (2300 кг/м³);
- лесс – 1700 теңге/м³ (1650 кг/м³);
- су – 104,36 теңге/м³;
- көмір – 16 500 теңге/т;
- электр энергиясы тарифі – 34–50 теңге/кВт·сағ (орташа 42 теңге);
- шикізат қоспасы – 1,6 т/т цемент;
- қоспа құрамы: 75% известняк және 25% лесс.

Кесте 55 – Портландцементтің өзіндік құнын есептеу (технология енгізуге дейін)

Шикізат түрі	Өлшем бірлігі	1 т цементке шығын	Бағасы, тг	Жалпы шығын, тг
Әктас (2100–2500 кг/м ³)	м ³	0,8	2300	1840
Огарки (5700 кг/м ³)	м ³	0,2	5700	1140
Лесс (1500–2500 кг/м ³)	м ³	0,5	1900	950
Су	м ³	0,2	104,36	20,87
Көмір	т	0,12	16500	1980
Электр энергиясы	кВт·сағ	90	42	3780
Жалақы	т	–	–	1336

Кесте 56 – Энергия үнемдейтін технология енгізілгеннен кейінгі өзіндік құн

Шикізат түрі	Өлшем бірлігі	1 т цементке шығын	Бағасы, тг	Жалпы шығын, тг
Әктас қалдығы (2100–2500 кг/м ³)	м ³	0,7	2300	1610
Лесс (1600–1700 кг/м ³)	м ³	0,5	1700	850
Ащысай клинкері	м ³	0,3	2000	600
Қорғасын шлагі	м ³	0,2	2000	400
Су	м ³	0,15	104,36	15,65
Көмір	т	0,09	16500	1485
Электр энергиясы	кВт·сағ	70	42	2940
Жалақы	т	–	–	1336

Жалпы өзіндік құн (технология енгізуге дейін): 11 046,87 теңге/т.

Жалпы өзіндік құн (технология енгізілгеннен кейін): 9 236,65 теңге/т (57-кесте).

Кесте 57 – Салыстырмалы талдау

Көрсеткіш	Енгізуге дейін, тг/т	Енгізілгеннен кейін, тг/т	Жинақ, тг	Жинақ, %
Өзіндік құн	11046,87	9236,65	1810,22	16,4

Көрсетілгендей, энергия үнемдейтін технологияны енгізу нәтижесінде цементтің 1 тоннасының өзіндік құны 16,4%-ға төмендейді.

Экономикалық тиімділік

Зауыттың жылдық өнімділігі – 470 600 т цемент.

Жылдық экономикалық әсер мына формуламен есептеледі:

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) \times Q$$

мұнда C_1 – технология енгізуге дейінгі өзіндік құн (11 046,87 тг/т);

C_2 – технология енгізілгеннен кейінгі өзіндік құн (9 236,65 тг/т);

Q – жылдық өндіріс көлемі (470 600 т).

$\mathcal{E} = (11\,046,87 - 9\,236,65) \times 470\,600 = 851\,889\,332$ теңге.

Жалпы жылдық үнем – шамамен 851,9 млн. теңге.

Бөлім бойынша қорытындылар

Энергия үнемдейтін технологияны ТОО «Састөбе Цемент» зауытында енгізу нәтижесінде:

- өнімнің өзіндік құны 16,4%-ға төмендеді;
- отын мен электр энергиясының шығыны азайды;
- экономикалық тиімділік жылына 850 млн теңгеден асты;
- өндірістің ресурстық және экологиялық тиімділігі артты.

Энергия үнемдейтін технологияны ТОО «Састөбе Цемент» зауытының портландцемент өндіру үдерісіне енгізу нәтижесінде өндірістің экономикалық және экологиялық көрсеткіштерінде айтарлықтай оң өзгерістер байқалды.

Біріншіден, өндірістік шикізат құрамында техногендік қалдықтарды (қорғасын шлагі, Ачисай клинкері, әктас қалдықтары) пайдалану арқылы табиғи шикізатқа тәуелділік төмендеп, ресурстық тиімділік артты. Бұл тәсіл табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға және қалдықсыз технология қағидаттарына сәйкес келеді.

Екіншіден, технологияны жаңғырту нәтижесінде цементтің 1 тоннасына кететін өзіндік құн 11 046,87 теңгеден 9 236,65 теңгеге дейін төмендеп, жалпы экономия 16,4% құрады. Жылдық өнім көлемін (470 600 т) ескергенде, бұл 851,9 млн. теңге көлемінде экономикалық тиімділікке тең.

Үшіншіден, жаңа технология энергия тұтынуды азайтып, көмір мен электр энергиясының шығынын қысқартуға мүмкіндік берді. Нәтижесінде өндіріс процесіндегі көміртек ізін төмендетіп, экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етті.

Төртіншіден, еңбек өнімділігі артып, жұмысшылардың еңбекақы қоры оңтайлы деңгейде сақталды. Бұл өндірістік үдерістің тұрақтылығын және кәсіпорынның экономикалық әлеуетін арттырды.

Жалпы алғанда, энергия үнемдейтін технологияны енгізу портландцемент өндірісінің өзіндік құнын төмендетуге, жылдық экономикалық нәтижелілікті арттыруға және экологиялық тиімділікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл Қазақстан Республикасының индустриялық-инновациялық даму стратегиясына және тұрақты дамудың негізгі бағыттарына толық сәйкес келеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Альтернативтік шикізат және коррективтік қоспалар ретінде Састюбе кеніштегі әктас ұнтақтау қалдықтары, Ачисай металлургиялық зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинкері, қорғасын шлактары, Тараз қаласындағы Ново-Джамбыл фосфор зауытының электротермофосфорлық шлактары, Ленгер шахтасының көмір өндіріс қалдықтары, тефритобазальттар зерттелді. Әктас ұнтақтау қалдықтары, көмір өндіріс қалдықтары, тефритобазальт, қорғасын шлактары Оңтүстік Қазақстандағы төрт ірі цемент зауыты – «Стандарт Цемент» ЖШС, «Шымкентцемент» ЖШС, «Састөбе Технолоджис» ЖШС және тағы біреуінің маңында орналасқан, сондықтан өнеркәсіптік қалдықтарды жеткізу логистикасы мен тасымалдау шығындары аз болады.

Табиғи карбонатты, алюмосиликатты және темірлі шикізатты толық немесе жартылай алмастыру мүмкіндігі расталды. Бұл мақсатта әктас ұнтақтау қалдықтары, электротермофосфорлық және қорғасын шлактары, Ленгер шахтасының көмір өндіріс қалдықтары, мырыш рудаларын вельцилеу клинкері қолданылды. 30–100% табиғи шикізатты техногендік өнімдермен алмастыруға мүмкіндік беретін аз энергия жұмсайтын, ресурсты үнемдейтін шихталар әзірленді, 1 тонна клинкерге шикізаттың өзіндік шығыны 0,1–0,2 т/т төмендеді. Әртүрлі жалпы құрылыс және арнайы цемент клинкерлерін алу үшін шихталардың құрамы есептелді.

2. Шикізаттың құрамына, қанығу коэффициентіне, модульдердің мөлшеріне, клинкердің 1 тоннасына шикізаттың меншікті шығынына, қалдықтардың мөлшеріне және күйдіру температурасына байланысты әзірленген энергияны аз қажет ететін ресурс үнемдейтін шикізат қоспаларында клинкер түзілу процестерінің факторлары анықталды. ҚК және силикат модулінің ұлғаюымен клинкер түзілу процестері қиынға соғады, игерілмеген СаО саны артады. Термиялық өңдеуден өткен өнеркәсіп қалдықтарының шикізат қоспасының құрамының ұлғаюымен клинкердің 1 тоннасына шикізаттың меншікті шығыны азаяды. Бұл 1 т клинкерді күйдіруге жұмсалатын отынның азаюына ықпал етеді.

3. Әктас ұнтақтау қалдықтары, көмір өндіріс қалдықтары, тефритобазальттар, электротермофосфорлық және қорғасын шлактары, мырыш рудаларын вельцилеу клинкерін қамтитын шикізат қоспалардан жалпы құрылыс және арнайы цемент клинкерлерін энергия үнемдейтін тәсілмен алуға болатындығы анықталды. Зерттелген шикізат шихталарында клинкер түзілу процестері 1300–1350°C температурада аяқталады. Бұл күйдіруге арналған отын шығынын азайтуға, атмосфераға CO₂ және NO_x қалдықтарын шығаруды төмендетуге, техногендік өнімдерді пайдаланып, қоршаған ортаны ластануды азайтуға мүмкіндік береді. Фосфорлық және қорғасын шлактары, мырыш рудаларын вельцилеу клинкері, тефритобазальт клинкер минералдарының қалыптасуына минерализатор ретінде әсер етеді; клинкердің жентектелуі 1300–1350 °C температурада аяқталады, бос СаО мөлшері 2%-дан аспайды. Мұнда,

фтор, P_2O_5 , Zn және Pb оксидтері сияқты минерализатор, модификациялайтын және легирлеуші компоненттер қамтамасыз етеді.

4. Радиологиялық зертхана бойынша Ащысай металлургия зауытының мырыш рудаларын вельцилеу клинкерін дозиметриялық бақылаудан өткізу жүргізілді. Вельцилеу клинкерінің үлгісінде өлшенген доза қуаты 0,15 мкЗв/сағат, н/сек құрады, бұл радиациялық қауіпсіздік нормаларына сәйкес келеді. Қабылданған доза қуаты 0,2 + фон (мкЗв/сағат, н/сек) болып табылады.

Энергияны аз қажет ететін технологияларды пайдалану кезінде атмосфераға CO_2 шығарындыларын есептеу орындалды. Ащысай клинкерін шикізат қоспасында түзетуші темірлі қоспа ретінде қолданғанда атмосфераға CO_2 шығарындылары 1 тонна клинкерге 64 кг (12,08%) төмендейді, ал қорғасын шлагын қолданғанда 1 тонна клинкерге 42 кг (7,9%) төмендейді.

5. Оңтүстік Қазақстандағы цемент өндіруге жарамды қалдықтардың кадастры әзірленді. Зерттелген қалдықтар зиянсыз, технологиялық жағынан ыңғайлы, тасымалдауға қолайлы және оңай мөлшерленеді.

«Састөбе Технолоджис» ЖШС үшін карьерлік шикізатты өнеркәсіптік қалдықтармен толық алмастыруға негізделген портландцемент өндірісінің технологиялық схемасы әзірленді. Сондай-ақ, «Састөбе Технолоджис» ЖШС-де портландцемент пен сульфатқа төзімді цемент өндірудің энергия және ресурс үнемдейтін технологиясы үшін технологиялық регламент әзірленді (Қосымша В).

Ғылыми-зерттеу нәтижелері «Цемент өндірісінің технология негіздері» пәні аясында 6B07101 «Керамика, шыны және байланыстырғыш материалдарды материалтану және сараптама» білім беру бағдарламасының студенттері үшін оқу процесіне енгізілді (Қосымша Б).

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.
- 2 Таймасов Б.Т., Классен В.К. Химическая технология вяжущих материалов. – Изд. 2-е, доп. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 448 с.
- 3 Hjort M., Skobelev D., Almgren R. et al. Best Available Techniques and Sustainable Development Goals // *Procced. of the 19th internat. multidis-ciplinary scient. Geoconf. SGEM.* – Vienna, 2019. – P. 185-189.
- 4 Potapova E.N., Guseva T.V., Tolstykh T.O. et al. Technological, technical, organizational and managerial solutions for the sustainable development and decarbonization of cement sector // *Technique and technology of silicates.* – 2023. – Vol. 30, Issue 2. – P. 104-115.
- 5 Bashmakov I.A., Potapova E.N., Borisov K.B. et al. Cement Sector Decarbonization and Development of Environmental and Energy Management Systems // *Stroitel'nye Materialy.* – 2023. – Issue 9. – P. 4-12.
- 6 Kleib J., Aouad G., Abriak N. et al. Production of Portland cement clinker from French Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash // *Case Studies in Construction Materials.* – 2021. – Vol. 15. – P. e00629.
- 7 Gartner E., Hirao H. A review of alternative approaches to the reduction of CO₂ emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete // *Cement and Concrete Research.* – 2015. – Vol. 78. – P. 126-142.
- 8 Technology Roadmap-Low-Carbon Transition in the Cement Industry 2014 <https://webstore.ilea.org/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the>. 23.03.2020.
- 9 Лейтан Ф. Взгляд вперед: каким будет цементный завод в ближайшем будущем // *Цемент и его применение.* – 2020. – №1. – С. 124-128.
- 10 Net Zero Concrete / Global Cement and Concrete Association (GCCA) // <https://anchorconcrete.com/resources/>. 03.05.2021.
- 11 Бегак М.В., Герлах Ю.В., Грищенко Ю.В. Экологическое нормирование предприятий: наилучшие доступные технологии, повышение энергоэффективности и выбросы парниковых газов: международный опыт и российские подходы. – М.: Инфотропик Медиа, 2017. – 104 с.
- 12 Schorcht F., Kourti I., Maria B. et al. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and control. – Luxembourg, 2013. – 506 p.
- 13 Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry // *Cement and Concrete Research.* – 2018. – Vol. 114. – P. 2-26.
- 14 Taimasov B.T., Sarsenbayev B.K., Khydyakova T.M. et al. Development and Testing of Low-Energy-Intensive Technology of Receiving Sulphate-Resistant and Road Portlandcement // *Eurasian Chemico-Technological Journal.* – 2017. – Vol. 19. – P. 347-355.
- 15 Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Жаникулов Н.Н. Комплексное использование природного и техногенного сырья в производстве

малоэнергоемких цементов: монография. – Шымкент, 2017. – 200 с.

16 Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Альжанова А.Ж. Синтез клинкеров из нестандартного сырья // Цемент и его применение. – 2014. – №1. – С. 138-141.

17 Zhanikulov N.N., Khudyakova T.M., Taimasov B.T. et al. Receiving portland cement from technogenic raw materials of South Kazakhstan // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2019. – Vol. 21. – P. 333-340.

18 Евраз. пат. 033588B1. Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера / Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Абеков К.О.; опубл. 07.11.19. – 4 с.

19 Пат. 2610 РК. Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера / Таймасов Б.Т., Садуакасов Т.М., Жаникулов Н.Н. и др.; опубл. 12.02.18, Бюл. №6. – 3 с.

20 Жаникулов Н.Н. Создание энерго- и ресурсосберегающих технологий портландцементов и стеновой керамики с использованием отходов угледобычи и техногенного сырья: дис. ... док. PhD: 6D072000. – Шымкент, 2020. – 144 с.

21 Zhanikulov N., Sapargaliyeva B., Agabekova A. et al. Studies of Utilization of Technogenic Raw Materials in the Synthesis of Cement Clinker from It and Further Production of Portland Cement // Journal of Composites Science. – 2023. – Vol. 7, Issue 6. – P. 226-1-226-14.

22 Taimasov B.T., Zhanikulov N.N., Borisov I.N. et al. Research on the obtaining of low energy cements from technogenic raw materials // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2020. – Vol. 55, Issue 4. – P. 814-823.

23 ГОСТ 3476-2019. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные. Технические условия. – Введ. 2020-06-01. – М., 2019. – 7 с.

24 Zhanikulov N.N., Taimasov B.T., Borisov I.N. et al. Preparation Low-Energy Content Cement From Technogenic Raw Materials // Refractories and Industrial Ceramics – 2020. – Vol. 61, Issue 2. – P. 163-169.

25 Dikshit A.K., Gupta S., Chaturvedi S.K. et al. Usage of lime sludge waste from paper industry for production of Portland cement Clinker: Sustainable expansion of Indian cement industry // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2024. – Vol. 9. – P. 100557.

26 Konovalov V., Fedorov A., Goncharov A. Use of slags in the production of Portland cement clinker // Procceed. 14th internat. congr. for Applied Mineralogy. – Belgorod, 2019. – P. 327-330.

27 Таймасов Б.Т. и др. Новые технологии и тенденции развития цементного производства и оборудования: учеб. – Шымкент, 2024. – 520 с.

28 Классен В.К., Таймасов Б.Т. Цементология: структура, свойства цементов и оптимизация технологических процессов: учеб. – М., 2024. – 264 с.

29 Таймасов Б.Т. т.б. Цемент өндірісі мен жабдыктарын дамытудың жаңа технологиялары мен тенденциялары: оқул. – Шымкент, 2025. – 511 б.

30 Определены товары с обязательным использованием вторсырья с 2025 года // <https://jcement.ru/content/news/opredeleny-tovary-s-03.09.2024>.

31 Страны G20 намерены прекратить выбросы парниковых газов к середине XXI века // <http://www.vedomosti.ru/society/news>. 31.10. 2021.

32 HeidelbergCement запускает пилотный проект по улавливанию CO₂ //

<http://jcement.ru/content/news/heidelbergcement-zapuskaet>. 17.09.2021.

33 В Узбекистане изучают влияние промышленных предприятий на экологию // <http://jcement.ru/content/news/v-uzbekistane-izuchayut>. 08.11.2023.

34 Heidelberg Materials представила evoZero®, первый в мире цемент с нулевым углеродным следом // <https://jcement.ru/content/news>. 28.11.2023.

35 Компания AggregateIndustries использует отходы производства керамических плит // <https://jcement.ru/content/news/kompaniya>. 23.11.2023.

36 Шакаров Т.И., Мухамедбаев А.А., Атаджанов Ш.Ю. и др. Переработка флотационных отходов обогащения свинцовых руд в цементном производстве // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – №2(81). – С. 53-55.

37 Мирошников О.В., Мирошникова Ю.В., Классен В.К. Пути применения углеотходов как выгорающих добавок в сырьевой шихте // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – Т. 1, №11. – С. 45-50.

38 Таймасов Т.М. Худякова Н.Н. Жаникулов А.Н. и др. Процессы клинкерообразования в малоэнергоемких сырьевых шихтах // Цемент и его применение. – 2018. – №1. – С. 170-175.

39 Smith J., Brown L., Johnson M. Co-processing in cement industry: energy and emission benefits // J of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 215. – P. 1234-1245.

40 Lee S., Park H. Utilization of industrial wastes in cement clinker production: a review // Cement and Concrete Research. – 2021. – Vol. 142. – P. 106391.

41 Romeo L.M., Catalina D., Lisbona P. et al. Peduction of greenhouse gas emissions by integration of cement plants, power plants, and CO₂ capture systems // Greenhouse Gases: Science and Technology. – 2021. – Vol. 1, Issue 1. – P. 72-82.

42 Tkachenko N., Tang K., McCarten M. et al. Global database of cement production assets and upstream suppliers // Scientific Data. – 2023. – Vol. 10. – P. 696-1-696-9.

43 Her S., Park J., Li P. et al. Feasibility Study on Utilization of Pulverized Eggshell Waste as an Alternative to Limestone in Raw Materials for Portland Cement Clinker Production // Constr. Build. Mater. – 2022. – Vol. 324. – P. 126589.

44 Toure A.O. et al. Cement Clinker Based on Industrial Waste Materials // Journal of Civil & Environmental Engineering. – 2020. Vol. 10, Issue 3. – P. 1-5.

45 Enengel M.J., Viczek S.A., Sarc R. Determining the recycled content in cement: A study of Austrian cement plants // Resources, Conservation and Recycling. – 2023. – Vol. 199. – P. 107276.

46 Saikia N. Recycling of Industrial and Municipal Solid Wastes in Cement-Based Applications // Advances in Waste Management: procced. conf. – Singapore, 2019. – P. 17-30.

47 Cuesta A., Ayuela A., Aranda M. Belite cements and their activation // Cement and Concrete Research. – 2021. – Vol. 140. – P. 106319.

48 Намазов Ш.С., Юлдашев У.Т., Сафаров К.Н. Получение портландцементного клинкера с использованием фосфогипса и медных шлаков // Известия Узбекского химического журнала. – 2021. – №4. – С. 34-38.

- 49 Оразымбетова Г.А., Шарипова Л.К., Абдурасулова М.Ш. Использование туфобрекчевых пород Каракалпакстана для производства портландцементного клинкера // Известия Узбекского химического журнала. – 2017. – №3. – С. 28-31.
- 50 Оразымбетова Г.А., Шарипова Л.К., Абдурасулова М.Ш. Исследование сырьевых смесей на основе мергеля и местных песков для получения портландцементного клинкера // Известия Узбекского химического журнала. – 2018. – №1. – С. 22-26.
- 51 Taylor H.F.W., Jennings H.M. Modern developments in cement chemistry // Cement and Concrete Research. – 2016. – Vol. 89. – P. 60-74.
- 52 Portland Cement Association представила дорожную карту достижения углеродной нейтральности к 2050 году // <https://jcement.ru/content>. 10.11.2025.
- 53 El-Desoky H. et al. Appraisal of sedimentary and volcanic rocks at Al-Hemmah-ResanIkteifa district, North Sinai, Egypt as raw materials in Portland cement clinker production // Current Research in Earth Sciences. – 2016. – Vol. 10, Issue 01. – P. 34-58.
- 54 Пулатов З.П., Бутаев Э.М. Промышленное освоение производства цемента с использованием вулканических горных пород // Цемент и его применение. – 2011. – №3. – С. 134-136.
- 55 Сабиржанов А.А., Пулатов З.П., Суюнов Т.Х. Диабаз-порфириты Узбекистана – ценное сырье для производства малоэнергоёмкого клинкера // Актуальные вопросы нефтегазовой геологии и геофизики и возможные пути их решения: сб. матер. республ. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2012. – С. 261-264.
- 56 Мануйлов В.Е. Теоретическое обоснование возможности подачи углеотходов в сырьевой шлам // Цементинформ. – 2011. – №4(34). – С. 66-69.
- 57 El-Alfi E.A., Othman A.G., Hassan A.M. et al. Preparation and characterization of the low energy portland cement // Al-Azhar Bulletin of Science. – 2010. – Vol. 21. – P. 275-286.
- 58 Морозова И.А., Классен В.К. Использование металлургических шлаков для производства высококачественных цемента // Цементинформ. – 2014. – №2(47). – С. 65-67.
- 59 Куликов Б.П. и др. Получение клинкера с использованием минерализатора на основе фторсодержащих отходов // Цемент и его применение. – 2010. – №2. – С. 102-105.
- 60 Вступает в силу ответственность за непредоставление отчетов о выбросах парниковых газов // <https://cement.ru/content/news/vstupet>. 10.10.2025.
- 61 В России ведётся контроль за выбросами предприятий // <https://cement.ru/content/news/v-rossii-vvedut-gosty-po-kontrolyu-za>. 10.10.2025.
- 62 Marsh A.T.M., Yang T., Au-Amankwah S. et al. 11-Utilization of metallurgical wastes as raw materials for manufacturing alkali-activated cements // In book: Waste and Byproducts in Cement-Based Materials: Innovative Sustainable Materials for a Circular Economy. – Sawston, 2021. – P. 335-383.
- 63 Mikulcic H., Vujanovic M., Markovska N. et al. CO2 Emission reduction in the cement industry // Chemical engineering trans. – 2013. – Vol. 35. – P. 703-708.

64 Belaid F. How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges? // Resources, Conservation & recycling advance. – 2022. – Vol. 15. – P. 200084.

65 Zhanikulov N.N., Kolesnikov A.S., Taimasov B.T. et al. Influence of industrial waste on the structure of environmentally friendly cement clinker // Complex Use of Mineral Resources. – 2022. – Vol. 4, Issue 323. – P. 84-91.

66 Таймасов Б.Т., Қуандықова А.Е., Абдуллин А.А. Болашаққа бағдар: цемент зауытының өткені және болашағы // М. Әуезов ат. ОҚМУ ғылыми еңбектері. – 2021. – №2(58). – Б. 19-24.

67 Pribulova A., Futas P., Baricova D. Processing and utilization of metallurgical slag // Production Engineering archives. – 2016. – Vol. 11, Issue 2. – P. 2-5.

68 Alwaeli M., Golaszewski J., Niesler M. et al. Recycle option for metallurgical sludge waste as a partial replacement for natural sand in mortars containing CSA cement to save the environment and natural resources // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 398. – P. 123101.

69 Zhang Y. Recovery and Utilization of Metallurgical Solid Waste. – Helsinki, 2019. – 110 p.

70 Потапова Е.Н. Наилучшие доступные технологии производства цемента: опыт разработки российского справочника: докл. – М.: Крокус, 2016. – 49 с.

71 Абдеев М.А., Колесников А.В., Ушаков Н.Н. Вельцевание цинк-свинцоводержащих материалов. – М.: Металлургия, 1985. – 204 с.

72 Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов: учеб. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.

73 Бутт Ю.М. и др. Справочник по химии цемента. – Л.: Стройиздат, 1980. – 224 с.

74 Пашенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. – Изд. 2-е. – Киев: Вища школа, 1985. – 440 с.

75 Таймасов Б.Т., Жаникулов Н.Н., Калтай А.Р. и др. Минерально-сырьевые источники для энергосберегающего производства портландцементного клинкера // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – №2. – С. 5-101.

76 Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.

77 Шлакоотвал свинцового производства: отчет №А224-09 об оценке движимого имущества / сост. Бимурзаева М.Ч. – Шымкент, 2017. – 24 с.

78 ГОСТ 5382-2019. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. – Введ. 2020-06-01. – М., 2019. – 30 с.

79 Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Даулетияров М.С. Физико-химические методы анализа вяжущих материалов: практ. пос. – М., 2024. – 144 с.

80 Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учеб. пос. – М., 1981. – 335 с.

81 Мырзакожа Д., Мирзаходжаев А.А. Современные методы

исследования. – Изд. 4-е, доп. – Алматы, 2013. – 428 с.

82 Растровый электронный микроскоп JSM-6490 LV (JEOL) // <https://ckprf.ru/equipment/search/74475/>. 10.10.2025.

83 Есимов Б.О., Адырбаева Т.А., Жакипбаев Б.Е. Рентгенометрический определитель минералов В.И. Михеева: метод. указ. – Шымкент: ЮКГУ, 2012. – 164 с.

84 Адырбаева Т.А. и др. Основы научных исследований силикатных материалов: практикум. – Шымкент, 2015. – 303 с.

85 Таймасов Б.Т. Физико-химические процессы обжига портландцементного клинкера: лабораторный практикум. – Шымкент, 2022. – 95 с.

86 ГОСТ 22266-2013. Цементы сульфатостойкие. Технические условия. – Введ. 201-01-01. – М., 2014. – 11 с.

87 Пат. 36495 РК. Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера / Таймасов Б.Т., Даулетияров М.С., Куандыкова А.Е. и др.; опубл. 08.12.23.

88 Kuandykova A.Ye., Taimassov B.T., Potapova E.N. et al. Production of portland cement clinker based on industrial waste // Journal of Composites Science. – 2024. – Vol. 8. – P. 257-1-257-18.

89 Куандыкова А.Е., Таймасов Б.Т., Абдуллин А.А. және т.б. Клинкер мен портландцемент алу үшін өнеркәсіп қалдықтарын қолдану мүмкіндігін зерттеу // Заманауи құрылыс материалдары, технологиялары және конструкциялары: халық. ғыл.-тәжір. конф. жин. – Шымкент, 2025. – Б. 215-219.

90 Timashev V.V. The Kinetics of Clinker formation the structure and composition of clinker and its phases // Proceed. of the 7th internat. congr. on Chemistry of Cement. – Paris, 1980. – P. 1-3.

91 Ludwig H.-M., Zhang W. Research review of cement clinker chemistry // Cem. Concr. Res. – 2015. – Vol. 78. – P. 24-37.

92 Kuandykova A.E., Taimassov B., Potapova E.N. et al. Investigation of chemical and mineralogical composition and technological properties of industrial waste for cement production // Proceed. of the 10th internat. annual conf. «Industrial Technologies and Engineering». – Shymkent, 2023. – P. 180-184.

93 Таймасов Б.Т., Бычков В.В. Методическое руководство по применению электронной вычислительной таблицы РСС (расчет сырьевой смеси цементного завода). – Шымкент, 2013. – 7 с.

94 Таймасов Б.Т., Бычков В.В. Методическое руководство по применению компьютерных программ в технологии цемента. – Шымкент: ЮКГУ, 2013. – 26 с.

95 Шестова Н.В., Таймасов Б.Т. Исследование процессов обжига энергосберегающих сырьевых смесей для получения клинкеров // Тр. международ. науч.-практ. конф. молод. учен., магистр., студ. и учащ. «Родной край – основа всех начинаний поколения молодых». – Рудный. 2023. – С. 547-552.

96 Абдуллин А.А., Куандыкова А.Е., Таймасов Б.Т. Подбор энергосберегающих составов сырьевых смесей для получения клинкеров

белого портландцемента // Тр. международ. науч.-практ. конф. молод. учен., магистр., студ. и учащ. «Родной край – основа всех начинаний поколения молодых». – Рудный. 2023. – С. 563-566.

97 Куандыкова А.Е., Таймасов Б.Т., Жаникулов Н.Н. Портландцемент клинкерін алуда ащысай металлургиялық зауытының клинкерін реттеуші қоспа ретінде қолдануды зерттеу // Докл. НАН РК. – 2023. – №3. – С. 147-156.

98 Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Даулетияров М.С. Физико-химические методы анализа вяжущих материалов: практикум. – Шымкент, 2019. – 126 с.

99 Куандыкова А.Е., Таймасов Б., Жаникулов Н.Н. и др. Белитті клинкер синтездеу үшін Ащысай металлургиялық зауытының клинкерін қолдану // Известия НАН РК. – 2024. – №1. – С. 83-93.

100 Таймасов Б., Даулетияров М., Куандыкова А. Рациональные пути снижения выбросов углекислоты за счет утилизации промышленных отходов Южного Казахстана в производстве цемента // Вестник науки Южного Казахстана. – 2021. – №3(15). – С. 66-73.

101 СЕМЕХ установил более амбициозную цель по сокращению выбросов // <https://jcement.ru/content/news/rasrabotka>. 26.09.2021.

102 Холсим Л. в России: Два работающих решения помогут кардинально сократить выбросы CO₂ // <https://jcement.ru/content>. 26.09.2021.

103 Hanson UK тестирует технологию выпуска цемента на углеродно-нейтральном топливе // <https://jcement.ru/content/news/rasrabotka>. 26.09.2021.

104 Разработка проекта углеродного налогообложения в России // <https://jcement.ru/content/news/rasrabotka-proekta-uglerodnogo>. 26.09.2021.

105 Экологический кодекс Республики Казахстан: принят 2 января 2021 года №400-VI ЗРК. // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>. 10.10.2025.

106 Приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Об утверждении национального плана углеродных квот: утв. 11 июля 2022 года, №525 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/>. 10.10.2025.

107 Куандыкова А.Е., Таймасов Б.Т., Потапова Е.Н. и др. Исследование и определение активности минеральных добавок классическим методом термообработанных глинистых сланцев с применением клинкеров полученных из отходов производств // Механика и технологии. – 2025. – №2(88). – С. 165-180.

108 Технологический регламент производства цемента / ТОО «Састобе Технолоджис». 2022 // <https://jcement.ru/production/too-sas-tobe>. 10.10.2025.

109 Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан. Об утверждении Санитарных правил "Санитарно-эпидемиологические требования к радиационно-опасным объектам": утв. 25 августа 2022 года, №ҚРДСМ-90 // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200029292>. 10.10.2025.

110 Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий цементного производства: приложение №6 // Об утверждении отдельных методических документов в области охраны окружающей среды: приказ Министра окружающей среды и водных ресурсов Республики Казахстан от 12 июня 2014 года, №221-Ө // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14>. 10.10.2025.

ҚОСЫМША А

Патент

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ
PATENT**

№ 36495

ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION



(21) 2022/0538.1
(22) 06.09.2022
(45) 06.12.2023

(54) Портландцемент клинкерін өндіретін шикізат қоспасының құрамы
Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера
Raw mix for the production of portland cement clinker

(73) «М.Ауэзов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» қоғамдық емес заңкершілік қоғамы (KZ)
Некоммерческое акционерное общество «Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова» (KZ)
«M. Auezov South Kazakhstan University» Non-profit Joint-Stock Company (KZ)

(72) Тағайынов Бақытжан (KZ)
Дәулетияров Мұхтар Сәтжанович (KZ)
Жаңақұлов Нұрғали Нодырулы (KZ)
Қасымбек Төмебай Амангелдіевич (KZ)
Қуандықова Ақпұл Ержанқызы (KZ)
Абдуллин Айдан Абдуллинқызы (KZ)
Пармобай Жамсерік Аманбекұлы (KZ)
Сәлібайұлы Ақсерім Тұяубекқызы (KZ)

Timasov Bakhtzhan (KZ)
Dauteliyarov Mukhtar Satzhanovich (KZ)
Zhanikulov Nurgali Nodyruly (KZ)
Kasimbekov Temgebay Amangeldievich (KZ)
Kuandykova Aknur Yerzhanqyzy (KZ)
Abdullin Aidana Abdullinkyzy (KZ)
Parmobay Zhamserik Amanbekuly (KZ)
Salibayuly Akserim Tuyubekkyzy (KZ)



ЭЦК қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Оспанов
Е. Оспанов
Y. Ospanov

«Ұлттық заңкершілік меншік институты» РМҚ директоры
Директор РМҚ «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of RSE «National institute of intellectual property»

ҚОСЫМША Ә

Дозиметриялық бақылау хаттамасы

ҚР ДСМ СЭБК «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК Түркістан облысы бойынша филиалының Шымкент қалалық бөлімшесі индекс:160013, мекенжайы: Шымкент қ, Майдантал көшесі,4 Тел: 43-30-66 email:turkestan – obl@nce.kz		Нысанның БҚСЖ бойынша коды Код формы по ОКУД _____ КҰЖОК бойынша ұйым коды Код организации по ОКПО _____
Шымкентское городское отделение Филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КСЭК МЗ РК по Туркестанской области индекс:160013, адрес: г.Шымкент, ул.Майдантал,4 Тел: 43-30-66 email: turkestan – obl@nce.kz	Радиологическая лаборатория	Қазақстан Республикасының Денсаулық сақтау министрінің 2021 жылғы «20» тамыздағы № ҚР ДСМ-84 бұйрығымен бекітілген № 052/е нысанды медициналық құжаттама Медицинская документация Форма № 052/у Утверждена приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от «20» августа 2021 года № ҚР ДСМ-84

Дозиметриялық бақылау

ХАТТАМАСЫ ПРОТОКОЛ

дозиметрического контроля

№ 49-пл-д /РО-25-01772 «28» 05 күні 2025 ж. (г.)



1. Нысан атауы, мекенжайы (Наименование объекта, адрес) ч.л. Куандыкова А., г.Шымкент, мкр. Асар-2, 1578/6
2. Өлшеулер жүргізілетін орын (Место проведения замеров) радиологическая лаборатория
(бөлім, цех, квартал) (отдел, цех, квартал)
3. Өлшеулер мақсаты (Цель измерения) измерение МЭД гамма-излучения
4. Өлшеулер тексерілетін объект өкілінің қатысуымен жүргізілді (Измерения проводились в присутствии представителя обследуемого объекта) ч.л. Куандыкова А.
5. Өлшеу құралдары (Средства измерений) ДКС АТ 1123 №52912
атауы, түрі, инвентарлық нөмірі (наименование, тип, инвентарный номер)
6. Тексеру туралы мәліметтер (Сведения о поверке) ВА.17-24-1189438 от 20.09.2024ж.
берілген күні мен куәліктің нөмірі (дата и номер свидетельства)
7. Өлшеу шарттары туралы қосымша мәліметтер (Дополнительные сведения об условиях измерения) МЭД естественного гамма-излучения на территории 0,12 мкЗв/ч

Өлшеу нәтижелері (Результаты измерений)

Тіркеу нөмірі Регистрационный номер	Өлшеу жүргізілген орын Место проведения измерений	Дозаның өлшенген қуаты (мкЗв/час, н/сек) Измеренная мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)			Зерттеу әдістемесінің НҚ-ры НД на метод испытаний	Дозаның рұқсат етілетін қуаты (мкЗв/час, н/сек) Допустимая мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)		
		Еденнен жоғары (топырақтан) На высоте от пола (грунта)						
		1,5м	1м	0,1м		1,5м	1м	0,1м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Представленная проба –образец клинкера вельцивания цинковых руд	----	----	0,15	СП, утв. приказом МЗ за № ҚР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.	-----	-----	0,2+фон

Үлгілердің (нің) НҚ-ға сәйкестігіне зерттеулер жүргізілді (Исследование проводилось на соответствие НД) СП, утв. приказом МЗ за № ҚР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.

Зерттеу жүргізген маманның Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О. (при наличии), специалиста проводившего исследование) Туреханова М.А.

Қолы 
(Подпись)

Зертхана менгерушісінің қолы, Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О. (при наличии), подпись заведующего лабораторией) Накбаев Б.М.

Қолы 
(Подпись)

Начальник отделения

А.Рүстем

Мөр орны
Место печати



Т.А.Ә (болған жағдайда), қолы
Ф.И.О. (при наличии), подпись)

Хаттаманың 2 данада толтырылады (Протокол составляется в 2 экземплярах)

Сынау нәтижелері тек қана сынауға жататын үлгілерге қолданылады/

Результаты исследования распространяются только на образцы, подвергнутые испытаниям.

Рұқсатсыз хаттаманы жартылай қайта басуға ТЫЙЫМ САЛЫНҒАН/ Частичная перепечатка протокола без разрешения ЗАПРЕЩЕНА

Санитариялық дәрігердің немесе гигиенисттің зерттелген өнімдердің, химиялық заттардың,

физикалық және радиациялық факторлардың үлгілері / сынамалары туралы қорытындысы

(Заключение санитарного врача или врача-гигиениста по образцам/пробам исследуемой продукции, химических веществ, физических и радиационных факторов):

ҚОСЫМША Б

Енгізу акт

Ф.7.07-14

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі



AUEZOV
UNIVERSITY
1943

Келісілді
ҒЖИ-жөніндегі проректор

Сулейменов У.С.
2025 ж.

«М. ӘУЕЗОВ атындағы Оңтүстік Қазақстан
университеті»

Коммерциялық емес акционерлік қоғам

Бөксев

Академиялық мәселелер
жөніндегі проректор

Имадәлиев Е.И.
2025 ж.

АКТ № 21 17.09.2025

BR 21882292 бағдарламасы: «Құрылыс өндірісінің интегрирленген қалыпты дамуы: инновациялық технологиялар, өндірісті оңтайландыру, ресурстарды тиімді пайдалану және технологиялық паркты құру». 6.2 Бөлім «Өндірістің техногенді қалдықтарын пайдаланып композициялық және арнайы цементтердің инновациялық технологиясын өндеу» ҒЗЖ нәтижелерін оқу процесіне ендіру.

(м/б ҒЗЖ тақырыбының атауы мен шифры)

Осы акт «Силикаттар технологиялары және металлургия» кафедрасында А.Е. Куандыкованың докторлық диссертация «Мырыш және қорғасын өндірісінің қалдықтарын пайдалана отырып, цемент клинкерін өндірудің аз энергияны қажет ететін технологиясы» тақырыбы бойынша орындалған ҒЗЖ қорытындысы бойынша жасалған.

Осы Акт бойынша 2025 жылы орындалған ҒЗЖ қорытындысы «Цемент өндірісінің технологиясының негіздері» пәні бойынша лекциялық сабақтарға енгізілген.

Лекция 7.

Тақырыбы «Портландцемент өндірісінің аз қуатты ресурстарды үнемдейтін және карьерсіз технологиялары». ХТ-22-18к тобы, 6В07101 – Керамика, шыны және тұтастырғыштардың материалтануы мен сараптамасы БББ студенттеріне арналған.

Ресурстарды, энергияны үнемдейтін портландцемент және сульфатқа төзімді цемент өндіретін технологияларында традициялық табиғи шикізаттар өндірістің көптонналы қалдықтарына алмастырылған. Традициялы табиғи састобе кенорнының әктасы осы зауытта ерте жылдары пайда болған әктастың қалдықтарына алмастырылған. Ол әктас қалдығы зауыт ақ және түрлі түсті цемент өндірген кезде пайда болған, қалдықтың көлемі 5-6 млн тонна. Традициялы табиғи састобе кенорнының лессы ленгер шахталарының көмір қалдықтарына алмастырылған. Бұл қалдықтың химиялық және минералогиялық құрамы сазды шикізатпен ұқсас.

Шикізат қоспаның темір реттеуші қоспасы ретінде бұл технологияда Шымкент қорғасын зауытының шлактары немесе Ащісай металлургия зауытының қалдықтары – клинкер вельцевания пайдаланады. Сонымен, клинкер өндіретін шикізат қоспасының үш бірдей компоненті өндіріс қалдықтарымен алмастырылған. Бұл технологияны карьерсіз технология деп атауға болады. Қорғасын шлак минерализатор ретінде клинкер куйдіру температурасын 50-100 градусқа төмендетеді. Ленгер қалдықтарының құрамында 10-15 пайызға дейін көмір бар. Сол қалдықтармен шикізат қоспаға 2,5-3 % көмір қосылады. Ол клинкер пешіне жағатын форсункалық отынды 5 – 15 %-ке төмендетеді. Сонымен цемент клинкерін куйдіргенде 10-20 %-ке отын шығынын төмендетуге мүмкіндік болады, айналмалы пештің өнімділігін 10-15 %-ке жоғарылатуға болады, клинкердің, цементтің өзіндік құны төмендейді, қосымша өнім шығаруға жақсы мүмкіндік туады.

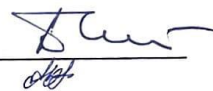
Жоғарыда айтылған қалдықтар зауытта шикізат диірменіне беріліп сумен қосылып ұнтақталады. Шикізат шламының ылғалдығы 2-3% темендейді, себебі көмір қалдықтары шламды сұйылтады. Шламның аққыштығы 60-70 мм болу керек. Шикізат шлам пешке берілгенін форсункадан беретін көмір отынды 10-15% азайту керек. Себебі шламның құрамында 2 – 3 % көмір енгізіледі.

Айналмалы пеште клинкер куйдіру процесі 1300 – 1350°C аяқталады. Байланыспаған СаО 1-2% - тен аспайды. Клинкер салқындатылуға клинкерлі мұздатқышқа беріледі. Салқындалған клинкер 80-100 °С транспортер арқылы клинкер қоймасында беріледі және сақталады. Одан кейін клинкерді қоспалармен диірменде майда ұнтақтап портландцемент және сульфатқа төзімді цемент алады.

ҒЗЖ нәтижелері келесі ғылыми журналдарда жарияланды:

1. Қуандықова А.Е., Таймасов Б., Жаникулов Н.Н. «Портландцемент клинкерін алуда Ащисай металлургиялық зауытының клинкерін реттеуші қоспа ретінде қолдануды зерттеу» Доклады РОО НАН РК, ЧФ «Халық» Серия Химия и технология» Алматы, 2023. №3 – С. 146-156
2. Қуандықова А.Е., Таймасов Б., Потапова Е.А., Жаникулов Н.Н. «Белитті клинкер синтездеу үшін ащисай металлургиялық зауытының клинкерін қолдану» «ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ «ХАЛЫҚ» ЖҚ 2024, Series Chemistry And Technology 1 (458), January – March 2024 Published Since January 1947 Published 4 Times A Year. ALMATY, NAS RK -С. 84-93.
3. Қуандықова А.Е., Таймасов Б., Потапова Е.Н., Жаникулов Н.Н. Изучение микроструктуры клинкеров полученных из металлургических шлаков / Доклады РОО НАН РК, ЧФ «Халық» Серия «Химия и технология» Алматы, 2025. №2. - С.242-257.
4. Kuandykova A.E., B.T. Taimassov, E.N. Potapova и др., «PRODUCTION OF PORTLAND CEMENT CLINKER BASED ON INDUSTRIAL WASTE» Journal of Composites Science . Journal of Composites Science . 2024. 8, 257. <https://doi.org/10.3390/jcs8070257> <https://www.mdpi.com/journal/jcs> Based on Industrial Waste. *Journal of Composites Science*, 8(7), 257. <https://doi.org/10.3390/jcs8070257> Q2, 76% процентиль.

Тақырыптың ғылыми жетекшісі
Докторант



Таймасов Б.Т.
Куандықова А.Е.

Кафедра меңгерушісі



Курбанбаев М.Е.

Академиялық мәселелер жөніндегі
департаменттің директоры



Наукенова А.С.

Ғылыми жобалар және бағдарламалар
департаментінің директоры



Асилбеков Б.К.

Академиялық ғылым департаментінің
директоры



Назарбек Ұ.Б.

Ғылыми қызметті үйлестіру
бөлімінің басшысы



Серкебаев М.К.

ҚОСЫМША В

Технологиялық регламент

TOO «SAS-Tobe Technologies» (TOO «САС-Тобе Технолоджис»)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

комплект документов

*на технологический процесс малоэнергоемкого ресурсосберегающего производства портландцемента и сульфатостойкого цемента с использованием в качестве сырья и добавок отходов дробления известняка Састобе, отходов угледобычи лентерских шахт и свинцовых шлаков Шымкентского завода
ТР 0295839*

СОГЛАСОВАНО

Главный инженер

 Наумов К. С.

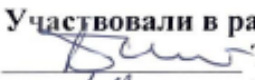
« 15 » 09 2025 г.

Начальник производственного отдела

 Таев Н.

« 15 » 09 2025 г.

Участвовали в разработке

 Таймасов Б.Т.

 Куандыкова А.Е.

 Сарсенбаев Б.К.

 Даулетияров М.С.

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

TOO «SAS-Tobe Technologies»



 Бартенев А.Н.

« 15 » 09 2025 г.

Номенклатура продукции			ТР 0295839-01.2025	5
Разработал	TOO «SAS-Tobe Technologies»		26.51.12	0295839
Проверил				010000 00005
Н.контр.	Цемент (26.51.12)			ТР А
№ п/п	Наименование продукции	Н. Т. Д.	КОД КП ВЭД	
1	2	3	4	
1.	Сульфатостойкий портландцемент ССПЦ 400 Д0	ГОСТ 22266-2013	Цемент отгружается навалом, в мешках и в биг-бэгах	
2.	Сульфатостойкий портландцемент ССПЦ 400 Д20	Цементы сульфатостойкие. Технические условия		
3	Портландцемент СЕМ I	ГОСТ 31108-2020	Цемент отгружается навалом, в мешках и в биг-бэгах	
4.	Портландцемент с добавками СЕМ II/A-III	Цементы общестроительные. Технические условия ГОСТ 31108-2020		
5	Шлакопортландцемент СЕМ III /A	ГОСТ 31108-2020	Цемент отгружается навалом, в мешках и в биг-бэгах	

Удельные нормы расхода материалов и ТЭР				ТР 0295839-01.2015				7
Разработал	ТОО «SAS-Tobe Technologies»			26.51.12		0295839		
Проверил						010000 00007		
Н.контр.	Цемент (26.51.12)					ТР		А
Приход				Расход				
№ пп	Наименование	Ед. измер.	значение	№ пп	Наименование	Ед.измер.	Значение	
1	2	3	4	1	2	3	4	
Материалы на общестроительные и сульфатостойкие цементы								
Цемент			Сульфатостойкий портландцемент ССПЦ 400 Д0	Сульфатостойкий портландцемент ССПЦ 400 Д20	Портландцемент СЕМ I СЕМ II/A-III	Технологические потери кг/т цем		
1.	Клинкер	кг/тн.ц.	935	735	935	735	3	
2.	Гипсовый камень	кг/тн.ц.	65	65	65	65	3	
3.	Шлак фосфорный	кг/тн.ц.	-	200	-	200	3	
5.	Интенсификатор помола	кг/тн.ц.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,01	
Топливо								
Каменный уголь месторождения Майкудук, теплотворная способность 4940-5200 ккал/кг, зольность 20,10 %, летучих 33-34 %								
1.	Топливо всего			1. Обжиг клинкера	кг.усл.топл.	219,5		
				2. Сушка шлака	тн.цем.	10		
				3. Сушка угля	тн.цем.	20		
	в.т.ч уголь	кг.усл.топл.	219,5					
		тн.цем.						
		кг. натур. топлива	307,8					
Электроэнергия								
1.	Электроэнергия всего	кВт·ч/тн. цем.	120					