Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті

ӘОЖ 621.7.044, 4.553.3/.9, 536.2 Қолжазба құқығында

БУЛКАИРОВА ГУЛЬДЕН АЙТБАЕВНА

Электрогидравликалық әдіспен өңделген табиғи шикізаттың жылуфизикалық қасиеттерін зерттеу

8D05303 – Жылуфизика және теориялық жылутехника

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер
доктор PhD
профессор
А.К. Хасенов

техника ғылымдарының кандидаты,
профессор
Б.Р. Нусупбеков

Шетелдік ғылыми кеңесші
физика-математика ғылымдарының докторы,
профессор
Э.Р. Шрагер

Қазақстан Республикасы
Қарағанды, 2025

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР..... 4
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР..... 5
КІРІСПЕ..... 6
1 ТАБИҒИ МИНЕРАЛДЫ ӨҢДЕУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУ МӘСЕЛЕСІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ..... 11
1.1 Кварц минералы және оның Қазақстан Республикасында таралуы..... 11
1.2 Кварц шикізатын өңдеу әдістері..... 16
1.3 Табиғи минералды шикізаттардың қолдану салалары..... 22
2 ЗЕРТТЕУ НЫСАНЫ. ТӘЖІРИБЕЛІК ҚОНДЫРҒЫ МЕН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ..... 32
2.1 Зерттеу нысаны..... 32
2.2 Кварц шикізатын бөлшектеуге және ұнтақтауға арналған электрогидравликалық әдіс..... 33
2.3 Кварц кенін су асты электр разрядымен бөлшектеу және ұнтақтау қондырғысы..... 34
2-бөлім бойынша қорытынды..... 48
3 ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУЛЕР НӘТИЖЕЛЕРІ..... 49
3.1 Кварц минералының бөлшектену дәрежесінің разряд санына тәуелділігі..... 49
3.2 Кварц минералының ұнтақталу массасының ауалық разряд аралық ұзындығына тәуелділігі..... 51
3.3 Кварц минералының ұнтақталу массасының қондырғының жұмыс ұяшығының диаметріне тәуелділігі..... 53
3.4 Кварц минералының ұнтақталу дәрежесінің су мөлшеріне тәуелділігі. 55
3.5 Табиғи кендердің гранулометриялық құрылымын TESCAN MIRA 3 сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен зерттеу..... 58
3.6 JSM 5910 электрондық растрлық сканерлеу микроскопының көмегімен табиғи кендердің беттік құрылымын зерттеу..... 64
3.7 Кварц үлгілерінің элементтік құрамын зерттеу..... 68
3.8 Кварцит қосылысы элементтерінің стехиометриясын есептеу..... 75
3-бөлім бойынша қорытынды..... 77
4 КВАРЦ ҚҰРАМДЫ МАТЕРИАЛДЫҢ ЖЫЛУФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ..... 79
4.1 Кварц кесегі үлгісінің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі 80
4.2 Кварц құрамды үлгілердің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі 82
4.3 Кварц құрамды үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігі..... 87
4.4 Кварц үлгісінің термиялық талдауы..... 89
4-бөлім бойынша қорытынды..... 91
ҚОРЫТЫНДЫ..... 93
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ..... 95

ҚОСЫМША А – Патент..... 102
ҚОСЫМША Ә – Енгізу актісі..... 103

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертациялық жұмыста келесідей мемлекеттік үлгіқалыптарға сілтемелер жасалды:

МЕМСТ 2.105-95. Конструкторлық құжаттаманың бірыңғай жүйесі. Нормабақылау.

МЕМСТ 6.38-50. Құжаттаманың бірыңғай жүйесі. Ұйымдық - басқаратын құжаттама жүйесі. Құжаттарды дайындау талаптары.

МЕСТ Р 51568-99. Металл сым тордан жасалған зертханалық електер.

МЕМСТ 7076-99. Құрылыс материалдары мен бұйымдары.

МЕСТ 17177-94. Жылу оқшаулағыш құрылыс материалдары мен бұйымдары.

МЕМСТ 8.417-81. Өлшеу бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі. Физикалық шамалардың өлшем бірліктері.

МЕМСТ 8736-2014. Құрылыс жұмыстарына арналған құм.

МЕМСТ 2138-91. Құмды қалыптау. Жалпы техникалық шарттар.

МЕМСТ 9077-82. Ұнтақталған шаң тәрізді кварц.

МЕМСТ 28013-98. Құрылыс ерітінділері. Жалпы техникалық шарттар.

МЕМСТ 24211-2008. Бетонға арналған қоспалар. Жалпы талаптар.

МЕМСТ 14180-80. Сынамаларды іріктеу және дайындау.

МЕМСТ 24104-2001. Зертханалық таразы. Жалпы техникалық талаптар.

МЕСТ 17177-94. Жылу оқшаулағыш құрылыс материалдары мен бұйымдары.

МЕМСТ 7.1-84. Кітапханалық және баспалық іс, ақпараттар бойынша стандарттар жүйесі. Құжаттың библиографиялық тізімі. Құрастыру ережелері және жалпы талаптар.

МЕМСТ 7.12-93. Кітапханалық және баспалық іс, ақпараттар бойынша стандарттар жүйесі. Библиографиялық жазу. Орыс тілінде сөздердің қысқартылуы. Жалпы талаптар және ережелер.

МЕМСТ 7.54-88. Ақпарат, кітапханалық және баспалық іс бойынша стандарттар жүйесі. Ғылыми-техникалық құжаттардағы заттар мен материалдардың қасиеттері жөнінде сандық мәндердің келтірілуі. Жалпы талаптар.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

λ	- жылу өткізгіштік коэффициенті
R	- термиялық кедергі коэффициенті
t	- температура
SiO_2	- кремний диоксиді оксиді
Al_2O_3	- алюминий оксиді
Fe_2O_3	- темір оксиді
MnO	- марганец оксиді
MgO	- магний оксиді
CaO	- кальций оксиді
Na_2O	- натрий оксиді
K_2O	- калий оксиді
TiO_2	- титан оксиді
P_2O_5	- фосфор оксиді
Cr	- хром
C	- көміртегі
СЭМ	- сканирлеуші электронды микроскоп
ЭДС	- энерго-дисперсті анализ
ИҚК	- импульсті қабыршақты конденсаторлар
ЭҚК	- электр қозғаушы күш
ЛАЭС	- лазерлік атомды эмиссионды спектрометр

КІРІСПЕ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Табиғи кварц шикізаты электрогидравликалық әдістің көмегімен ұнтақталды. Тәжірибе нәтижелерінен кварцтың ұнтақталу дәрежесі қондырғының жұмыс ұяшығындағы су мөлшеріне, импульстік разрядтар санына, разряд кернеуіне тәуелді екендігі және кварц минералының ұсақталу массасының қондырғының жұмыс ұяшығының диаметріне байланысты болатындығы анықталды. Өңделген кварц ұнтағының беттік құрылымы мен элементтік құрамы зерттеліп, бастапқы өніммен салыстырғанда электрогидравликалық әдіспен өңделген өнімнің құрамы өзгеріске ұшырамайтыны байқалды. Кварц құрамды материалдың жылуфизикалық қасиеттері зерттеліп, зерттеу нәтижесі бойынша алынған материалдың құрамына кварц ұнтағының үлесін 75%-ға дейін арттыру арқылы жылу өткізгіштігі мен термиялық кедергісі бойынша құрлыс саласына қолайлы жылу оқшаулағыш материал алынды.

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі: қазіргі уақытта жылу және энергетикалық ресурстарды ұтымды пайдалану мәселесі өзекті болып отыр. Ел экономикасын дамытудың энергетикалық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында жылу мен энергияны үнемдеу жолдары үздіксіз қарастырылуда. Құрылыста заманауи жылу оқшаулағыш материалдарды қолдану тұрғын үйлер мен өндірістік ғимараттардың жылу қорғанысын едәуір арттыруға, оларды энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді. Осыған байланысты заманауи жылу оқшаулағыш материалдарды пайдалану арқылы әртүрлі мақсаттағы ғимараттардың энергия үнемдеуін арттыру өзекті мәселе болып табылады. Жылу оқшаулағыш материалдарды пайдалану жылуды өндіруге, беруге және сақтауға жұмсалатын энергия шығындарын айтарлықтай азайтып қана қоймайды, сонымен қатар жылу энергиясын өндіруде әрқашан орын алатын қоршаған ортаның ластануын азайтады. Жылу оқшаулағыш материалдардың саны өте көп, сондықтан олардың жылуфизикалық қасиеттерін біле отырып, ең тиімдісін пайдалану қажет.

Қазіргі таңда ұнтақталған кварц ұнтағы әртүрлі салаларда, соның ішінде оптикалық талшықтар, электроника және фотоэлектрлік құрылғылар өндірісінде, құрылыста және т.б. кеңінен қолданылады. Бөлшектердің диаметрі 0,1-ден 0,4 миллиметрге дейінгі материал шыны, керамика және фарфор бұйымдарын, сондай-ақ оқшаулағыш материалдарды жасау үшін қолданылады. Құрлыста диаметрі 0,1-1 мм болатын кварц ұнтағын құрылымдық, жылу оқшаулағыш және әрлеу материалдарын дайындау үшін пайдаланылады. Шыны блокатры үшін кірпіш ерітінділерін дайындауда 0,1-2,0 мм, цемент негізінде плитка желімін дайындауда 0,1-0,6 мм, қаптау тақтайшалары арасындағы тігістер үшін 0,1-0,5 мм, цементті және полимерлі толтырғыш ретінде, жылу оқшаулау жүйелеріне арналған желім толтырғыш ретінде 0,1-0,3 мм, ал саңылауларды жабуға арналған ерітіндінің құрамына 0,3-4,0 мм, еденді тегістеуге арналған қоспалар дайындауда 0,1-2,0 мм, гипсті сылақ үшін 0,1мм болатын кварц ұнтағын қосады. Бұндай өлшемдегі кварц ұнтағын алу әртүрлі

бөлшектеудің, ұнтақтаудың, байытудың және химиялық тазартудың бірнеше кезеңдерін қамтитын күрделі және қымбат өңдеу жұмыстарымен жүзеге асады. Механикалық бөлшектеу және ұнтақтау әдетте тау жыныстарынан минералдарды босатады [1, 2]. Дегенмен материалдарды әртүрлі компоненттердің шекаралары бойынша ұсақтау қиын. Сондықтан, қатты материалдарды және табиғи минералдарды шикізаттарды ұнтақтау маңызды процесс болып табылады. Кварц шикізатын ұсақтаудың ең кең тараған әдісі-механикалық әдіс [3]. Бұл әдіс ұсатқыштарда, роликті және шарлы диірмендерде жүреді және жоғары өнімділігімен қажетті мөлшердегі өнімдерді алуға мүмкіндік береді [4, 5]. Алайда, бұл дәстүрлі механикалық қондырғыларды пайдалану энергияны тұтынуға, соңғы өнімнің сапасына байланысты бірқатар кемшіліктерге ие: алынатын өнім металмен ластануы мүмкін және таза өнімді алуға мүмкіндік бермейді [6]. Тау жыныстарын бөлшектеу және ұсақтау кезінде кристалдардың тұтастығын сақтай отырып және қайта өңдеу өнімдерінің металл бөлшектерімен ластануын болдырмау арқылы бөлшектеуді қамтамасыз ету маңызды. Сол себепті табиғи минералды электрогидравликалық әдіспен ұсақтау қолданыстағы әдістерімен салыстырғанда тиімдірек болады [7].

Осыған байланысты жұмыста табиғи шикізатты өңдеуде электрогидравликалық әдіс қолданылды [8]. Табиғи минералдың электрогидравликалық әдіспен ұсақтау өндірістің тұрақтылығына, инновацияларға және қоршаған ортаны қорғауға ықпал ететін өзекті және перспективалы әдіс болып табылады [9, 10].

Таңдалған тақырыптың өзектілігі кварц ұнтағы құрамды материалдарды қолдану процесінде олардың жылуфизикалық қасиеттерінің жеткіліксіз зерттелген мәселесіне байланысты. Әр түрлі талаптарға жауап беретін жаңа материалдар дайындау қазіргі заманғы техниканың көптеген салаларының жетістіктерін анықтайды. Бұл жылуфизикалық қасиеттері жақсартылған әртүрлі композициялық материалдарды өндіруге және қолдануға қызығушылықтың артуын түсіндіреді [11, 12].

Осы уақытқа дейін еліміздің Ұлытау өңіріндегі Ақтас кен орынынан алынған кварц минералының жылуфизикалық қасиеттері зерттелмеген. Аталған мәселерге байланысты кварц ұнтағы құрамды материалдан әр түрлі үлгілер дайындалып, жылуфизикалық қасиеттеріне зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты электрогидравликалық әдіспен алынған кварц ұнтағы құрамды материалдың жылуфизикалық қасиеттерін зерттеу болып табылады.

Осы мақсатқа сәйкес келесі ***міндеттер*** қойылды:

1. Табиғи кварц минералын бөлшетеуге және ұнтақтауға мүмкіндік беретін электрогидравликалық қондырғының жұмыс ұяшығын әзірлеу.
2. Электрогидравликалық әдістің кварцтың ұнтақталуына әсерін зерттеу;
3. Кварц құрамды материалдың жылуфизикалық қасиеттерін анықтау.
4. Кварц шикізаты массасының өзгерісіне температураның әсерін зерттеу.

Зерттеу нысаны - кварц минералы, кварц құрамды үлгілер.

Зерттеу әдіснамасы. Зерттеу жұмыстарына қажетті әртүрлі нысандар үлгілерді дайындау әдістемесі негізінде дайындалды. Кварц минералының ұнтақтары электрогидравликалық әдіспен алынды. Материалдардың гранулометриялық құрамы елек жиынтықтары арқылы бөлшектердің өлшемдерін анықтау әдісі арқылы анықталды. Кварцит үлгісінің элементтік құрамына құрылымдық және сандық талдау сканерлеуші электрондық микроскопия, растрлық электронды микроскопия, атомдық-эмиссиялық спектрометрия әдістері негізінде жүргізілді. Кварц кесегінен дайындалған үлгінің жылу өткізгіштігі монотонды қыздыру әдісі көмегімен зерттелді. Кварц құрамды материалдың жылу өткізгіштігі мен термиялық кедергісін анықтау стационарлық тәртіпте термоэлектрлік әдіспен жүргізілді. Температураға байланысты кварц үлгісінің массасының өзгеруі термиялық талдау әдісі негізінде жүрзілді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

– табиғи шикізатты электравликалық қондырғының негізгі электрлік және геометриялық параметрлеріне байланысты ұнтақтаудың тәуелділіктері орнатылды. Тиімді параметрлер болып келесілер саналды: импульстер разрядтарының саны $N = 1000$, ауалық разрядтаушы қондырғысының разряд аралық ұзындығы $l = 12мм$, конденсатор батареясының сыйымдылығы С=0,5мкФ кем емес, разряд кернеуі $U = 30кВ$;

– фракция диаметрі 13-17 мм аралығындағы кварц минералын ұнтақтау кезінде диаметрі 1 мм-ден төмен өнім алу үшін, өңделетін шикізаттың көлемімен салыстырғанда судың көлемін 3-5 есеге көбейткенде ($3 \cdot V_{СУ}$ - $5 \cdot V_{СУ}$) өнімнің ұнтақталу дәрежесі артатыны дәлелденді. Су мөлшерін аталған деңгейде арттырғанда дайын өнім шығымы шамамен бірдей деңгейде өзгеретіні анықталды;

– алғаш рет кварц шикізатының беттік құрылымы мен элементтік құрамы зерттелді, электрогидравликалық әдіспен ұнтақталған кварц шиткізаты қоспалары аз кремний диаксидінен (SiO_2) тұратыны анықталды;

– 298-313К температура режимдерінде кварц құрамды материалдың жылу өткізгіштік коэффициенті (λ=0,627-0,631 Вт/м·К) және термиялық кедергісінің (R=0,040-0,041 $м^2 \cdot К/Вт$) өзгеру заңдылығы анықталды. Зерттелетін үлгі құрамына кварц ұнтағын 70 және 75% қосу арқылы, жылу өткізгіштік коэффициенті мен термиялық кедергісі қолайлы материал алынды;

– электрогидравликалық әдістің көмегімен ұнтақталған диаметрі 0,1 мм-ден кіші кварц үлгілерін 1097,5°С-ға дейін қыздыру барысында Ақтас кен орынынан алынған кварц үлгісінің массалық үлесі 99,45%-ды, ал Надырбай кен орынынан алынған кварц үлгісінің массалық үлесі 99,34% құрады;

– табиғи шикізатты өңдеуге арналған жаңа электрогидравликалық құрылғы ұсынылып, №8985 «Кварц материалын ұнтақтауға арналған электрогидравликалық құрылғы» атты пайдалы модельге патент алынды.

Қорғауға ұсынылған негізгі қағидаттар:

1. Импульсті разрядтар саны 1000, конденсатордың сыйымдылығы 0,25-1 мкФ аралығында болғанда ұнтақ диаметрі 0,2 мм-ден төмен шикізат алуға

мүмкіндік беретін электрогидравликалық қондырғының жұмыс ұяшығы жасалды.

2. Қоспаның құрамына электрогидравликалық қондырғының көмегімен алынған кварц ұнтағын 70 және 75% мөлшерінде қосқанда құрылысқа тиімді жылу өткізгіштігі мен термиялық кедергісі бойынша шикізат алынды.

3. Электрогидравликалық әдіспен ұнтақталған диаметрі 0,1 мм – ден кіші кварц үлгілерін 1097,5°С-ға дейін қыздыру барысында Ақтас кен орынынан алынған кварц үлгісінің массалық үлесі 99,45%-ды, ал Надырбай кен орынынан алынған кварц үлгісінің массалық үлесі 99,34% құрады.

Автордың жеке үлесі. Диссертацияда ұсынылған зерттеу нәтижелерін автордың өзі алған. Мәселені қою, міндеттерді қалыптастыру және оларды шешу жолдарын іздеу, зерттелетін үлгілерді дайындау, тәжірибе жүргізу, ғылыми тұжырымдар мен практикалық ұсыныстарды автор жеке өзі жүргізді. Тәжірибелік өлшеулердің нәтижелері компьютерлік өңдеуден өткізілді. Зерттеу нәтижелерін талдау мен жұмыстың жалпы қорытындыларын ғылыми кеңесшілерімен бірлесе орындады.

Жұмыстың мемлекеттік ғылыми бағдарламалар жоспарымен байланысы. Диссертация тақырыбы бойынша ғылыми зерттеулер 2022-2024 жылдарға арналған ҚР Білім және ғылым министрлігінің гранттық қаржыландыру ғылыми-зерттеу жобасының №191/30-22-24 «Минералды шикізатты, өнеркәсіптік және тұрмыстық қалдықтарды өңдеудің жоғары тиімді технологиясы» жоспары аясында орындалды, мемлекеттік тіркеу нөмірі №AP14870607.

Жұмыстар мен жарияланымдардың аппробациясы. Жұмыстың негізгі нәтижелері конференцияларда баяндалып, талқыланды: «Бейсызық жүйелердегі хаос және құрылымдар. Теория және тәжірибе: 12-ші Халықаралық ғылыми конференциясы (Павлодар, 2022); «Цифрлық трансформация жағдайында зияткерлік капиталды қалыптастыру: тәжірибе, сын-тегеуріндер, перспективалар» Халықаралық ғылыми-практикалық онлайн конференциясы (Қарағанды, 2022); «Modern scientific challenges and trends» international scientific conference (Warsawa, 2023).

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың қорытындысы бойынша 8 баспа жұмысы жарияланды: Thomson Reuters және Scopus базасына кіретін журналда 2 мақала (2 мақала - Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 2024, IF – 2.2, Q3, процентиль – 46), ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 3 мақала және халықаралық конференциялар материалдарында 3 мақала жарияланды. Сонымен бірге, «Кварц материалын ұнтақтауға арналған электрогидравликалық құрылғы» 29.12.2023 ж. №8985 пайдалы модельге патент (Қосымша А) алынды.

Жұмыстың практикалық құндылығы минералды шикізатты электрогидравликалық әдіспен өңдеу дәстүрлі түрде силикат материалдарын өндіруде негізгі шикізат компоненті ретінде, құрылыстың әртүрлі

салаларында құрылымдық, жылу оқшаулағыш және әрлеу материалдары ретінде қолданылады. Зерттеу нәтижелері энергетикалық және минералды ресурстарды тиімді пайдалану үшін экологиялық таза технологияның бірі - электрогидравликалық әдіспен өңделген шикізатты қолдана отырып, құрылысқа тиімді материал жасауға мүмкіндік береді. Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің физика-техникалық факультетінің профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылуфизикасы кафедрасында оқу процесіне еңгізу актісі алынды. Зерттеу нәтижелері «6В07103 - Жылу энергетикасы», «7М07104 - Жылу энергетикасы» және «8D05303 - Жылуфизика және теориялық жылутехника» білім беру бағдарламалары үшін оқылатын келесі пәндердің дәрістік және семинарлық сабақтарында қолданылады: «Жылумассалмасу», «Жылу беру негіздері», «Импульстік құбылыстар физикасы», «Разрядты-импульстік технологияның арнайы тараулары», «Су асты электр жарылысымен материалдарды бұзу» (Қосымша Ә).

Алынған мәліметтердің дұрыстығы мен сенімділігі конференцияның негізгі нәтижелерін, жарияланған ғылыми мақалаларды және іске асыру туралы актілерді тәжірибелік зерттеулер негізінде алынған мәліметтердің жеткілікті үлкен көлемімен расталады**.**

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыстың құрылымы қойылған міндеттерге сай орындалып, кіріспеден, 4 бөлімнен және қорытынды мен қосымшадан тұрады. Жұмыстың мәтіні 101 бетте жазылып, 51 сурет, 20 кесте және 116 пайдаланылған әдебиеттер тізімін қамтиды.

1 ТАБИҒИ МИНЕРАЛДЫ ӨҢДЕУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУ МӘСЕЛЕСІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

1.1 Кварц минералы және оның Қазақстан Республикасында таралуы

Қазақстан Республикасы табиғи минералдарға өте бай мемлекет. Қазіргі кезде біздің елімізде табиғи кварц минералын өңдеп, өндірісте қолдану аса қызығушылықты тудыратын, әрі жаңадан зерттеліп келе жатқан пайдалы қазбалар өте көп. Келешекте кремний өнімдеріне сұраныстың артатыны сөзсіз. Мұны қазіргі кезде күн фотоэнергетикасы және оптоэлектроника бұйымдарын өндіруге байланысты кремний өнімі нарығының қажетті деңгейде өсуінен көруге болады.

Өндіріске жарамды таза кремний диаксидінің мөлшері 99,90% болу керек. Сондықтан, оны өндіру үшін құрамында бор, алюминий, фосфор, темір, кальций болатын, аз қоспалардың жиынтығынан тұратын кварциттық кен орындары болу қажет. Қазақстандағы кварцтық кен орындары тазалығы және құрамы бойынша бұл талаптарға сай келеді. Құрамында 50-78% кремнийі бар қара және түрлі-түсті металлургияға қажет ферросилиций өнімін Ақсуда, Екібастұзда, Ақтөбедегі ферробалқыту зауыттарында және Павлодар қаласындағы алюминий зауытында өндіреді [13].

Техникалық кремний ағылшын тіліндегі әдебиеттерде – Silicon Metal (металды кремний), ол кварц шикізаттарынан өндіріледі. Техникалық кремнийдің бүгінгі күндегі өндіру әдісі – электр доғалы пеште екі оксидті кремнийді картотермиялық еріту. Алынған техникалық кремнийдің тазалық көрсеткіші 80-90%-ға тең. Техникалық кремний көптеген елдерде, әсіресе АҚШ, Жапония, Германия, Франция, Норвегия, Бразилия, Қытай мемлекеттерінде өндіріледі [14].

Қазақстандағы барлық 20 кварцтық кен орындарынан тек 17 кен орыны Орталық Қазақстанда, Ұлытау аумағындағы орналасқан. Кварц шикізатының ірі кен орындары – Ақтас пен Сарыкөл болып табылады. Сонымен бірге, кварц және кварциттерді өндіретін 5- кәсіпорын бар: Ақмола обылысында – екеу, Қарағанды облысында – екеу, Алматы облысында – біреу. Осының барлығы, Қазақстанда толық циклды жоғары технологиялық өндіріс орындарын құруға болатындығын, сонымен бірге әлемдік нарыққа шығаратын жолды көрсетеді. Біршама таза он - кварц кен орындары бар: Ақтас, Ахметкин, Бакенді, Белогорск, Достижении, Жанатас, Жосалы, Қараөткел, Сарыкөл, Юбелейный.

Сарыкөл кен орынында өзекті-ақ түсті кварц кең таралған. Өзекті кварцты шыны өнеркәсіптерінде технологиялық шыны, оптикалық шыны жасау үшін, ал металлургиялық кәсіпорындар ферроеріткіш, фарфорофаянсты өндірісте және т.б. заттар жасау үшін қолданылады. Қарағанды облысында орналасқан Ақтас және Ақшоқы III кен орындарында тау хрусталі мен өзекті кварц шикізаты кездеседі.

Геологиялық зерттеулер көрсеткендей, біздің елемезде ең ірі кварц минерал қорлары бар [15]. Осының барлығы, әртүрлі салалардағы кварц

ұнтағына әлемдік сұранысты қанағаттандыруға мүмкіндік береді және кен орындарында минерал өндіру мен байытуды жедел ұйымдастыру қажет етеді. Сондықтан қазіргі заманғы өнеркәсіптің дамуына негіз болып табылатын металл емес кварц материалдарын тұтынудың артуы өндіру көлемін ұлғайтуды және пайдалы қазбаларды байытуды талап етеді.

Ерекше таза кварцитке химиялық және физикалық қасиеттері бойынша отандық өнеркәсіптің талаптарына сәйкес келетін және әлемдік деңгейге жауап беретін жоғары сапалы кварц концентраттарын байытудың әртүрлі әдістерімен алуға жарамды кварц шикізаты жатады.

Кварц - бұл өнеркәсіпте де, күнделікті өмірде де әр түрлі салаларда қолданылатын көп қырлы минерал. Қазақстан әлемдік нарықта өзінің кварц ұнтағын экспорттаушыларымен бүкіл әлем бойынша салалардың қажеттіліктерін қанағаттандыруға айтарлықтай үлес қосуды жалғастыруда. Кварц ұнтағы құрылыстағы құрылымдарды нығайту немесе біздің күнделікті өмірімізде және әртүрлі салаларда оның маңыздылығын көрсететін таптырмас шикізат болып қала береді. Әмбебап материал ретінде кварц ұнтағы әртүрлі салаларда сұранысқа ие ететін көптеген қасиеттерге ие.

Кварцты өнеркәсіптік мақсаттарға жарамдылығының негізгі критерийі-кремнеземнің жоғары мөлшері. SiO_2-нің жоғары мөлшері және қоспалардың төмен деңгейі қолайлы көрсеткіштер болып саналады. Кварц өте тұрақты және ауа райымен оңай әсер етпейді. Кварцтың үлкен кесегін ұнтаққа тиімді жолмен оңай айналдыруға болады.

Кварцтың өнеркәсіпте құндылығы оның тазалығымен және бөгде заттардың болмауымен анықталады [16]. Жоғары тазартылған кварц шикізаты қазіргі заманғы өнеркәсіптің ең перспективті салаларында - электроника, оптика, жарық техникасы, жартылай өткізгіш материалдарды, байланыс желілерінің талшықты-оптикалық элементтерін және басқа да салаларда кеңінен қолданылады.

Қазақстан Республикасы үшін кварц шикізатын аталған және басқа да жаңа салаларда қолдану бойынша зерттеулерді жалғастырып, аса жұқа материалдар өндіру технологиясын әзірлеумен бір мезгілде жүргізген жөн.

Қазіргі уақытта ғимараттардың жылу қорғанысының қажетті деңгейін қамтамасыз ететін көптеген құрылыс құрылымдары бар [17]. Құрылыс индустриясы кәсіпорындарында минералды шикізатты пайдалану барлық аймақтар үшін өзекті. Құрылыс материалдарын өндірудегі маңызды мәселелердің бірі-өнімдер мен құрылымдарды өндірудің энергия шығыны мен материал сыйымдылығының төмендеуі.

Қазіргі таңда жергілікті шикізат негізінде құрылыс материалдарын алуға ерекше назар аударылады. Цемент қажеттілігін азайту құрылыс материалдарын өндіретін кәсіпорындарда жергілікті табиғи минералды шикізатты ұнтақтау және кейіннен минералды қоспаларды портландцементпен араластыру арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Мұндай жол технологиялық және экономикалық тұрғыдан өте өзекті және перспективалы болып табылады. Құрылыс жұмыстарын жүргізуге арналған

көптеген материалдар өнімнің сенімділігін қамтамасыз ететін белгілі бір қасиеттерге ие табиғи компоненттерден тұрады. Көптеген құрылыс материалдарын өндіру үшін оның құрамына жеткілікті мөлшерде табиғи компоненттер қосылады [18]. Мұндай компоненттердің қатарына ашық әдісіпен өндірілетін табиғи минерал - кварц болып табылады.

Кварц - жер бетіндегі ең көп таралған минералдардың бірі және генезисі бойынша әртүрлі тау жыныстары мен кендердің құрамына кіреді. Кварц кремний диоксиді бар магмалық жыныстардың маңызды құрамдас бөлігі ретінде кездеседі. Магмалық жыныстардағы кварцтың жалпы мөлшері шамамен 12% құрайды. Кварц көптеген магмалық және метаморфтық тау жыныстарының құрамына кіреді: гранит, порфир, гнейс. Ол механикалық және химиялық әсерлерге өте төзімді, сондықтан құрамында магмалық жыныстар жойылған кезде кварц дәндері пайда болады [19]. Кварцтың жер бетінде өте көп мөлшері бар және ол көптеген минералдардың бөлігі болып табылады. Бұл жер бетіндегі ең көп таралған екінші минерал. Оның салмағы тонна болатын үлкен өлшемді кристалдар түрінде де, өлшемі бірнеше микрон болатын құм немесе ұсақ бөлшектер түрінде де кездеседі. Кварц-силикат минералдары тобына жататын минерал, оған дала шпаттары, слюдалар және цеолиттер кіреді. Бұл жер бетіндегі ең көп таралған минералдардың бірі және оны әртүрлі геологиялық орталарда табуға болады.

Магмалық және метаморфтық жыныстарда кварц басқа минералдармен біріктірілген дұрыс емес изометриялық дәндерді құрайды. Шөгінді жыныстарда-алдыңғы ауа-райының нәтижесі ретінде кішкентай дөңгелек немесе қабықшалар түрінде кездеседі. Мұндай бөлшектер көбінесе кварциттердің, халцедондардың, яшмалардың және басқа жыныстардың әртүрлі дәрежеде дөңгелектелген сынықтары болып табылатын агрегаттық жұқа түйіршікті қосылысты анықтайды.

Егер кварцтың таза түрін қарастыратын болсақ, ол түссіз немесе ақ болады, мұның бәрі оның жарықтары немесе құрылымдық ақауларының болуына байланысты. Тастың түсі оның құрамындағы қандай да бір элементтің, оксидтің болуына байланысты пайда болады, ол тасты белгілі бір түске бояйды. Мұндай қоспалар көп болуы мүмкін, сонымен қатар олардың комбинациясы бар, сондықтан кварцтардың көптеген түрлері бар: тау хрусталі -түссіз және мүлдем мөлдір кварц, түтінді кварц (раухтопаз) - ашық қоңыр немесе ашық сұр, морион-қара, аметист-күлгін, цитрин-лимон сары. Сонымен бірге ол температураға және агрессивті заттардың әсеріне жақсы төзімділік сипаттамаларына ие. Кварц мүлдем басқа геологиялық және табиғи үдерістерге байланысты пайда болуы мүмкін. Бұған ауа-райы жағдайлары да, ылғалдылық, температура, тас массаларына түсетін қысым да әсер етеді. Кварцтар үшін шикізат қышқыл магма, негізінен гранитті қосылыстар болып табылады. Мұндай жыныстарда кварц шамамен 700 градус температурада түзіледі [20].

«Кварц» атауының шығу тегі туралы мәселені Томкеев 1942 жылы талқылады. Бұл термин XVIII ғасырда осы кристалды белгілеу үшін

қолданылатын «кристалл» және «тау жынысы кристалы» атаулары қолданылды.

Кварц құрылымдық талдаумен айналысатын зерттеушілердің назарын аударуда. Олардың ішінде көрнекті орын монокристалдар мен поликристалды агрегаттардың тәжірибелік деформацияларының нәтижелерін сипаттауға жатады, алайда олардың көпшілігі әртүрлі геологиялық нысандардың тектоникалық эволюциясын ашу мақсатында табиғи деформацияланған кварц пен құрамында кварц бар жыныстарды қолдануға тырысады.

Кварц-бұл оттегі мен кремнийге бай тастар, олар біздің жер қыртысының барлық массасының жартысынан көбін құрайды. Олар оны әртүрлі жолдармен атай алады, ғылыми – кремний диоксиді немесе кремний, қарапайым тілде – кварц. Қоспалар мен силикаттар түріндегі басқа минералдардың құрамына кіреді. Жалпы алғанда, жер қыртысындағы кварцтың массалық үлесі 60%-дан асады. Оның көптеген түрлері бар және басқа минералдар сияқты түсі де, орналасу пішіні де, генезисі де әртүрлі. Ол кен орындарының барлық дерлік түрлерінде кездеседі. Кварцтың барлық көптеген түрлерін кристалдарға бөлуге болады - тау кристалы, түтінді кварц, морион, аметист, цитрин және т.б.; жасырын кристалды - халцедондар: хризопраз, карнель, карнеол, сардер, сапфирин, шақпақ тас, агат, оникс және т.б., сондай-ақ аморфты опал түрінде. Кварцтың түзілу температурасы 570-650ºС аралығында, кварц түзіле алмайтын сәт 21 км тереңдікте болады. Әртүрлі магмалық, метаморфтық және шөгінді жыныстардың үлкен санында болады. Кварц минералы кристалдық құрылымы бойынша оксидтер арасында ерекше орын алады және кристалдық құрылымдары силикаттарға тікелей қатысты.

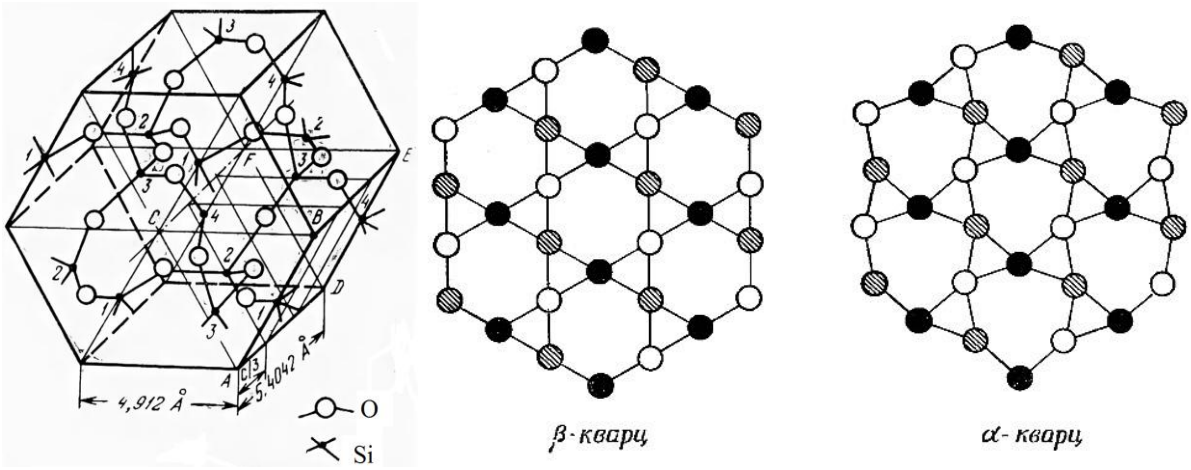
Кварцит, кварц құмтасы және өзекті кварцы өнеркәсіп орындарында негізінен жоғары кремнийлі жыныстар ретінде пайдаланылады. Олардың көпшілігінің негізгі минералы – кварц. Ол азды-көпті таза кремний қышқылы болып табылатын минерал. Кварцтың теориялық химиялық құрамына 46,7% Si және 53,3% O бар, молекулалық салмағы – 60,09.

Кристалды кварц-жер бетіндегі ең көп таралған қосылыс. Кварц жоғары механикалық беріктікті, химиялық төзімділікті және диэлектрлік қасиеттерді айқын пьезоэлектрлік қасиеттермен біріктіреді, бұл өнімділік тұрақтылығы жоғары пьезоэлектрлік құрылғыларды жобалауға мүмкіндік береді [21].

Кристалды кремний диоксиді SiO_2 модификациясының үш тобы анықталды: кварц (β және α модификациясы), тридимит (модификация γ, β және α) және кристобалит (β және α модификациясы); әр түрдегі фазалық түрленулер үлкен жылдамдықпен сипатталады, ал тек балқымалар немесе су буы немесе кейбір басқа минерализаторлар болған кезде бір түрден екіншісіне ауысу өте баяу жүреді. Кристалдық пішіннен басқа, кремний диоксиді аморфты (шыны тәрізді, коллоидты) түрінде де кездеседі. Атмосфералық қысымда α-кварц 573°С-тан төмен аймақта, β - кварц 573°С – 867°С температура аймағында тұрақты болады. 880-ден 1470°С-қа дейінгі температурада пайда болған α- тридимит және 1470-тен 1710°С-қа дейінгі температурада пайда болған α- кристабалит. Ол 1728°С температурада балқып, тұтқыр шыны

массасын түзеді, ол салқындаған кезде кварц әйнегіне айналады (кремнеземнің аморфты түрі) [22]. Кварцтың қаттылығы Моос шкаласы бойынша 7 баллды құрайды, бұл оны ең қатты минералдардың біріне айналдырады. 360-600 кбар соққы жүктемесінің әсерінен кварц кристалдары (аморфты кремний диоксиді) аморфты болады. Балқу температурасы 1710°С. Кварцтың тығыздығы - 2,60-2,65 г/см^3. Бұл минералдың әртүрлі салаларына қолданылу мүмкіндігін беретін жақсы көрсеткіштерге ие. Техникада өбінесе пьезоэффектісі бар β-кварц кеңінен қолданылады, сондықтан оны кварц деп атайды.

Кварцтың кристалдық құрылымы (SiO_2) кремнийдің қоршаған ортасының ерекшелігімен сипатталуы мүмкін. Кварц құрылымының негізі үшінші ретті симметрия осінде орналасқан SiO_4 тетраэдрлік бұрандалы тізбектер болып табылады. Кристалл құрылымында оң заряды +4е болатын әрбір Si ионы тетраэдрлік түрде төрт О ионымен қоршалған, олардың әрқайсысы теріс зарядтары-2е және әрбір О ионы екі Si ионын байланыстырады [23]. Оның кристалдық жүйесі тригональды, яғни оның негізгі жазықтығына перпендикуляр осьтің айналасында үштік симметрия бар (1.1-сурет).



а ә б

Сурет 1.1 – Кварцтың құрылымдық ұяшығы

Қазіргі уақытта кремний диоксиді (α-SiO_2) байланыс үшін талшықты оптика, лазерлік оприкады ультракүлгін лазерлер мен жұқа пленкалар (жоғары таратқыш) дайындау үшін кеңінен қолданылады.

Кварц - диэлектрик, ол электр тоғын нашар өткізеді [24]. Бұл жағдайда пьезоэлектрик электр өрісінің әсерінен деформациялануы немесе деформация кезінде электр зарядын тудыруы мүмкін. Кварцит, кварц құмдары және өзекті кварц өнеркәсіп негізінен жоғары кремнийлі жыныстар ретінде пайдаланады. Кварцтың теориялық химиялық құрамы 46,7% Si және 57,3% О; молекулалық салмағы 60,09. Іс жүзінде кварц бұл құрамда өте сирек кездеседі, өйткені олар әдетте әр түрлі қоспаларды қамтиды: газдар мен сұйықтықтардың көпіршіктері, турмалин мен рутил инелері, кейде слюда жапырақтары, минералданған кварц түрлері және басқа да көптеген минералдар [25]. Кварцтың түсі әртүрлі басқа минералдардың қоспаларына байланысты болып келеді. Түсі бойынша кварц

түрлері ерекшеленеді. Таза кварц түссіз немесе сүтті ақ түрінде болады. Ультракүлгін сәулелерді жақсы өткізеді. Кремнеземді жыныстарды өнеркәсіптік пайдалану сипаты кварцтың ерекшеліктеріне байланысты болады. Соңғы уақытқа дейін табиғи кварц монокристалдары (тау кристалы) пьезоэлектрлік өнімдерді өндіруге арналған жалғыз шикізат болып табылады. Табиғи кварц шикізатынан алынатын өнім түрлеріне сәйкес екі негізгі технологиялық түрге бөлінеді: пьезооптикалық кварц шикізаты және шыны өндіруге арналған кварц шикізаты.

Табиғи кварц минералының жоғары сапасы мен қол жетімді бағасының арқасында ол керамика, химия, металлургия және электронды сияқты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Сонымен бірге, кварц ұнтағы құрылыста да кеңінен қолданылады. Көптеген құрылыс материалдарын өндіру үшін оның құрамына жеткілікті мөлшерде табиғи компоненттер қосады. Ол құрылыс секторындағы цемент, бетон және басқа құрылыс материалдарына қосылады. Сонымен бірге, кварц ұнтағы құрылыс өнеркәсібінде толтырғыш ретінде пайдаланылады, қоспаның көлемі мен беріктілігін басқа материалдармен біріктіреді. Бұл шикізаттың үлкен көлемдегі қоспалары әртүрлі материалдардың беріктілігін шамамен 100 есе арттырады. Құрамына қосылған кварц ұнтағының арқасында бұл материалдар берік және серпімді болады, бұл оларды тозуға және ауа-райына төзімді етеді.

Кварц ұнтағы құрғақ құрылыс қоспаларын өндіру үшін қолданылады [26]. Олар бетонды қалпына келтіруде, пештер мен каминдерді төсеу үшін, еден төсеу жабдықтары, құрылымдарды гидрооқшаулау үшін, сондай-ақ үй-жайлардың ішкі және сыртқы қабырғаларын безендіру үшін қолданылады. Сонымен бірге, беріктігін, ауа-райына төзімділігін, жабындар мен тығыздағыштардың құрылымы мен сыртқы түрін жақсарту үшін кварц ұнтағы кеңінен қолданылады.

Әмбебап материал ретінде кварц ұнтағы әртүрлі салаларда сұранысқа ие болатын көптеген қасиеттерге ие. Тау жыныстарының қасиеттерін теориялық және эксперименттік тұрғыдан зерттеу мәселелері бүгінгі күнге дейін өзекті болып келеді. Оны белгілі бір салада қолдану кварц түріне және оның физикалық көрсеткіштеріне тікелей байланысты. Сондықтан, қоршаған ортаның әртүрлі температуралық режиміндегі жылуфизикалық қасиеттері білу маңызды [27].

1.2 Кварц шикізатын өңдеу әдістері

Кварц шикізатын көптеген салаларда қолдану оны басқа материалдардан өзгешелендіретін бірқатар ерекшеліктерге ие. Құрылымы бойынша бұл материал табиғи жағдайда түзілетін немесе арнайы өңдеуден кейін өндірілетін ұсақталған кварц болып табылады. Кварц минералын бөлшектеу және ұнтақтау әр түрлі салаларда оны өңдеудің ең танымал шешіміне айналуда. Кварц шикізаты, әдетте, табиғи кварциттерден алынған гранулометриялық құрамы бар химиялық таза жұқа дисперсті ұнтақ болып табылады.

Қазіргі кезде минералды шикізатты ұнтақтау мәселесі әсіресе жұқа дисперсті ұнтақ материалдарын алу қажеттілігіне байланысты өзекті болып отыр. Бұл тау жыныстарын өңдеуде ерекше маңызға ие болып табылады. Минералды шикізаттарды өңдеу дәстүрлі түрде силикат материалдарын өндіруде негізгі шикізат компоненті ретінде, құрылыстың әртүрлі салаларында құрылымдық, жылу оқшаулағыш және әрлеу материалдары ретінде қолданылады. Сондай-ақ, ұнтақтау операциясы металлургияда, химия өнеркәсібінде, цемент, керамика, тау-кен, құрылыс және т.б. салаларда маңызды процесс болып табылады. Сонымен бірге, кейінгі операциялар үшін бөлшектердің мөлшеріне сәйкес келетін таңдаулы материалдарды алуды қамтамасыз ету мәселесін шешеді [28-30].

Бұл ұнтақтау процесінің тиімділігі өндірілетін материалдардың өнімділігі мен сапасына тікелей әсер етеді. Көптеген жылдар бойы ұсақтау, бөлшектеу негізіндегі ұнтақтау әдістерін қолданатын механикалық ұнтақтау кеңінен қолданылып келеді. Механикалық ұнтақтау әдісі арнайы ұсақтау қондырғыларында жүзеге асады. Табиғи кендерді бөлшектеу және ұнтақтау кезінде әртүрлі механикалық әдістер мен диірмендер кеңінен қолданылады. Бөлшектеу мен ұнтақтаудың негізгі мақсаты-кендегі пайдалы минералдарды бос жыныстардан бөлу. Әрбір ұсақтау қондырғысында, әдетте, бөлшектеу мен ұнтақтаудың барлық әдістері жүзеге асырылады. Әдетте, ұнтақтау процесінде күш жүктемелерінің атап айтқанда, ұсақтау және үйкелу, соққы және үйкелу т.б. жүктемелердің әртүрлі түрлеріне, сондай-ақ қондырғылардың конструкцияларына, ұнтақталған материалдардың әртүрлі қасиеттері мен өлшемдеріне және бастапқы материал мен дайын өнімнің мөлшеріне қойылатын талаптарға байланысты болады. Алайда ұсақтағыштар жұмыс істеген кезде олардың конструкцияларына байланысты ұнтақтаудың бір немесе басқа әдісі басым болуы мүмкін.

Минералды шикізаттарды ұнтақтау үшін әртүрлі диірмендер қолданылады: өңдеу тиімділігі мен энергия шығыны барабанның айналу жылдамдығына, шарлардың массасы мен өлшемдеріне және суспензия концентрациясына байланысты болатын шар диірмендері; материалды ұсақтау арқылы ұнтақтайтын өзекті диірмендер; іші жылжымалы және сырты қозғалмайтын конустар арасындағы саңылауларды өзгерту арқылы материалды ұнтақтау процесін пайдаланатын конустық ұсатқыштар; материал айналмалы барабанның ішінде ұсақтау денелерінің әсерінен немесе өздігінен ұнтақтаталатын барабанды диірмендері; ұнтақтау дыбыстық немесе дыбыстан жоғары саптамалар арқылы газ ағынын беру арқылы жүзеге асырылатын ағынды диірмендер. Осы саладағы зерттеулердің ең толық мазмұны С.Е. Андреевтің, В.А. Олевскийдің және басқа да бірқатар авторлардың еңбектерінде қарастырылған [31-36]. Барлық механикалық ұсатқыштардың бір ортақ түйіні - айналмалы жұмыс бөлігі орнатылған айналмалы білігі болып табылады. Корпуста қозғалмайтын жұмыс бөлігі орнатылған. Ұсақтау қозғалмайтын және айналмалы жұмыс бөліктерінің арасында жүреді. Ұсақтағыштардың жетегі қозғалысты электр қозғалтқышынан тікелей білікке

немесе беріліс арқылы беру арқылы жүзеге асырылады. Ұнтақтау құрылғыларының негізгі айырмашылықтары-олардың жұмыс бөліктерінің құрылымдары, берілген айналымдар саны және жұмыс принципі болып табылады. Бұл қондырғылар кенді жұқа ұнтаққа дейін ұнтақтайды.

[37, 38] жұмыстарда дірілді ұсатқыштар, соның ішінде олардың механикалық сұлбалары, құрылымдық ерекшеліктері, жұмыс принциптері және негізгі техникалық сипаттамалары зерттелген. Осы ұсатқыштарды қолдана отырып, ұсақтаудың технологиялық желілерінің мысалдары келтірілген. Сонымен қатар, тиеу өнімділігін оңтайландыру арқылы тау жыныстарын ұсақтау үшін діріл диірменінің тиімділігін арттыруға бағытталған зерттеулер жүргізілген. Алайда, дірілді ұсатқыштар жұмыс кезінде қатты діріл береді және ұсақталған өнімнің біркелкі емес мөлшерін береді.

[39] зерттеу жұмысында бөлшектер мөлшерінің таралуының және кальцит, гематит және кварц қоспаларының компоненттерінің көлемдік қатынасының шар диірмендеріндегі ұнтақтау кинетикасына әсерін зерттейтін тәжірибелер нәтижелері келтірілген. Сынақ нәтижелері көрсеткендей, екі минерал қоспасының ұсақталған өнімінің мөлшерінің таралуы осы минералдардың ұсақталған өнімдерінің мөлшерінің бірдей уақыт ішінде әрқайсысының жеке ұнтақталуымен бірдей болып шықты. Сондай-ақ, кварц бөлшектері кварц пен гематит қоспасының ірі бөлшектерінің бөлшектені жылдамдығын арттыруға тиімді ықпал ететіні анықталды, ал кальцит үшін гематиттің ұсақ бөлшектері ең тиімді болып шықты. Бұл компоненттердің қаттылығы мен тығыздығынан басқа, диірменге жеткізілетін және қоспаға сіңетін энергияның үлесін анықтайтын белгісіз басқа да қасиеттер бар екенін көрсетеді.

[40] жұмыста соққы түріндегі тік шахталы ұсақтағышта бөлшектердің ұсақтау әрекетін зерттеуге арналған белсенді соққылы ұсақтауға арналған тәжірибелік қондырғы жасалып, құрастырылған. Әктас бөлшектерін ұсақтау тәжірибелері соққы жылдамдығы мен бөлшектер мөлшерінің олардың ұсақталу ықтималдығына әсерін, сондай-ақ ұсақталған өнімдердің фракцияларға таралуын зерттеу мақсатында осы құрылғыны қолдану арқылы жүзеге асырылады. Тәжірибелердің нәтижелері бөлшектердің ұсақталу ықтималдығы әсер ету энергиясына және олардың мөлшеріне байланысты екенін көрсетеді, ал бөлшектердің беріктігі олардың мөлшерінің төмендеуімен артады. Бұл зерттеу әсер ететін тік шахталы ұсатқыштарындағы материалдарды ұсақтау процесін оңтайландырудың теориялық негізін ұсынады. Кенді материалдарды ұнтақтауға арналған соққы диірмендері, әдетте, ұсақталған шикізаттың физика-механикалық қасиеттерінің әртүрлілігін ескермейді және шектеулі бір-екі актілі механикалық әсерлерді қолданады, бұл кенді материалды тиімді бөлшектеу үшін жеткіліксіз болып табылады. Ұсақ бөлшектерді бөлшектеу үшін жоғары еркін соққы жылдамдығын қажет ететін құрылғыларда бөлшектердің жұмыс жылдамдығын шектеу негізінен техникалық мәселелермен байланысты. Алайда, бұндай қондырғыларда жылдамдықтың жоғарылауымен жұмыс бөліктері мен металл қабаттарының тозу қарқындылығы едәуір артады.

Ортадан тепкіш бөлшектегіштер мен конустық ұнтақтағышты қолдана отырып, магнетит кварциттерін ұсақтау процесін зерттеу [41] зерттелген. Ортадан тепкіш бөлшектегіштерді қолданудың артықшылықтары сипатталған. Бұл құрылғыларда материалды бөлшектеудің математикалық моделі жасалған.

[42] зерттеу жұмысында зертханалық конустық ұсатқышта ұнтақтау процесіндегі өзгерістерді бағалау үшін 17 түрлі тау жыныстарын қарастырды. Әр тау жынысы үшін анықталған бірқатар минералогиялық, физика-механикалық және агрегаттық қасиеттерге сүйене отырып, ұсақтау сынақтары жүргізілген. Нәтижелер конустық ұсатқыштағы тау жыныстарының ұнтақталу дәрежесін мөлшердің азаю коэффициентіндегі айырмашылықтарға және соңғы өнімнің кішірек өлшеміне назар аудара отырып анықтауға болатыны көрсетілген. Тау жыныстарының текстуралық және минералогиялық сипаттамалары бірқатар тау жыныстарының ұсақталу дәрежесіне айтарлықтай әсер етеді. Конустық ұсақтағыштардағы тау жыныстарының ұнтақталу дәрежесін бағалау үшін өнімнің мөлшерін азайту коэффициенті мен минималды мөлшерінің тіркесімін қолдануға болады деген қорытындыға келген. Сонымен қатар, зерттеу тау жыныстарының ұнтақталу дәрежесін бағалау бойынша одан әрі жұмыстардың әлеуетін талқылайды.

Алайда, бөлшектеу мен ұнтақтаудың механикалық әдістері, оларға негізделген техника мен технологияның көптеген маңызды кемшіліктері бар:

– олар тау жыныстарын механикалық сығу кернеулерімен бұзудың физикалық принципін жүзеге асырады, олардың тау жыныстарына төзімділігі бұзылу кернеуінен 10-30 есе артық. Сондықтан механикалық бөлшектеудің ПӘК-і төмен болып қалады. Механикалық құрылғылардың кернеулерін қолдана отырып бөлшектеу принципін жүзеге асыру мүмкін емес;

– жеткізілетін электр энергиясы редукторлар мен берілістерде бірнеше рет механикалық энергияға айналады, энергияның едәуір бөлігі ұсақтайтын денелердің (шарлардың) өзара әсері бойынша шығындалады;

– пайдалы компоненттің бөлшектердің едәуір бөлігі бос тау жыныстарымен өсінділерде қалады немесе керісінше қайта ұнтақталады. Ұнтақталмаған немесе қатты ұнтақталған өнімдерінің болуы, байыту технологиясын қиындатады;

– ұнтақтау өнімдері ұсақтағыш денелердің металл қоспаларымен ластанады, бұл қосымша тазалау жұмыстарын қажет етеді;

– ұсақтаудың техникалық-экономикалық көрсеткіштері негізінен бөлшектенетін тау жыныстары мен кендердің қаттылығы мен абразивтілігіне байланысты;

– пайдалану кезіндегі бөлшектеу - ұсақтау қондырғысының салыстырмалы түрде жоғары күрделілігі мен құны, жұмыс органдарының тез тозуы жөндеу жұмыстарын жиі қажет етеді [43].

Сондықтан, механикалық әдіс жоғары селективтілікті қамтамасыз етпейді және құнды өнімнің қайта ұнтақталуына әкеледі, сонымен бірге дәстүрлі механикалық құрылғыларды пайдалану химиялық таза өнімдерді алуға мүмкіндік бермейді. Табиғи шикізаттарды өңдеудің зерттелген әдістері және

қолданыстағы өнеркәсіптік қондырғылар үлкен энергияны қажет етеді. Өндірісте пайдалану үшін кеннен алынған дайын өнім шамамен 40% құрайды. Кварц шикізатын өңдеу кезінде туындайтын мәселелерді шешу дайын өнімге қосымша ластаушы заттарды қоспайтын дәстүрлі емес ұнтақтау әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Сондықтан кенді ұсақтау үшін соққы толқыны принципінде жұмыс істейтін электрогидравликалық әдісті ұсынамыз. Электрогидравликалық ұсақтау әдісі — материалдарды су ішінде жоғары вольтты электр разрядтары арқылы ұсақтайтын тиімді әрі ерекше әдіс. Бұл әдіс басқа ұсақтау тәсілдерінен (ультрадыбыстық, лазерлік және механикалық) өзінің физикалық әсер ету принципі, энергетикалық тиімділігі, және материалды сақтау қабілеті жағынан ерекшеленеді (1.1 - кесте).

Кесте 1.1 – Электрогидравликалық ұсақтау әдісінің басқа әдістерден айырмашылығы

Салыстыру параметрі	Электрогидравликалық ұсақтау (ЭГҰ)	Ультрадыбыстық ұсақтау	Лазерлік ұсақтау	Механикалық ұсақтау
Жұмыс принципі	Суда электр разряды → соққы толқыны → материалды ішінен жарып ұсақтау	Жоғары жиілікті дыбыс → кавитация → беткі қабаттың тозуы	Лазер сәулесі → жергілікті балқу және булану	Физикалық қысым, соғу, бөлшектеу арқылы
Әсер ету типі	Ішкі құрылым бойынша жарып ұсақтау (селективті)	Беткі тозу, микроұсақтау	Нүктелік балқу, термиялық әсер	Жалпы қысу немесе жаншу
Ұсақтау дәлдігі	Жоғары, минералдық фазаларды ажыратуға мүмкіндік береді	Орташа, көп жағдайда беткі деңгейде	Жоғары дәлдік, бірақ баяу	Төмен немесе орташа
Материалға әсері	Аз зақымдайды, кристалдық құрылым сақталады	Аз зақымдайды, бірақ терең емес	Қатты термиялық зақым, балқу мүмкін	Күшті механикалық бұзылу
Қолдану саласы	Геология, металлургия (минералды фаза бөлу, сирек элементтер)	Биомедицина, наноматериалдар	Микроөңдеу, микроэлектроника	Кен өңдеу, құрылыс материалдары өндірісі
Энергия тұтыну	Орташа, бірақ тиімділігі жоғары	Орташа	Жоғары	Орташа
Экология-лық әсері	Салыстырмалы түрде экологиялық таза	Қауіпсіз	Газдар, жылу бөлінуі	Шаң, шу, тозу

Электрогидравликалық ұсақтау әдісі - ерекше әрі тиімді әдіс, әсіресе минералдық құрамды селективті бөліп алу қажет болғанда артықшылық береді.

Ол басқа әдістерге қарағанда аз зақыммен, жоғары дәлдікпен, және фазаларды таза күйінде бөліп алу мүмкіндігімен ерекшеленеді.

Қатты материалдарды бөлшектеу және ұсақтау үшін импульстік электр разрядының энергиясын қолданатын электрогидавликалық әдісі тау жыныстары мен кендерді бөлшектеудің тиімді әдісінің негізгі критерийлеріне сәйкес келеді. Бұл идеяны өткен ғасырдың 40-жылдарының соңында профессоры А.А. Воробьев айтқан, ол тау жыныстары мен кендерді электр қуатының бұзылуына байланысты, сыйымдылықтағы энергия сақтағыштан жоғары кернеуді қолдана отырып, бұзуды ұсынды [44]. Су астындағы ұшқын разряды тау жыныстарын немесе кен бөліктерін бұзудың үздіксіз технологиялық процесінде жүзеге асырылуы мүмкін. Оның негізінде ұңғымаларды бұрғылауға, массивтегі саңылауларды тесуге, үлкен блоктарды кесуге және массивтің немесе жеке блоктың беткі қабатын өңдеуге, материалдарды бөлшектеуге және басқа мақсаттарға арналған тиімді технологиялар жасалды [45].

Қазіргі уақытта материалдарды ұнтақтаудың су асты электр жарылысы технологиясы кеңінен қолданылуда. Импульстік электр разряды кезінде разряд қуысының кеңеюі соққы толқындарының пайда болуына әкеледі. Өңделетін қатты материалдар арқылы соққы толқынының өтуі кезінде бөлшектерде микрожарықшалардың пайда болуы және ашылуы жүреді. Сонымен қатар, разряд қуысының тербелісі сұйықты қозғалысқа келтіреді, нәтижесінде ондағы бөлшектер бұзылуы мүмкін. Бөлшектердің жұқа және өте жұқа ұнтақталуына сұйықтың кавитациясының пайда болуы да ықпал етеді.

Кристалл-сұйық шекарасындағы толқындардың аймағында қатты материалдың сығылу айырмашылығына байланысты кавитациялық қуыстардың пайда болуына әкелетін үзілістер пайда болуы мүмкін. Егер бос кавитациялық кіші қуыстар болса немесе бөлшектер разряд қуысының пульсацияларымен қозғалатын сұйықпен айналса кавитация сұйықтықтың ғаң кезде бөлшектердің бұзуына алып келетін жоғары қысым мен микро ағындар пайда болады. Қазіргі заманғы мәліметтерге сәйкес, разряд арнасында бөлінетін энергияның шамамен 50%-ы канал кеңейген кезде сұйықтың атқаратын жұмысына жұмсалады. Энергияның қалған бөлігі арнадағы материалды жылытуға кетеді. Суспензия бөлшектерін ұнтақтау ортаның механикалық әсерінен болатындықтан, ең бастысы-кеңею кезінде арнаның жұмысына кететін энергия болып табылады. Разряд энергиясы механикалық жұмысқа неғұрлым көп айналса, ұнтақтау процесі соғұрлым қарқынды болады.

Электрогидравликалық әдісті жүзеге асыру қуат көзіндегі энергияның салыстырмалы түрде баяу жинақталуымен және оның сұйық ортада лезде бөлінуімен байланысты. Электрогидравликалық әдістің негізгі әсер етуші факторлары жоғары және ультра жоғары импульстік гидравликалық қысымдар болып табылады, нәтижесінде дыбыстық және дыбыстан жоғары жылдамдықтағы соққы толқындары пайда болады.

Электрогидравликалық әсермен бірге жүретін қуатты инфрақызыл және ультрадыбыстық тербелістер ірі нысандардың жеке кристалды бөлшектерге

резонанстық бұзылуын тудырады. Разрядтың электромагниттік өрістері разрядтың өзіне де, оны қоршаған сұйықта болатын иондық процестерге де күшті әсер етеді. Электрогидравликалық әсердің жоғары ПӘК-і, сондай-ақ бірегей мүмкіндіктері өнеркәсіптің барлық салаларында кеңінен қолдану үшін негіз болып табылады [46, 47].

1.3 Табиғи минералды шикізаттардың қолдану салалары

Минералды ресурстар адамзаттың экономикалық қызметінің әр түрлі салаларындағы қажеттіліктерін қамтамасыз етеді: құрылыс, металлургия, химия өнеркәсібі, ауыл шаруашылығы және т.б. Табиғи минералды ресуртар әлемдік қоғамдастықтың даму негізінің маңызды бөлігі болып табылады. Минералды шикізат адамзат пайдаланатын табиғи ресурстардың 70%-дан астамын құрайды [48]. Пайдалы қазбалардың 95%-ы энергия тасымалдағыштарды; 90%-ы ауыр өнеркәсіп өнімдерін; 17%-ы тұтыну заттарын алу үшін бастапқы шикізат ретінде қолданылады және бюджеттің 80%-ға дейіні минералды шикізатты сатудан толтырылады.

Табиғи минералды шикізат құрылыс материалдары мен цемент, гипс және асбест сияқты байланыстырғыштардан шикізат өндіру үшін негіз ретінде пайдаланылатын тау жыныстары мен минералдардан жасалады. Тау жыныстары-табиғи минералды агрегаттар немесе жер қойнауында немесе жер бетінде әртүрлі геологиялық үдерістер нәтижесінде пайда болған тұрақты минералды бірлестіктер. Тау жыныстары тәуелсіз геологиялық денелер түрінде жер қыртысында жатыр. Әрбір тау жынысы белгілі бір материалдық (химиялық және минералды) және белгілі бір ішкі құрылымға ие [49].

Бүкіл әлемде жоғары сапалы кварц құмдарының қоры бар, оларды пайдалану үшін өңдеуді қажет етпейтін кен орындар барған сайын сарқылуда. Сондықтан көптеген елдерде құю және шыны өндірісі үшін кварц ұнтағы мамандандырылған кәсіпорындарда алдын-ала өңделеді. Кварц ұнтағын пайдаланудағы басты мәселе - оның сапасы құрамның тазалығы мен біркелкілігі болып табылады. Құрамында кейбір қоспалардың болуы - саз, дала шпаттары, құм құрамындағы темір оксидтері – оны өнеркәсіпте қолдану мүмкіндігін анықтаудағы негізгі мәселе болып табылады.

Таза кварц ұнтағы табиғатта салыстырмалы түрде сирек кездеседі және көп жағдайда өңдеуді қажет етеді. Фракция бөлшектерін алуан түрлілігі қоспаның қажетті құрамы мен тығыздығын қалыптастыру үшін бөлшектердің қажетті мөлшерін таңдауға мүмкіндік береді. Кварц құмының бөлшектерінің дөңгелек пішіні серпімді, өзін-өзі тегістейтін және жылжымалы құрамның пайда болуына ықпал етеді.

Кварц ұнтағы құрамында кремний диаксиді бар тау жыныстарынан арнайы ұсатқыш машиналарда ұсақтау арқылы алынады. Кварц ұсақталған кезде оның бөлшектері біркелкі емес пішінге және әртүрлі өлшемдерге ие болады. Құрамы бойынша біртекті ұсақталған ұнтақ алу үшін оны електен өткізіп, фракциялар бойынша сұрыптайды. Түйіршіктерінің мөлшеріне байланысты келесі фракцияларға бөлінеді:

– шаң тәрізді-бөлшектердің диаметрі 0,1 мм-ден аз;
– орташа – фракция диаметрі 0,1-ден 0,4 мм-ге дейін;
– ірі- бөлшектердің диаметрі 0,5-тен 1 мм-ге дейін;
– ең үлкен фракция -түйіршіктерінің диаметрі 1 мм-ден асатын.

Кварц (SiO_2) - табиғатта кең таралған минералдардың бірі. Кремний тотығы тетраэдрлері түрінде ол силикаттардың құрамына кіреді – жер қыртысының ең көп таралған минералдары, оның көлемінің 75% алады. Оның 12% кварц үлесіне түседі. Кварц-кремнийдің негізгі көзі, ол жер қыртысында таралуы бойынша басқа химиялық элементтер арасында 2-ші орында [50].

Кварц ұнтағы-кремний диоксиді кемінде 80% болатын шөгінді тау жынысы. Оның сорбциялық қабілеті судан тотыққан темір мен марганецті кетіруге мүмкіндік береді. Ол механикалық, химиялық, атмосфералық, су әсерлеріне жоғары төзімділікке ие. Кварц басқа толтырғыштардан айырмашылығы әрқашан ең жақсы және химиялық төзімді табиғи материал болып саналды. Қышқыл және сілтілі органикалық қосылыстарға төзімділік оны кварцтың басқа материалдармен үйлесуі туралы ойланбастан, әр түрлі технологияларды қолдана отырып, ауқымды өндірістің ең жауапты бөліктерінде қолдануға мүмкіндік береді.

Кварц ұнтағы-бұл әмбебап материал, оның табиғи қасиеттері оны экономиканың әртүрлі салаларында қолданудың кең спектрін қамтиды. Ол құрылыста құрғақ құрылыс қоспаларын, желімді өндіруде қолданылады; отқа төзімді цемент өндірісінде; шыны блоктарды, шыны талшықты, керамикалық плиткаларды, силикат бұйымдарын, отқа төзімді бетондар мен пластмассаларды өндіруде; жол таңбаларын өндіруде толтырғыш ретінде; тегістеу және дәнекерлеу материалдарын өндіруде; толтырғыш ретінде спорттық алаңдарды ұйымдастыру кезінде қолданылады.

Шет елдерде шар диірмендері үшін кварцит (көбінесе шақпақ тас) шарлары қолданылады. Өзекті кварц оптикалық және аспаптық (конструкциялық) шыны мен жұқа керамиканың арнайы сорттарын өндіруде қолданылады. Кварц монокристалдары құнды оптикалық пьезоэлектрлік шикізат болып табылады. Әдемі боялған немесе түссіз кварц кристалдары (цитрин, аметист, агат және т.б.) жартылай бағалы тастар, ал өзектері кварц, кварциттер, әсіресе агаттар мен кремний зертханалық жабдықтың кейбір түрлерін жасау үшін қолданылатын құнды техникалық тас болып табылады [51].

Кварц ұнтағының ерекшелігі - механикалық, табиғи және химиялық әсерге жақсы төзетін күшті түйіршіктер болып табылатын зат. Таза кварц ұнтағы 99% кремний диоксидінен тұрады. Тазартылмаған материалдың құрамы гетерогенді қоспаларға бай: феррум, марганец және калий оксидтері, карбонаттар, дала шпаты, саз және т.б. Олар құм түйіршіктерін сары және қызыл-қоңыр реңктермен бояйды. Тазартылған кварц құмы-ақ түсті материал [52].

Әлемдік тәжірибеде жоғары таза кварцтың құрамында SiO_2 мөлшері 99,99% болу керек [53]. Сондай-ақ, жоғары таза кварцқа SiO_2 мөлшері төмен

жартылай өткізгіш өнеркәсібіне арналған кейбір кварц толтырғыштары кіреді. Жоғары тазалықты кварц концентраттары қазіргі уақытта әлемдік өнеркәсіптің келесі салаларда кеңінен қолданылады:

– электрондық (жартылай өткізгіш) - көп және монокристалды кремний өндіру үшін пайдаланылатын кварц тигельдерін шығару;

– диффузиялық реакторлар, кассеталар және кремний пластиналарына арналған контейнерлер;

– жарық техникалық саласы-вольфрам галогенді және сынап шамдарына, көше және прожекторлық жарықтандыруға арналған балқытылған кварц түтіктерін өндіру;

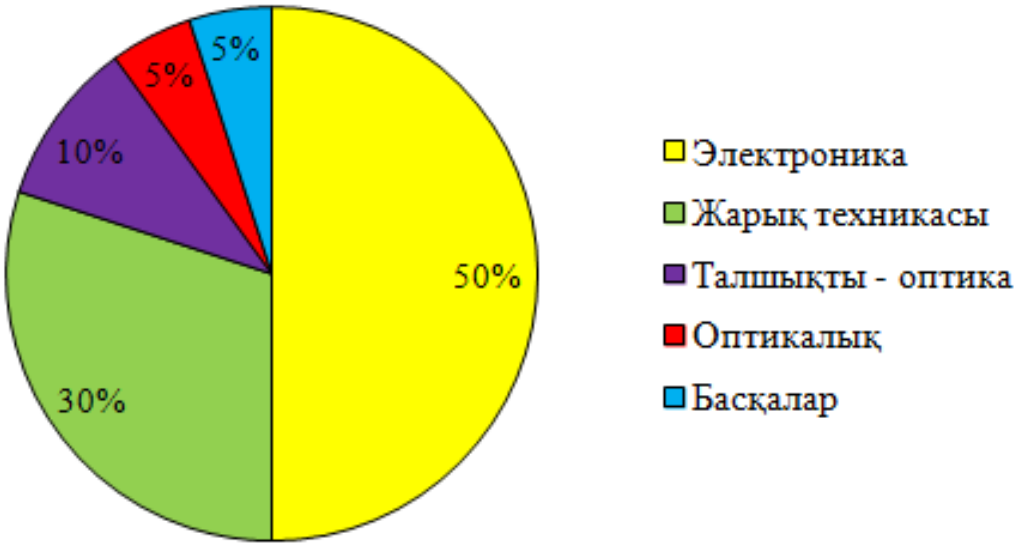
– талшықты-оптикалық-толқынды су құбырларын, ұстағыштарды және т.б. шығару;

– оптикалық-айналар, призмалар, линзалар, құбырлар өндірісі;

– арнайы мақсаттағы шыны шығару – реакторлар үшін, сұйық кристалды шыны, шыны талшық және шыны мата;

– ғылыми құралдар және басқалары – эпоксидті толтырғыштар, камералар, химиялық ыдыстар және басқалар өндірісі.

Жоғары таза кварц концентраттарын тұтынудың бағалау құрылымы 1.2-суретте көрсетілген.



Сурет 1.2 – Әлемдік өнеркәсіптің жоғары таза кварц концентратын тұтыну құрылымы, %

Құрылыс Қазақстан Республикасы экономикасының қарқынды дамып келе жатқан салаларының бірі болып табылады. Қазіргі уақытта құрылыс саласы нысандар бойынша да, өндірілетін өнім ассортименті бойынша да сапалы жаңа деңгейге шығуда. Құрылыс материалдары мен бұйымдарын өндіру көлемін ұлғайту үшін қиыршық тасты, құмды, цемент пен керамикалық

бұйымдарды, басқа материалдарды өндіруге арналған шикізатты алуға қойылатын талаптарға жауап беретін кең шикізат базасы қажет.

Жалпы, Қазақстан Республикасының құрылыс материалдары үшін шикізатпен қамтамасыз етілуі айтарлықтай жоғары. Құмды-қиыршық тасты шикізат пен құрылыс құмдары-әртүрлі мөлшердегі тау жыныстары мен минералдардың азды-көпті оралған қалдықтарының борпылдақ табиғи шоғырлары. Олар әртүрлі тау жыныстарының табиғи ауа-райының бұзылуынан, ағынды сулардың (мұздықтар, өзендер, толқындар) тасымалдануынан және бірнеше рет қайта шөгуінен пайда болды. Құм-қиыршық тас тобына құрылыс тасын ұсақтау арқылы алынған қалдықтар да жатады.

Қиыршық тас пен ұсақталған құм (қиыршық тас) құрылыс тастарынан алынатын негізгі өнім болып табылады. Қиыршық тас ретінде қолданылады [54]:

– барлық бетон және темірбетон құрылыс конструкцияларындағы ауыр бетонның негізгі толтырғышы;

– автомобиль жолдары мен аэродромдар жабынының бетон және балласт қабатының ірі агрегаты;

– темір жол балласты;

– төгінділер, жоспарлау жұмыстары.

Ұсақталған құм қиыршық таспен бірге және өздігінен бетонда және сылақ-қалау ерітінділерінде қолданылады және карьердің шығарылатын өнім көлемінің 3-5% - алады.

Әр түрлі тау жыныстарын тиісті технологиялық өңдеуден алынған тұтқыр заттар ұнтақ (цемент) болып табылады, ол сумен жабылған кезде өңдеуге және төсеуге ыңғайлы пластикалық қоспа түзеді, содан кейін қатайтады және берік жасанды тас түзеді. Егер бір уақытта цемент ұсақ толтырғышпен (құммен) араласқан болса, онда үлкен толтырғыш – бетон алынады.

Цемент өндірісінің негізі шикізат қоспасын күйдіру кезінде CaO және SiO_2 оксидтері арасындағы өзара әрекеттесу болып табылады. Сондықтан тұтқыр заттарды өндіруге арналған негізгі жыныстар-әктастар, сирек мергельдер, бор, құрамында $CaCO_3$ (кальцит) бар сазды мергельдер.

Сонымен, портландцемент-бұл жұқа ұнтақ, оның құрамына келесілер кіреді:

– клинкер (80-95%), ұнтақталған әктас пен балқитын саздардың біртекті қоспасын күйдіру өнімі. Біріншісімен кальций оксидінің негізгі бөлігі, екіншісімен – кремний диоксиді, глинозем және темір оксидтері қосылады. Клинкердің шикізат қоспасындағы саздар 15-25% құрайды. Соңғы уақытта өндіріс қалдықтары – металлургиялық шлактар мен шламдар сазды компонент ретінде қолданылады;

– гипс тасы, ангидрит (5-7%) цементті орнату мерзімдерін реттеу үшін қолданылады;

– белсенді минералды қоспалар (10%) – кремнийлі жыныстар. Олар бетондағы бос әкті суда ерімейтін қосылыстарға байланыстырады. Егер

минералды қоспалардың мөлшері 30-40% болса, онда пуццолан портландцементі алынады. Ол су өткізбейтін, сульфат коррозиясына төзімді және гидротехникалық құрылыста қолданылады.

Кез-келген құрылыста немесе кез-келген басқа өндірісте, соның ішінде құрылыс материалдарын өндіруде ең көп қолданылатын компонент - құм. Оның көптеген сорттары бар: ірі сұр құм (ұсақ түйіршікті қиыршық таспен араласқан құм) және қызыл сазды құмдардан өзеннің сары құмы мен ақ кварц құмы. Түсі, фракциясы, құрамы бойынша 20-дан астам негізгі түрді ажыратуға болады. Ең құнды түрлердің бірі - кварц ұнтағы.

Бөлшектердің диаметрі 0,1-ден 0,4 миллиметрге дейінгі материал шыны, керамика және фарфор бұйымдарын, сондай-ақ оқшаулағыш материалдарды жасау үшін қолданылады. Құрлыста диаметрі 0,1-1 мм болатын кварц ұнтағын құрылымдық, жылу оқшаулағыш және әрлеу материалдарын дайындау үшін қолданылады. Шыны блокатры үшін кірпіш ерітінділерін дайындауда 0,1-2,0 мм, цемент негізінде плитка желімін дайындауда 0,1-0,6 мм, қаптау тақтайшалары арасындағы тігістер үшін 0,1-0,5мм, цементті және полимерлі толтырғыш ретінде, жылу оқшаулау жүйелеріне арналған желім толтырғыш ретінде 0,1-0,3 мм, ал саңылауларды жабуға арналған ерітіндінің құрамына 0,3-4,0 мм, еденді тегістеуге арналған қоспалар дайындауда 0,1-2,0 мм, гипсті сылақ үшін 0,1 мм болатын кварц ұнтағын қосады.

Кварц – қатты, мөлдір силикат минералы, ол көптеген тау жыныстарында қоспалар түрінде немесе негізгі минералдар арасында кездеседі, бірақ кварцит түрінде, жапырақты емес метаморфты жыныста көп кездеседі. Кварц ұнтағы ең көп таралған табиғи минералдардың біріне жатады және құрылыс саласында кварц ұнтағы силикат кірпіштері мен бетондарды өндіру үшін қолданылады. Кварциттердің, кварц құмтастарының ең ірі тұтынушылары-отқа төзімді өнеркәсіп және металлургия (динас, силикон қорытпалары мен силицидтер, қарапайым кремний) [55].

Отқа төзімді өнеркәсіп динас өндіру үшін кварциттерді, кварц құмдарын пайдаланады [56]. Динас кем дегенде 90-93% кремний диоксиді бар және әк, әкті-темірлі немесе басқа қоспада жасалған отқа төзімді зат. Династың отқа төзімді өнеркәсіптегі құндылығын анықтайтын басты ерекшелігі-жоғары температураға дейін (1550-1650°С) жүктеме кезінде, елеулі деформациясыз қыздыруға төтеп беру қабілеті. Сапалы динас 1700°С температурада да жеткілікті механикалық тұрақтылықты сақтайды. Мартен пештері мен доғалы электр пештерінің қоймаларында династың қызмет ету шарттары ең қиын. Мұнда ол жоғары температураға (1650-1800°С және одан жоғары) және темірдің, марганецтің, алюминийдің, әк шаңының, магнезиттің, балқыту кеңістігінен сіңетін және ағындардың рөлін атқаратын фтордың тотығуына ұшырайды. Нәтижесінде мартен пештерінің динас қоймалары орта есеппен шамамен 250 балқымаға, ал электр пештерінің қоймалары 50-100 балқымаға шыдайды. Бұл пештердің өнімділігін арттыру үшін енгізілген тұрақты жұмыс режимдері динас қоймаларының тұрақтылығының жеткіліксіздігін анықтады.

Сондықтан соңғы уақытта мартен пештерінің жоғарғы бөлігі, электр пештерінің қоймалары мен қабырғалары магнезитохромит кірпішінен қаланған.

Мартен пештерінің магнезитохромиттік қоймалары 600-800 балқымаға дейін, электр пештерінің қоймалары 150-300 балқымаға дейін шыдайды. Алайда, динас әлі күнге дейін мартен пештерінде, болаттың кейбір арнайы сорттарын балқыту үшін қажет. Динас өндіруге жарамды кварциттер мен кварц құмдарының химиялық құрамы, ең алдымен, кремнеземнің жоғары мөлшерімен ерекшеленуі керек [57].

Отқа төзімділікті күрт төмендететін сілтілі металдардың қосылысы зиянды әсер етеді. Сондықтан, әдетте, сілтілердің ең көп таралған тасымалдаушысы – слюданың рұқсат етілген құрамы қатаң шектеледі. Сұйық фазаның тұтқырлығын арттыратын және династың табиғи қалыптасуын қиындататын алюминий тотығы да зиянды әсер етеді, бұл динас қалауының тез еруіне әкеледі. [58] жұмыста Қойташ кен орнындағы кварциттердің әртүрлі үлгілері олардың динас өндіруге шикізат ретінде жарамдылығын тексеру үшін зерттелген. Зерттеу нәтижелері пайдалану талаптарына сәйкес динасқа пайдалуға болатындығын көрсеттеді.

Флюс ретінде кварциттер мен кварц құмдары мыс пен никельді балқытуда қолданылады. Мыс (никель) концентраттары мыс және темір сульфидтерінің қорытпаларын алу үшін балқытылады, олардан конвертерлерде үрлеу арқылы мыс алынады. Концентраттағы темір қосылыстарын шихтаға қопсыту үшін екі шекте де флюс ретінде кварцит немесе кварцит тәрізді минералдар енгізіледі.

Кварц минералына қойылатын негізгі талап SiO_2 мөлшері жоғары болуы керек. Кремний диоксиді неғұрлым жоғары болса, флюстің шығыны соғұрлым аз болады, нәтижесінде пайда болған қалдықтардың көлемі аз болады, сәйкесінше металл шығыны аз болады. Ластаушы қоспалардың ішіндегі ең зияндысы-қождың тұтқырлығын арттыратын алюминий тотығы, бұл үдерістің жүруін қиындатады және белгілі бір дәрежеде металл шығынын арттырады. Нәтижесінде түсті металлургияда құрамында кемінде 90-90% болатын кварц шикізаты флюс ретінде пайдаланылады. Флюстің өзінде алтын, күміс немесе мыс (мыс немесе кварциттер) ілеспе алуға лайық құнды материал болған жағдайда ғана SiO_2 мөлшерін 85 және тіпті 60%-ға дейін төмендеуіне жол беріледі.

Ферросилиций металлургияда болаттың көптеген сорттарын тотықсыздандыру және төмен көміртекті қорытпаларды алу үшін кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, кремнийді енгізу болаттардың сапасына оң әсер етеді: 1-2% Si серіппелі болаттарда оның серпімділігін жақсартады; 4-4,5% Si құрамында ең көп қалдық магнетизмі бар трансформаторлық болаттар бар. 14-18% Si бар қорытпалар жоғары коррозияға төзімділікпен ерекшеленеді. 9-17% Si бар ферросилицийді балқыту үшін домна пештері қолданылады. Кремнийге бай ферросилиций сорттары (87% Si және одан жоғары) кварцит пен темір бөлшектері электр пештерінде көміртекті тотықсыздандыру қоспасымен (кокс) балқытылады.

[59] мақалада сәйкесінше ферросилиций мен таза кремний өндірісінде қолдануға басымдық беру мақсатында кварц пен кварциттердің жекелеген түрлерінің материалдарын зерттелген. Бұнда жәжірибе нәтижелер мен жеке кварциттердің физика-химиялық және металлургиялық қасиеттерін бағалау ұсынылған. Сыналған үлгілердің қасиеттерін салыстыру негізінде оларды пайдаланудың басымдығы анықталған. Жұмыста Швециядағы (Далбо кен орны) және Украинадағы (Овруч кен орны) кварциттерінің, сондай-ақ Словакиядағы (Шведлар кен орны) кварцының ең жоғары сапасы анықталған. Зерттеу нәтижелері шикізаттарды өнеркәсіптік жағдайда пайдалану өнімнің жоғары өнімділігі мен сапасы, сондай-ақ электр энергиясын тұтынудың төмендеуі сияқты жақсы өндірістік көрсеткіштерге ие екендігін көрсеткен.

Кварц бөлшектерінің мөлшері 0,01...2,0 мм шамасында өзгеретін борпылдақ тау жыныстарына жатады. Фарфор мен фаянс өндірісінде бірінші сортта кемінде 95% SiO_2 және екінші сортта кемінде 93% SiO_2, тиісінше 0,2 және 0,3% аспайтын темір және титан оксидтері бар кварц құмы қолданылады. Бірақ фарфор-фаянс өнеркәсібі үшін негізгі кварц шикізаты бастапқы каолиндерді байыту нәтижесінде пайда болатын кварц қалдықтары болып табылады.

Әсіресе жоғары тазалықты кварц шикізаты, қазіргі уақытта тек жұқа керамика сорттарын өндіруде қолданылады (қызмет көрсету және көркем фарфор деп аталады) [60]. Мұндай шектеулі қолдану табиғатта осы шикізаттың өте аз таралуымен түсіндіріледі. Оны көп мөлшерде өндіру оны керамика өнеркәсібінде қолдануды едәуір кеңейтеді, өйткені таза кварц тек фарфордан ғана емес, сонымен қатар фаянстан жасалған бұйымдардың сапасын арттырады. Фарфор массаларында кварц негізгі компоненттің - каолиннің балқу температурасын біршама төмендетеді және фарфор массаларына енгізілген басқа балқымалармен салыстырмалы түрде белсенді әрекеттеседі, өнімнің бірқатар құнды қасиеттерін (мөлдірлігі, беріктігі, ыстыққа төзімділігі) анықтайтын негізгі шыны тәрізді массаны құрайды. Фарфор өндірісінің кварцқа қойылатын негізгі талабы-бөлінетін қосылыстардың минималды мөлшері. Темірлі қосылыстары 0,2%-дан аспайтын мөлшерде рұқсат етіледі.

[61] автордың жұмысында әртүрлі гранулометриялық құрамы бар кварцты қолданатын үш осьті керамикалық материалдардың қасиеттері бағаланған. Зерттеу нәтижелері кварц бөлшектерінің мөлшері талданатын қасиеттерге қалай әсер ететінін көрсеткен. Фарфордың беріктігі мен ыстыққа төзімділігі айтарлықтай жақсарғаны туралы айтылған.

Шыны өнеркәсібі арнайы әйнек жасау үшін сирек жағдайларда қатты кремнийлі жыныстарды пайдаланады. Шыны жасауға арналған қарапайым материал-кварц құмы. Шыны жасауда қатты кремнеземді жыныстарды қолдану, кейбір басқа жағдайлармен қатар, оларды ұнтақтау қиындықтарымен қиындайды. Мұндай рудаларды арнайы көзілдірікті қайнату үшін қолдану кейбір сорттардың жоғары табиғи жиілігімен ғана негізделген [62].

Негізгі кварц пен кварциттер химия өнеркәсібінде - күкірт қышқылы мұнараларының саптамаларында және негізінен төсеу үшін қолданылады.

Өңдеудің қиындығы табиғи кварц материалдарын осы мақсаттарда пайдалануды азайтуға тырысады.

Кварц шыны түріндегі кварц – оптикалық өнеркәсіптің негізгі материалдарының бірі. Ол оптикалық құрылғыларды, телекоммуникация құралдарын, дифракциялық линзаларды, проекциялық дисплейлерді, сканерлеу құрылғылары мен принтерлерді, лазерлерді, сондай-ақ камераларды, бейнекамераларды, ультра жалпақ теледидар экрандарын, жалынды бақылау машиналарын және т.б. өндіруде қолданылады. Ол сондай-ақ толқындық оптикада жарық өткізгіштердің тірек құбырларының материалы ретінде, арнайы жіптер мен маталар өндірісінде қолданылады.

Табиғи кварц шикізаты әлемдік тәжірибеде жоғары технологиялық өндірістер үшін жоғары таза кварц өнімдерін (концентраттар, микро және нано ұнтақтар) алудың негізгі көзі болып қала береді. Химиялық тазалықтың әр түрлі дәрежесіндегі барлық кварц өнімдері жартылай өткізгіш, оптикалық, жарық техникасы және басқа да маңызды салалардың негізгі компоненттері болып табылады [63]. Кристалды кварц радиотехникада, электроникада, оптоэлектроникада және аспап жасауда кеңінен қолданылады, келесі ерекше қасиеттеріне байланысты лазерлік, поляризациялық және спектрлік оптика үшін жоғары дәлдіктегі және жауапты оптикалық компоненттерді жасау үшін қолданылады:

– жоғары оптикалық біртектілік және ішкі кристаллографиялық жетілдіру;

– салыстырмалы түрде жоғары қаттылық, ол материалдың жақсы өңделуін және жұмыс процесінде жұмыс беттерінің тозуға төзімділігін қамтамасыз етеді;

– қоршаған ортаға жоғары химиялық төзімділік;

– суда және басқа еріткіштерде ерімейтіндігімен;

– төмен жылу кеңею коэффициенті;

– жақсы диэлектрлік өнімділік, соның ішінде кең жиілік пен температура диапазонында және күшті электр өрістерінде;

– оптикалық өткізгіштіктің кең ауқымы;

– жоғары қуатты лазерлік (соның ішінде ультракүлгін) сәулеленудің әсеріне төзімділік.

Кварцты оптикалық қолдану оның басты ерекшелігіне, яғни жарық өткізгіштігінің еніне, оның ішінде ультракүлгін және инфрақызыл диапазонына байланысты болады. Оптикалық мақсаттар үшін төмен температуралы кварц модификациясының кристалдары қолданылады. Кварц оптикалық жүйелер, телескоптар, гироскоптар, жылу түсіргіштер, микроскоптар, линзалар мен призмалар сияқты оптикалық құрылғыларда қолданылады.

Кварцты оптоталшықта жоғары температурада қолдануға болады және оның термиялық кеңею коэффициенті төмен болып келеді. Кварц талшығы коммуникацияда (пластикалық талшықпен өте қысқа қашықтықты қоспағанда), лазерлік талшықтарда, күшейткіштерде және талшықты-оптикалық сенсорларда қолдану үшін жақсырақ болады [64]. Жарық беру өнеркәсібі үшін

кварцтың жарық өткізгіштігінің кең спектрі және жоғары балқу температурасы сияқты қасиеттері маңызды болып таблады.

Шартты түрде жарықтандыру құрылғыларына кварцты қолданудың үш негізгі түрін ажыратуға болады:

– жоғары температуралы құрылғыларға (сынап, галогендік) арналған мөлдір кварц шыныдан жасалған құбырлар;

– титан оксиді қоспалары бар мөлдір кварц шыныдан жасалған құбырлар (медициналық мақсаттағы бактерицидтік шамдар);

– ультракүлгін сәулеленуді блоктайтын церий қоспалары бар мөлдір кварц шыны құбырлары.

ҚР кварц өнімдері автомобиль және ультракүлгін шамдарды қоса алғанда, кварц шамдарының барлық түрлерін өндіру үшін тамаша материал болып табылады.

Кварцты электротехникалық салада қолдану қазіргі заманғы технологиялық шешімдер үшін сенімді және дәл компоненттерді қамтамасыз ете отырып, кеңеюін жалғастыруда. Жоғары сапалы шикізатты таңдау электр құрылғыларының тиімді жұмысын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

Кварцтың негізгі қолданылуының бірі-электронды жабдықтың нақты уақыт базасының көзі ретінде қызмет ететін резонаторлар. Кварц резонаторларындағы генераторлар мұндай құрылғыларда кеңінен қолданылады: сағат және таймерлер, онда кристалдар уақыттың тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін қолданылады. Заманауи электронды құрылғыларда уақытты өлшеу кезінде әрқашан дәлдік қажет. Кварц кристалдары чиптер мен процессорлардың жұмысын синхрондайды. Бұл электронды жүйелер шеңберінде деректерді берудің дәйектілігі мен дәлдігін қамтамасыз етеді.

Кварц электроника мен микроэлектроникадағы негізгі материалдардың бірі болып қала береді, бұл әртүрлі құрылғылардың жұмысында тұрақтылықты, дәлдікті және сенімділікті қамтамасыз етеді. Дұрыс кварцты таңдау заманауи электронды жүйелердің жоғары өнімділігі мен беріктігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады [65].

Электр жабдықтарының оңтайлы өнімділігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін таңдау кезінде бірнеше маңызды факторларды ескеру қажет. Материалдың жоғары тазалығы маңызды фактор болып табылады. Электроникада қолдану өнімнің электрлік және механикалық қасиеттеріне әсер етуі мүмкін қоспалардың минималды мөлшерін қажет етеді. Сонымен қатар, бөлшектер өлшемдерінің диапазоны материалдың қасиеттерінің біркелкілігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

«Күн» энергиясы үшін тигель өндірісі өнімнің тазалығына жоғары талаптары бар кварц концентраттарын пайдалануды талап етеді. Кварц шыныдан жасалған жоғары таза бұйымдарды, мысалы, тигельдерді, құбырларды, кремний пластиналарын өңдеу жүйелерін өндіру үшін пайдалануға болады. Сонымен бірге, кварц қарапайым кремний алу үшін де қолданылады.

Су құбырлары мен бассейндердегі суды тазарту үшін тұрмыстық сүзгілер, тіпті өнеркәсіптік сүзу станцияларында кварц ұнтағы пайдаланады. Ол зиянды қоспаларды жақсы ұстайды және саздың толық болмауына байланысты тамаша дренаждық қасиеттерге ие. Сонымен қатар, бұл зиянды қоспаларсыз экологиялық таза материал болып табылады.

Тамақ өнеркәсібінде 0,25-0,5 миллиметрлік кварц құмын суды тазартуға арналған сүзгілерді жасау үшін толтырғыш ретінде, сонымен қатар 0,5-тен 1 миллиметрге дейінгі бөлшектерді металды, тасты және әйнекті өрескел өңдеу үшін пайдалануға болады.

[66] автордың жұмысында май мен суды үздіксіз және тиімді бөлу, сондай-ақ май мен суды үздіксіз бөлу құрылғысы үшін бояғыштарды адсорбциялау технологиясы әзірленген. Мұнай мен суды үздіксіз және тиімді бөлу және бояғыштарды адсорбциялау үшін кокос қабығының ұнтағы кварц құмының бетіне батырылған. Бұл мақалада май мен суды үздіксіз және тиімді бөлу және бояуды бір уақытта адсорбциялау туралы жаңа идея ұсынылған. Сонымен бірге [67] жұмыста кварц құмын қолдана отырып, цемент шаңынан ауаны тазарту үшін үздіксіз жұмыс істейтін сүзгі жасалып, зерттеулер жүргізілген. Зерттеу нәтижелері кварц құмын қолдану шаңды тазалау тиімділігін арттыратындығын көрсеткен. Осының барлығы кварц ұнтағының өндіріс орындарында қолданылатын бағалы минерал екендігін дәлелдейді.

2 ЗЕРТТЕУ НЫСАНЫ. ТӘЖІРИБЕЛІК ҚОНДЫРҒЫ МЕН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ

2.1 Зерттеу нысаны

Технологиялық процестердегі ең танымал кварц шикізаты-химиялық түрленудің жоғары жылдамдығын қамтамасыз ететін оңай ыдырайтын кварциттер [68]. Зерттеу нысаны ретінде Қарағанды облысы Ұлытау ауданының аумағында орналасқан Ақтас және Надырбай кен орындарынан алынған кварциттер алынды. Ақтас (2.1-сурет) және Надырбай (2.2-сурет) кен орындары Орталық Қазақстанның ең маңызды кристалды кварцты кен орындары болып табылады. Бұл кен орындарының кварциттер сүтті-ақ, ақ-сұр түсті кварц бөлшектерінен тұрады. Сонымен бірге, аз мөлшерде қоңырқай түсті кварциттер де кездеседі.

Сурет 2.1 – Ақтас кен орынынан алыған кварц

Сурет 2.2 – Надырбай кен орынынан алыған кварц

Тазалығы бойынша ең перспективті, яғни жартылай өткізгішті кремнийді өнеркәсіптік өндіруге арналған кварц кен орындарының бірі - Ақтас кен орыны [69]. Ол 1950 жылдан бері дамып келе жатқан әлемдегі ең ірі кварц кен орындарының бірі болып табылады. Өзекті кварцының жалпы қоры - 4 млн.

тоннадан астам. Соңғы үш жыл ішінде мұнда жыл сайын 100 мың тонна кен өндіріліп, шамамен 72 мың тонна өзекті кварцы өндіріледі. Ақтас кен орнының кварц құрамы 99,5% болатын SiO_2-ны құрайды. Бұл кен орынының шикізатын қосымша тазартусыз өндіріс орындарында пайдалануға болады. Кварц кен орны Ұлытау хрустальді провинциясындағы ең өнімді кен орындарының бірі болып табылады. Алаңда жүзге жуық кварц өзектері тіркелген, олардың мөлшері, пішіні және пайда болу шарттары айтарлықтай ерекшеленеді. Кенде Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, SiO_2 түріндегі қоспалар болуы мүмкін. Бірақ, бұл қоспалардан белгілі бір әдіспен өңдеу кезінде арылуға болады

Надырбай кен орны Жезқазған қаласынан солтүстік-батысқа қарай 130 км жерде орналасқан. Ең жақын елді мекен – Ақтас кенті оңтүстік-батысқа қарай 30 км жерде орналасқан. Надырбай кен орнының өзекті кварцы өзінің химиялық құрамы бойынша кристалды кремнийді балқыту үшін қойылатын техникалық шарттардың талаптарына сәйкес келмейді. Сондықтан, табиғи кварц кені өңдеуді қажет етеді [70]. Кен орны кешенді кварцты-кристалды нысан ретінде ретінде осы уақытқа дейін сәтті жұмыс жасап келеді.

Табиғи минералдарды ұнтақтау тау-кен, құрылыс және т.б. әртүрлі салаларда маңызды үдеріс болып табылады. Бұл ұнтақтау процесінің тиімділігі өндірілетін материалдардың өнімділігі мен сапасына тікелей әсер етеді. Көптеген жылдар бойы ұсақтау, бөлшектеу негізіндегі ұнтақтау әдістерін қолданатын механикалық ұнтақтау кеңінен қолданылып келеді [71]. Бұл қондырғылар арқылы табиғи минералдарды ұнтақтау барысында, алынатын материал металл өнімдерімен ластанады. Сол себепті, алынатын өнімнің құрамында химиялық қоспалар болуы мүмкін және таза өнімді алуға мүмкіндік бермейді. Қолданыстағы технологиялар бойынша өнеркәсіпте кварц кенінен алынған таза өнімді одан әрі пайдалану үшін үнемдеу, еңбек сыйымдылығы және экология тұрғысынан тиімді емес және ол тек 50% құрайды.

Ұнтақталған кварц әртүрлі өндіріс орындарында кеңінен қолданыс табуда. Өте таза кварц химиялық және медициналық жабдықтардың, жартылай өткізгіш құрылғылардың құрылымдық элементі ретінде қолданылады. Осы минералдың негізінде телескоптар, микроскоптар, гироскоптар, линзалар үшін көп компонентті және бір компонентті әйнектер жасалады.

Кварц кендерін ұнтақтау мәселелерін шешу процестің селективтілігі жоғары және дайын өнімге қосымша ластаушы заттар енгізбейтін дәстүрлі емес бөлшектеу әдістерін қолдану арқылы мүмкін болады. Осыған байланысты кенді бөлшекту және ұнтақтау үшін сұйықтықтағы импульстік разряд нәтижесінде пайда болатын су астындағы электр жарылысын пайдалану принципінде негізделген электрогидравликалық әдісі ұсынылады [72].

2.2 Кварц шикізатын бөлшектеуге және ұнтақтауға арналған электрогидравликалық әдіс

Кварц минералын ұнтақтаудың электрогидравликалық әдісі энергия ресурстарын үнемдей отырып, кварцты ұнтақтау тиімділігін арттыру үшін қолданылады [73]. Техникалық нәтижеге жұмыс бөлігінде белгілі бір жиілік

диапазонында электр разрядтарымен бірге жүретін қуатты соққы толқынын тудыру арқылы қол жеткізіледі. Қуатты импульстік электр разряды кезінде сумен толдырылған жұмыс ұяшығында орналастырылған электродтар арасында жоғары гидравликалық қысыммен жүретін жоғары вольтты электр разряды жүзеге асырылады. Үлкен жылдамдықпен кеңейетін разряд арнасынан үдеу алған орта одан барлық бағытта қозғалады, разряд болған жерде негізгі гидравликалық соққыны тудыратын маңызды кавитациялық қуысты құрайды. Содан кейін қуыс жоғары жылдамдықпен жабылып, қайталама кавитациялық гидравликалық соққы тудырады [74].

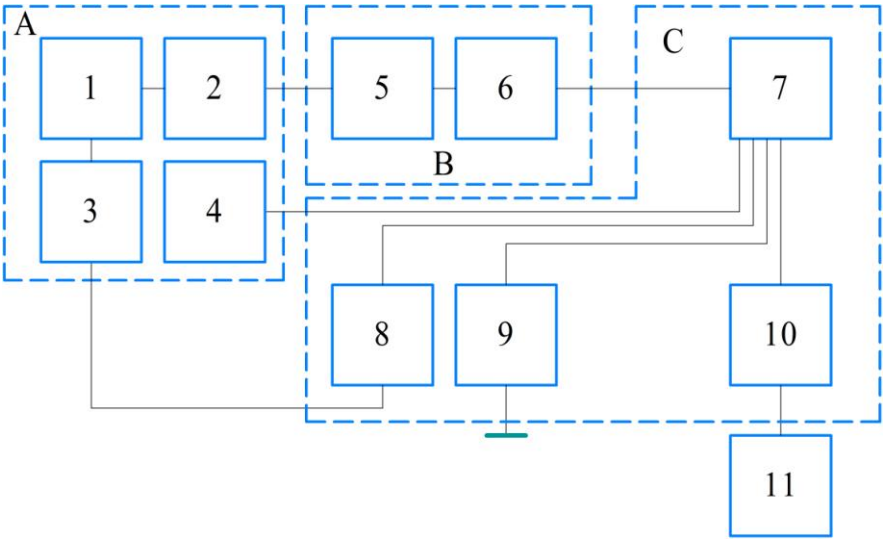
Кавитациялық қуыстың пайда болуымен соққы толқыны осы қуыстың шекарасынан шығып, сұйыққа кетеді. Ортада импульстік разрядтардың дәйекті сериясын жүзеге асырған кезде, әрбір келесі электрогидравликалық соққы алдыңғы разрядтан шыққан кавитациялық қуыс жарылып үлгергеннен кейін ғана пайда болады. Бұл разрядтардың мүмкін болатын максималды жиілігін анықтайды. Сұйықта пайда болған соққы толқыны-бұл разряд арнасында дыбыс толқынынан жоғары жылдамдықпен таралатын тығыздықтың жоғарлауы. Сұйықтағы соққы толқынының қысымы ондаған килобарға жетуі мүмкін. $10^2 \div 10^3$ м/с жылдамдықпен таралатын сұйық ағындары кинетикалық энергияны өңделетін материалға жібереді, бұл соққы толқыны сияқты оның механикалық өзгерістерін тудырады. Материалды электрлік тесіп өтуі кезінде разряд арнасының айналасында радиалды және сақиналы жарықтар торы пайда болады. Бөлшектенген өнімінің бөліктеріндегі ашылмаған жарықтар арқылы қысым толқыны өткен кезде гетерогенділік шекараларында пайда болатын ішкі микрожарықтар пайда болады. Осылайша, соққы толқындарының энергиясын алу кезінде пайда болатын әсерлер кварц минералының бөлшектенуіне және ұсақталуына әкеледі. Бұл жағдайда электрогидравликалық әдістің бірлік циклі аяқталады және разрядтардың (импульстардың) берілген жиілігімен қайталанады [75].

2.3 Кварц кенін су асты электр разрядымен бөлшектеу және ұнтақтау қондырғысы

Кварц кенін бөлшектеу және ұнтақтау үшін электрогидравликалық қондырғы әзірленіп, жиналды [76]. Тәжірибелік қондырғы А басқару пультінен, В импульс тоғының генераторы коммутаторынан, С қорғаныс жүйесі бар конденсаторымен бірге тұратын функционалды блоктар түрінде орындалған. Қондырғының жалпы түрі мен блок - сұлбасы және өзара түйіндердің орналасуы 2.3 және 2.4-суретте келтірілген.

Сурет 2.3 – Кварц минералын бөлшектеу және ұнтақтау үшін қолданылатын тәжірибелік қондырғының жалпы түрі

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [71, с. 40]



1 – электр қоректену блогы; 2 – тоқ шектеуші элемент; 3 – апаттық сөндіру жүйесі; 4 – жоғары кернеулі индикатор; 5 – трансформатор; 6 – жоғары вольтты түзеткіш; 7 – энергияны жинау жүйесі; 8 – қалдық кернеуді алу; 9 – қорғаныс жүйесі; 10 – ауалық разрядтаушы немесе коммутирлеуші қондырғы; 11 – кварц минаралын өңдеу ұяшығы

Сурет 2.4 – Электрогидравликалық қондырғының блок - сұлбасы

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [77]

Жұмыс орнында разрядтаушы қондырғыны басқаратын импульстік кернеу генераторы мен тәжірибелік қондырғының жұмыс бөлігі орналасқан. Мұнда киловольтметр (75кВ-қа дейін), кернеуді бөлгіш және тоқты шунт,

көмекші орнында электрогидравликалық қондырғымен блокты реттеу орнатылған. Сол сияқты милливольтметр FUKE DT-830B, автотрансформатор, вольтметр және амперметрден тұратын бақылап-өлшейтін аспаптар блоктары бар.

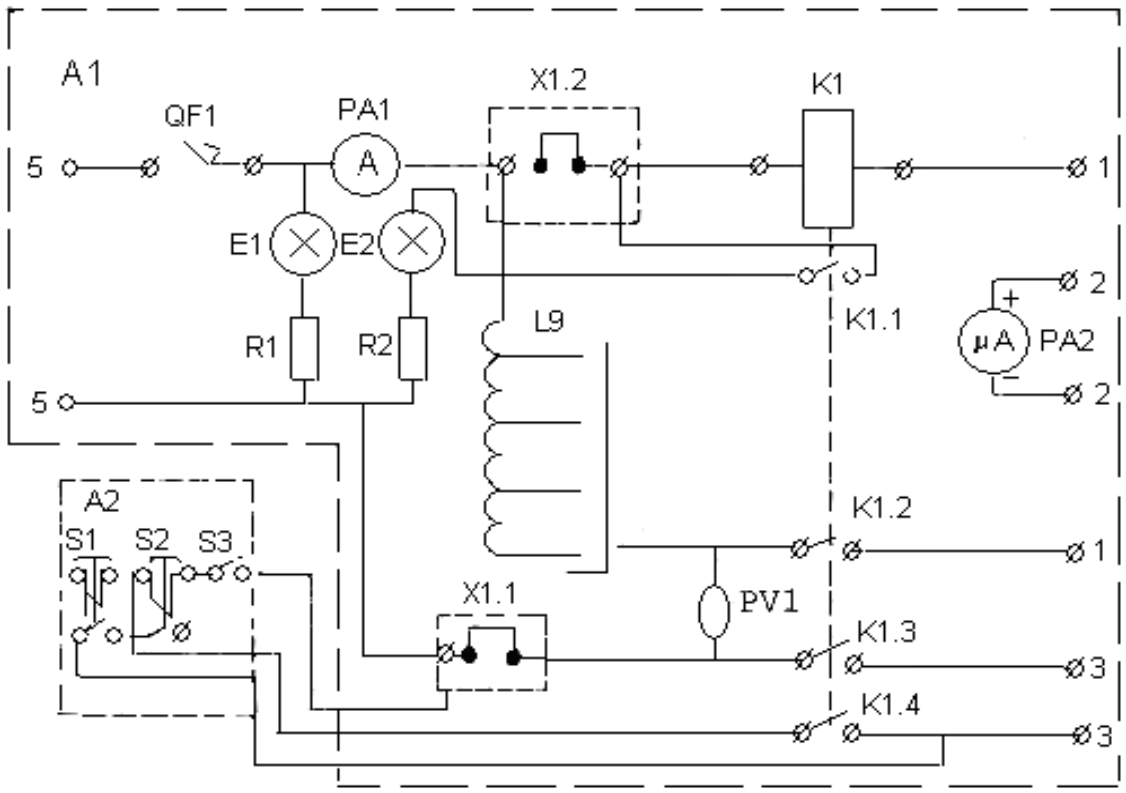
Басқару пульті. Басқару пультіне кернеуді, қуат тогын және энергия жинақтағыштарындағы жоғары кернеуді басқаратын құрылғылар кіреді. Алдыңғы панельдегі жарық индикаторы қуат кернеуінің болуын және генераторға кернеудің берілуін көрсетеді. Сонымен бірге, қондырғыны іске қосуға және ажыратуға, разряд импульсінің жиілігін реттеуге, қондырғының қорғаныс дабылдарының қосылуын және қорек кернеуін реттеуді қамтамасыз етеді. Басқару пультінің жалпы көрінісі 2.5-суретте көрсетілген.

Сурет 2.5 – Басқару пультінің жалпы көрінісі

Басқару пультінің құрамында n = 60 коэффициенті бар шуды басатын LC сүзгісі, D тоқ шектейтін дроссель бар. Электрмен жабдықтау кернеуі 220 В айнымалы тоқ желісінен жүзеге асырылады.

Басқару пультінің электрлік сұлбасы 2.6-суретте көрсетілген. Ол келесі түрде жұмыс істейді: ПКТ-2 басқару түймесін басқаннан кейін магнитті іске қосу ПМЕ жұмыс істеп кетеді және қондырғының қоректендіруі іске қосылады.

Шектелген L9 тоқ дросселіне кернеуді бере отырып, импульсті тоқ генераторына балласты кедергі R арқылы жіберілетін, кернеудің сатылау реттеуішін қамтамасыз ететін импульстер қолдануының жиіліктері бірнеше қорытындыларға ие болады.



А1 – қондырғының басқару пульті; А2 – ПКТ-2 басқару түймесі; QF1 – автоматты ажыратқыш; РА1 – амперметр; Е1, Е – дабылды шамдары; R1, R2 – тоқты шектейтін резисторлар; L9 – тоқты шектейтін дроссель; К1.1, К1.2, К1.3, К1.4 – ПМЕ жібергіш контактілері; PV1 – вольтметр; PF2 – микроамперметр; Х1.1, Х1.2 – байланыс платалары

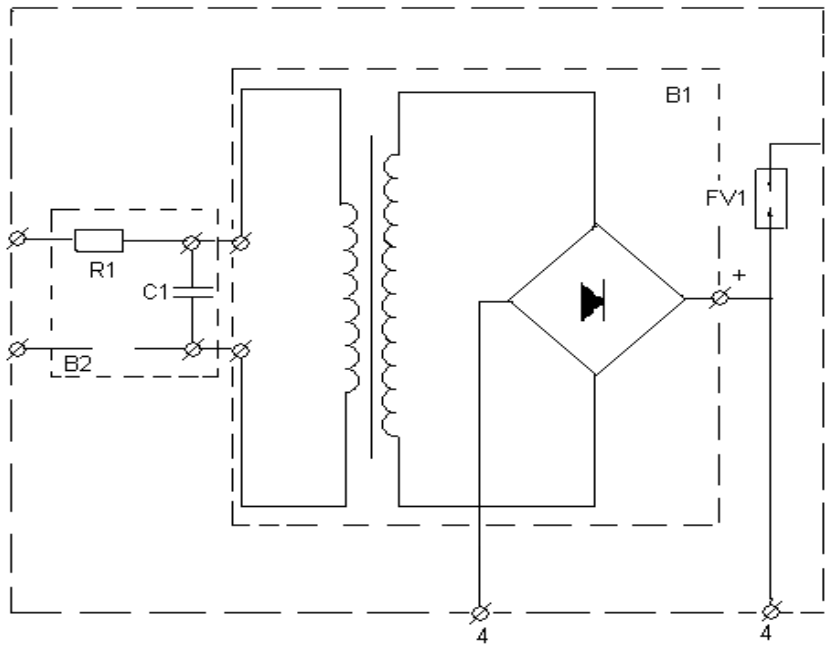
Сурет 2.6 – Басқару пультінің сұлбасы

Басқару пульті кернеуді бақылайтын, тоқ күшін қоректендіретін және энергиялар жиналатын жоғарғы кернеудегі приборларды іске қосады. Жарық индикациясы алдыңғы панельде электр қоректендіру кернеуінің бар болуын және генераторға берілетін кернеуді көрсетеді. Осылай қондырғының басқару пульті жұмыс режимінің іске қосылып және істен шығуын сақтап отырады. Жұмысқа қосылу белгісі қоректенетін кернеудің бар болуы және негізгі параметрлерін бақылау импульс разрядының жиілігін реттейді.

Импульсті кернеу генераторы және энергия жинақтау жүйесі. Генератордың мүмкіндіктерін сипаттайтын негізгі параметрлер жұмыс кернеуі, разряд тізбегінің индуктивтілігі, разряд импульсіндегі энергия, конденсатордың сыйымдылығы, жүктеме түрі және импульстердің максималды жиілігі болып табылады (2.7-сурет).

Сурет 2.7 – Жоғары вольтты импульстік генератордың жалпы түрі

Келесі 2.8-суретте импульс тоғы генераторының электрлік сұлбасы келтірілген.



B1 – генератор; B2 - тоқ шектеу блогы; R1 - балласт кедергісі, 8 Ом; C1-0,1 мкФ керамикалық конденсатор; FV1 – коммутаторлық құрылғы

Сурет 2.8 – Импульсті кернеу генераторының электрлік сұлбасы

Импульстік генератордың негізгі бөлігі параллель зарядталған және ауалық разрядтағышының көмегімен тізбектей қосылған кезде жүктемеге разрядталатын конденсаторлар болып табылады. Жоғары вольтты тізбектердің коммутациясы кезінде 1000 микросекундқа дейін және бірнеше миллисекундқа созылатын асқын кернеудің импульстары да пайда болады. Бұл параметр бойынша біздің импульстік кернеу генераторлары шетелдік фирмалардың

генераторларына қарағанда біршама жақсы сипаттамаларға және импульстік кернеулер мен сақтау энергиясының кең ауқымына ие.

Импульсті кернеу генераторы кірісінде айнымалы (реттелетін) кернеуді шығысында тұрақты жоғары кернеуге (60 кВ дейін) түрлендіреді және энергия сақтау жүйесіне параллель барады. Бұл жағдайда С2 импульстік конденсаторы VD1 диод көпірі арқылы FV1 негізгі ауалық разрядтағышының тесіп өту кернеуіне дейін пульсациялық кернеумен зарядталады. Ауалық разрядтағышының саңылауының тесіп өтуі нәтижесінде импульстік конденсатор разрядталады, содан кейін процесс қайталанады. Трансформатордың шығысында орамасын асқын кернеуден қорғау үшін оған параллель реттелетін ауа саңылауы бар электродтар түрінде жасалған қосымша FV2 разрядтағышы қосылған.

Импульсті кернеу генераторының техникалық сипаттамалары (2.1-кесте) мен сапасы оның элементтік базасының сапасымен анықталады: импульстік конденсаторлар, ауалық разрядтағыштар, өлшеу, тіркеу және деректерді өңдеу жүйелері.

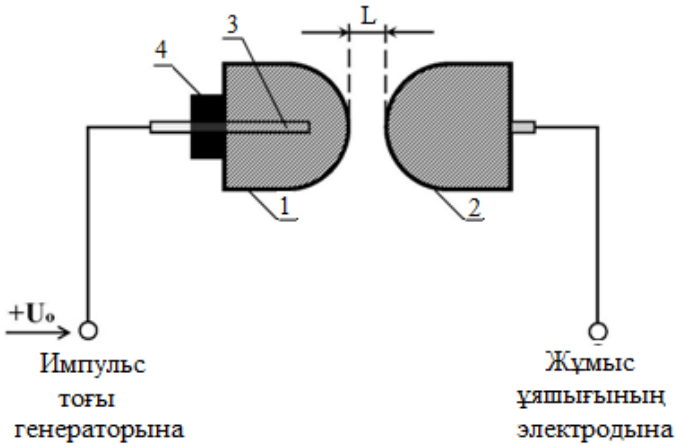
Кесте 2.1 – Қондырғының техникалық сипаттамасы

Бастапқы ораманың номиналды кернеуі, В	$220 \pm 0{,}5$
Шығыс кернеуі, кВ	$50 \pm 0{,}1$
Шығыс тоғы, А	$0{,}1 \pm 0{,}05$
Бос жүрістің шығыс кернеуі, кВ	59 ± 5
Трансформация коэффициенті	$198 \pm 0{,}5$
Бос жүріс кезіндегі шығындар, Вт	140 артық емес
Пайдалы әсер коэффициенті	90 артық емес
Бос жүріс тоғы, А	1,7 артық емес
Өлшемі, мм	$450 \times 330 \times 500$

Импульсті кернеу генераторларында электрод аралық қашықтықты қолмен реттейтін органикалық шыныдан тұратын корпусы бар ауалық разрядтағыш (2.9-сурет) қолданылады.

Сурет 2.9 – Ауалық разрядтағыш

2.10-суретте электрогидравликалық қондырғының басқарылатын ауалық разрядтағышының сұлбасы көрсетілген. Басқарылатын ауалық разрядтағышта отқа төзімді материалдан жасалған жарты шар түрінде жасалған екі негізгі 1, 2 электрод бар. 1-ші электродтың орталық бөлігіне оқшаулағыш втулкаға жоғары беріктігі бар болаттан жасалған басқару электроды орнатылған.



Сурет 2.10 – Электрогидравликалық қондырғының басқарылатын ауалық разрядтағышының сұлбасы

Ауалық разрядтағыштары конденсаторды зарядтау кезеңінде разряд тізбегін ажыратуға және оған берілген кернеуге жеткенде конденсаторды жүктемеге қосуға арналған.

Электрогидравликалық қондырғыда меншікті сақтау энергиясы, өзіндік индуктивтілігі және жұмыс сенімділігі бойынша тамаша сипаттамалары бар КҚИ типті пластмасса корпусы бар жоғары вольтты импульсті қабыршақты конденсаторлар қолданылады. Пластмассалық корпустар конденсаторларды қосымша оқшаулағыштарсыз пайдалануға мүмкіндік береді, өйткені корпустардың өзі оқшаулағыш болып табылады. Қолданылатын конденсаторлардың сыртқы түрі 2.11-суретте көрсетілген.

Сурет 2.11 – КҚИ типті конденсаторлардың сыртқы түрі

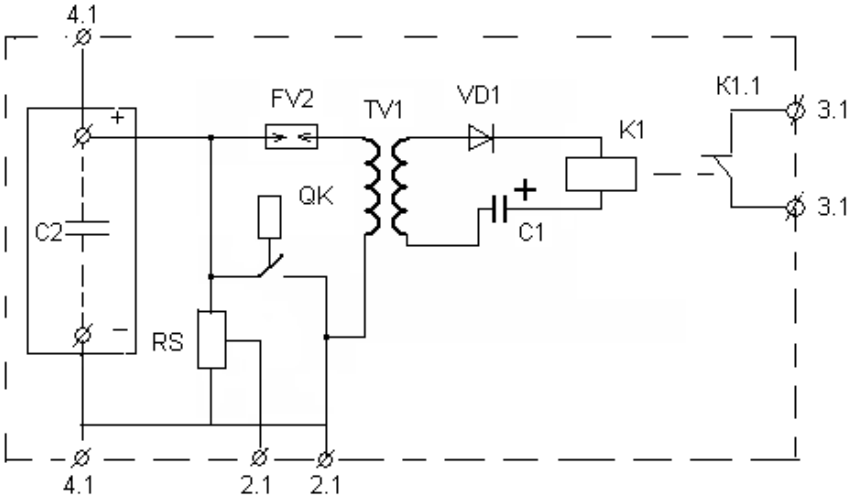
Импульсті конденсатордың негізгі техникалық сипаттамасы 2.2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.2 – Импульсті конденсатордың негізгі техникалық сипаттамасы

Номинальды жұмыс істеу қысымы, Па	0,575-100
Импульс заряды разрядының жиілігі, Гц	20
Индуктивтілік, Гн	100x10
Номинальды жұмыс істеу импульсінің ресурсы	10^7-10^8
Салмағы, кг	30
Өлшемі, мм	$450 \times 180 \times 300$

Генератордың корпусы мен қақпағы қалыңдығы $1,5 \div 3,0$ мм болатын жұқа болаттан жасалған. Оның каркасы жоғары беріктігі бар оқшаулағыш материалдан – капраолоннан жасалған. Генератордың негізгі бөліктері төрт тіреуіштің көмегімен корпустың қақпағына орнатылады. Трансформаторлық май зауыттық жағдайда арнайы құйылады. Генератордың элементтері электр беріктігін нашарлататын электр оқшаулағыш материалдардан су буын кетіру үшін климаттық камерада 24 сағат бойы 90-95°С температурада термиялық өңделген. Генератордың жұмысы кірісіндегі айнымалы (реттелетін) кернеуді шығысында тұрақты жоғары кернеуге (50кВ дейін) түрлендіру болып табылады. Генератордың шығысындағы жоғары кернеу импульстік жоғары вольтты конденсаторда энергия жинақтағышқа және коммутаторға бір уақытта түседі, ол жинақтағыштағы кернеудің белгіленген мәніне жеткенде зерттелетін сумен толтырылған жұмыс бөлігіне жоғары кернеулі импульстің берілуін қамтамасыз етеді. Генератордың электрод жүйесінің жүктемесі сұйықтағы ұшқын арнасы болып табылады. Сондықтан генератор электрогидравликалық қондырғының негізгі функционалды блоктарының бірі болып табылады.

Қондырғының апаттық қорғау жүйесі. Қауіпсіздікті сақтау зерттеулерінің міндетімен және қондырғы элементтерінің берілген параметрлерін функционалдау үшін қауіпсіздік ережелері сақталған. Қондырғының қорғаныс жүйесі конденсаторда разрядтың тағайындалған қауіпсіз жұмыстық кернеуінен артық кернеу пайда болғанда қондырғының автоматты сөнуін қалыптастырады. Жұмыстық кернеу қауіпсіз жұмыстық кернеудің мәнінен асып кеткен кезде қорғаныс разрядтаушысы іске қосылып, кедергіден және импульстік трансформатордың бірінші орамынан тұратын тізбекті тұйықтайды. Персоналдың қауіпсіздігін және электргидравликалық қондырғысының қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қорғаныс жүйесі жасалып, жиналды (2.12-сурет).

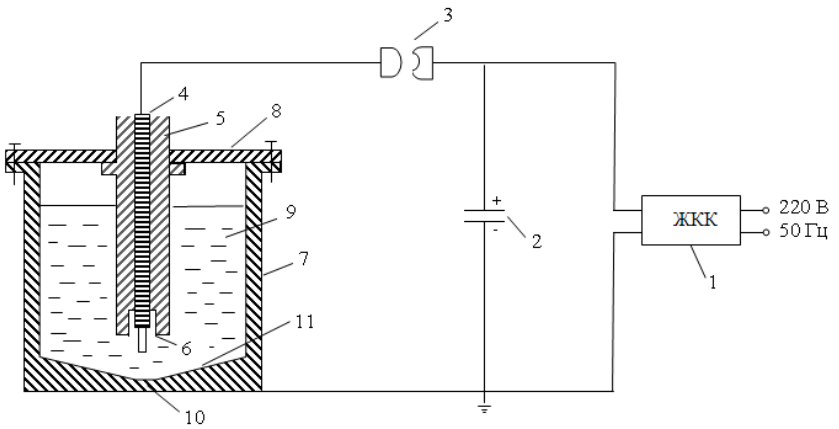


К1, К 1.1 - электрлік релесі; С1 - электролиттік конденсатор; VD1 - диодты көпір; TV1 - ауалық импульстік трансформаторы; RS - омдық кернеу бөлгіш; FV2 - басқарылатын ұшқынды разрядтағышы; С2 - КПИ импульстік конденсатор; QK - қысқа тұйықталу

Сурет 2.12 – Энергия жинағыш блогы бар қорғаныс блогының принципиалды электрлік сұлбасы

Энергия сақтау блогындағы кернеу асып кеткен жағдайда, FV2 қорғаныс блогының басқарылатын ұшқын разрядтағышының тесіп өтуі жүреді. Кернеу TV1 импульстік ауа трансформаторының бастапқы орамына беріледі және екінші реттік орамада төменгі кернеу ЭҚК пайда болады. Кернеу импульсі VD1 диодымен түзетіліп, К1 электр релесіне беріліп, ашылады. Осыған байланысты бүкіл құрылғы ажыратылады. Осыдан кейін QK қысқа тұйықталуының көмегімен энергия сақтау блогындағы қалдық кернеу алынады. Асқын кернеуден қорғау блогының іске қосылу уақыты 0,05 с-қа тең.

Кварц материалын ұнтақтаудың электрогидравликалық қондырғысы келесідей жұмыс жасайды (2.13-сурет).



Сурет 2.13 – Кварц материалын ұнтақтаудың электрогидравликалық қондырғысының сұлбасы

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [78]

Электрогидравликалық қондырғы 1 жоғары вольтты тұрақты кернеу көзі, 2 импульстік конденсатор батареясы, 3 коммутациялық құрылғы, 5 оқшаулағышы және олардың арасында 6 саңылау бар 4 жоғары вольтты түтікшелі электродтан және 8 фторопласт қақпағы бар 7 металл резервуардан тұрады. 5 оқшаулағышы бар жоғары вольтты 4 электрод 7 резервуар қақпағындағы саңылау арқылы өтеді. 7 резервуар 9 техникалық сумен толтырылған. 7 металл резервуардың түбі 10 жерге тұйықталған екінші теріс электрод рөлін атқарады және біркелкі ұсақтау үшін кварц материалын топтастыруға мүмкіндік береді және 11 конустық шағылдырғыш ретінде жасалған. 4 жоғары вольтты түтікшелі электрод жоғары хромды аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған, ал 5 изолятор фторопласт материалынан жасалған [79].

Жоғары тұрақты кернеу көзі ретінде 10кВ-тан 40кВ-қа дейінгі амплитудасы бар оң полярлық кернеуді құрайтын басқарылатын пульті бар жоғары вольтты генератор қолданылады. Материалды электрогидравликалық қондырғымен ұнтақтау келесідей жүзеге асырылады. Генераторды басқару блогынан қуаттандырғаннан кейін генератордың шығысындағы жоғары кернеу конденсаторға параллель келеді. Конденсаторда жинақталған кернеу қалыптасу аралығындағы жарты шар тәрізді электродтар арасындағы ауаның өздігінен сынуы орын алатын мәнге дейін көтеріледі. Әрі қарай, конденсаторда жинақталған барлық энергия бірден жұмыс камерасына түседі. Оң және теріс электродтар арасында ұшқын разряды пайда болған кезде жұмыс камерасында сұйық пен кварц қоспасы бар соққы толқындары пайда болады, нәтижесінде материал ұсақталады.

Сұйықта жоғары және аса жоғары қысымды алу тәсілі, ашық су айдынында немесе жабық резервуарда орналасқан, құрамында жоғары вольтты импульстік конденсатор (немесе конденсаторлық батарея), басқарылатын немесе басқарылмайтын коммутатор және сұйық бар резервуарда орналасқан екі негізгі жұмыс электродтары бар сұйық көлемінің ішінде жүзеге асырудан тұрады. Негізгі разряд конус тәрізді металл резервуарда тікелей алдын ала разрядсыз жүзеге асырылатындығымен ерекшеленеді.

Электрогидравликалық қондырғының жұмыс бөлігінде механикалық қондырғының жұмыс бөлігіне қарағанда қозғалғыш элементтері болмайды. Ол қарапайым құрылымдық құрыштан жасалып, ал оның қорабы ұсақтау кезінде тозбайды және жұмыс істеу барысында көп орын алмайды. Заттарды бөлшектеу және ұсақтау жұмысын өте тез атқарады. Тәжірибелік қондырғының жұмыс бөлігін кез-келген сұйықпен толтыруға болады (көбінесе техникалық су қолданылады) [80, с. 654].

Электрогидравликалық құбылыс әсерімен бөлшектеудің технологиялық процесі автоматтандыруға жеңіл көнеді. Электрогидравликалық құбылыс әсерімен бөлшектеу үшін жоғары мамандандырылған жұмысшылар қажет емес. Электрогидравликалық әдістің мақсаты мынаған негізделген, электрогидравликалық бөлшектегіш қондырғының ұшқын разрядымен жұмыс

істеу кезінде және сұйықта механикалық қоспалардың көлемдік құрамы артуымен (өңделетін материалдар бөлшектері, газдың көпіршіктері), осы бөлшектердің диаметрлерінің төмендеуі мен бірге жұмысты ұшқындық арақашықтықты тесіп өтуге қажет кернеу өседі [81].

Практикада бұл әдіс әртүрлі электрогидравликалық бөлшектегіш қондырғыларында қалыптасады, мұнда жұмыстың тиімді ережелері қабылданған өңдеу ережелеріне тәуелсіз, өңдеу камерасын толтыратын сұйықтағы механикалық қоспалардың көлемдік құрамын қарапайым түзетулерді қамтамассыз етеді.

Электрогидравликалық бөлшектегіш қондырғының ерекшеліктері – неғұрлым материалдардың бастапқы фракциясының өлшемі кіші болса, соғұрлым өте ұсақ нәтижені береді, яғни бөлшектегіш қондырының ПӘК-і жоғары болады. Бұны былай түсіндіруге болады, ұшқын энергияны өзінің бетімен береді, ал ары қарай материал разряд аймағын тығыз қоршаса, онда разряд каналынан шығатын энергия рационалды және толық шығындалады. Осыған байланысты ірі фракцияға бөлшектейтін электрогидравликалық құбылыспен бөлшектеу әдісі басқа бөлшектеу әдістеріне қарағанда қолайсыз, ал керісінше бөлшектену дәрежесі өскен сайын электрогидравликалық құбылыс әсерімен бөлшектеу қолайлы әдіс болып табылады.

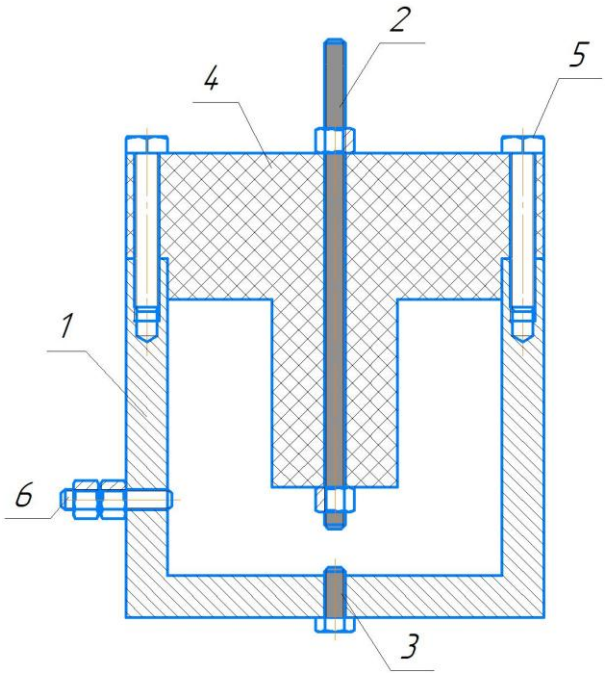
Сұйық ортада жоғары вольтты электр разряды кезінде пайда болатын соққы толқынымен материалдарды бөлшектеу, қатты минералдарды ұсақтау өндіріс орындарының назарын аударуда. Профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының гетерегендік ортадағы импульстік құбылыстар физикасы зертханасында кварц минералын өңдеуге арналған электрогидравликалық қондырғысының жұмыс ұяшығы дайындалды (2.14-сурет). Қондырғының көмегімен әртүрлі материалдарды бөлшектеуге және ұнтақтауға болады [82].

Электродтардың қоректенуі разрядты тізбектен қамтамасыз етіледі, ол өз кезегінде сыртқы электр көзінен зарядталады. Жүктелген кварц шикізатының үлгісі бар жұмыс ұяшығы сумен толтырылады. Қондырғыны іске қосқаннан кейін конденсаторда электр заряды жинала бастайды. Берілген кернеуге жеткенде импульстік конденсаторда коммутирлеуші құрылғы іске қосылады. Импульстік конденсатордан жұмыс ұяшығындағы жұмыс саңылауына қажетті энергия жібереді, ол гидравликалық соққымен бірге жүреді, бұл кендегі компоненттердің қатты фракцияларын босатады. Өңдеу аяқталғаннан кейін сулы-сазды суспензия жұмыс ұяшығынан құйылып алынып, өңделген кварц шикізаты кептіріледі. Алынған шикізат әртірлі өлшемді електен өткізіліп, таразының көмегімен өлшенеді.

Механикалық бөлшектегіштерге қарағанда электрогидравликалық қондырғыда өңдеу жұмыстары сұйық ортада жүретіндіктен шаң пайда болмайды және жұмыс ұяшығы үлкен орынды қажет етпейді. Кварц кенін бөлшектеу жұмыстары сұйық ортада орындалатындықтан, өңделуші өнім құрамындағы әр түрлі адам өміріне қауіпті улы газдар мен шаң-тозаңды заттар қоршаған ортаға тарамай, ол судың құрамында қалады.

а

б



в

а - негізгі корпус; б - жұмыс электродтары; в - жұмыс ұяшығының сызбасы; 1 – диаметрі 100 мм цилиндрлік корпус, 2 – диаметрі 3 мм оң электрод, 3 – теріс электрод, 4 – диаметрі 110 мм капролон қақпағы, 5 – бекіткіштер, 6 – жерге тұйықталу

Сурет 2.14 – Кварц минералын ұнтақтауға арналған тәжірибелік қондырғының жұмыс ұяшығы

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [77, p. 32]

Табиғи кварцты өңдеудің тиімді технологиясын әзірлеу мәселесі өзекті болып табылады. Сонымен қатар, бөлшектеу және ұнтақтау технологиясындағы ең күрделі кезең, онда 0,1-0,4 мм шамасында бөлшектер түрінде болатын алдын-ала өңделген кварц қоспаларының концентрациясын азайту қажет.

Қазіргі уақытта көптеген елдерде өнеркәсіптік жоғары тазалықтағы кварц концентраттарын, атап айтқанда ерекше таза кварцты қолдану күрт өсіп келеді. Бұл, бір жағынан, жоғары технологиялардың дамуымен, екінші жағынан, шикізаттың осы түрін пайдаланудың дәстүрлі салаларының қажеттіліктерінің артуымен байланысты. Таза SiO_2 кремний диоксидін бөліп алу күрделі және қымбат өңдеуді қажет етеді, оған бөлшектеудің, ұнтақтаудың, байытудың және химиялық тазартудың бірнеше кезеңдері кіреді. Табиғи шикізатты өңдеудің ең тиімді әдістерінің бірі электрогидравликалық әдіс болып табылады [83].

Қатты минерал бөлшектерін бөлшектейтін және ұсақтайтын соққы толқынының алдыңғы жағында жоғары қысым алу үшін электр разряды кварц минералының сулы ерітіндісінде жүзеге асырылады. Тәжірибе жүргізілмес бұрын бастапқы кварц кесегі механикалық жолмен ұсақталынып, массасы элекрондық таразы арқылы өлшеніп алынады. Содан кейін электрогидравликалық қонырғының жұмыс ұяшығына салынып, бөлшектеу және ұсақтау жұмысы жүргізіледі [84]. Келесі 2.15, 2.16-суреттерде электрогидравликалық өңдеуге дейінгі және кейінгі кварц минералының әртүрлі фракциялары көрсетілген.

а ә

б в

а – $d_{фр}$= $d_{фр}$=7–10 мм; ә – $d_{фр}$=5–7 мм; б – $d_{фр}$=3-5мм; в – $d_{фр}$=1-3мм

Сурет 2.15 – Бастапқы кварц

а ә

а – $d_{фр}$=0,1-0,4 мм; ә – $d_{фр}$<0,1 мм

Сурет 2.16 – Өңделген кварц

Бұл әдісті қолдану кварц минералын ұнтақтаудың технологиялық процесін күшейтуге мүмкіндік берді. Ұсынылған әдіс бойынша алынған ұсақталған кварц кенін отқа төзімді, керамикалық, химиялық, шыны, құрылыс өнеркәсібінде, металлургияда, оптика мен электротехникада және басқа салаларда қолдануға болады.

Кейбір өндірістер үшін берілген гранулометриялық сипаттамадағы өнімдерді алу шешуші болып табылады. Кендерді ұнтақтау кезінде, әдетте, шламды фракциялардың минималды мөлшерін алу міндеті туындайды. Абразивті, отқа төзімді және керамика өнеркәсібінде ұсақ бөлшекті өнімдерді алу мәселелері шешуші роль атқарады. Гранулометриялық сипаттамаларды реттеу мүмкіндігі оның бәсекеге қабілеттілігін анықтайтын бөлшектеу әдісінің негізгі көрсеткіштерінің бірі болып табылады.

Электрогидравликалық бөлшектеу әдісі гранулометриялық құрамды реттеудің физикалық алғышарттарына ие. Бұл, ең алдымен, разряд арнасындағы энергия мөлшерін және оның бөліну уақытын кең реттеу мүмкіндігі, сонымен қатар бөлшектеу тәртіптерін, атап айтқанда, электродтық жүйелердің құрылымдық және шикізатты өңдеу сұлбаларымен үйлесетін импульстің берілу жиілігін реттеу мүмкіндігі.

Материалдың электрогидравликалық бөлшектенудегі физикалық құбылыстарды талдау өлшемділіктің біркелкі сипаттамасы бар өнімді алу мүмкіндігін көрсетеді. Ірі ұнтақтау үшін қолданылатын дәстүрлі құрылғыларға тән үйкелу әсерінің болмауы материалды барлық көлемінде жүктеу, дайын өнімді ірілік кластары бойынша біркелкі таратудың алғышарттарын жасайды [80, с. 655-656].

Электрогидравликалық әдіс белгілі бір шектерде дайын өнімнің гранулометриялық сипаттамасын жоғары вольтты импульстің энергетикалық параметрлерінің өзгеруі және электрод-классификатордың бірдей ұңғымасында

импульстің берілу жиілігі арқылы реттеуге мүмкіндік бере отырып, ұсақ бөлшетердің шығуын арттыруға мүмкіндік береді.

Алайда, көптеген технологиялық процестерде өнімнің біркелкі шығуын ірілік кластары бойынша алу қажет. Егер жұмыс камерасындағы импульстер көзі мен электрод аралық параметрлерінің өзгеруі қажетті мөлшерінің сипаттамасын алуға мүмкіндік бермесе, онда шламдардың шығуын едәуір азайтуға болатын стадиалды бөлшектеу схемаларын қолдану қажет.

Осылайша, электрогидравликалық бөлшектеу әдісі өнімнің көлеміне сәйкес бөлшектенуің селективтілігімен сипатталады. Ең алдымен, ірі бөліктер бөлшектенеді, себебі жұмыс аралығын тоқтататын үлкен бөліктің электрлік беріктігі көп қабатты жүйелердің электрлік беріктігінен төмен болғандықтан, бұл электрлік импульстің бөлшектенуінің физикалық негіздеріне сәйкес келеді.

Материалдың электрогидравликалық бөлшектеуін қолданудың орынды салалары механикалық әдістермен салыстырғанда біркелкі ірілік сипаттамасымен дайын өнімді алу мүмкіндігін көрсетеді. Бұл әдіс процестің жоғары өнімділігімен қажетті мөлшердегі өнімдерді алуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, дәстүрлі механикалық аппараттардағы бөлшектеу процесінің төмен селективтілігіне байланысты, өнімдердің аппараттық металмен ластануына жол бермейді. Электрогидравликалық қондырғысының өзгермейтін геометриялық және электрлік параметрлері кезінде кавитациямен байланысты қосымша қысымды қолдана отырып, бөлшектеу және ұнтақтау процесін едәуір күшейтуге болады [85].

2-бөлім бойынша қорытынды

1. Зерттеу нысаны ретінде Қарағанды облысы Ұлытау ауданының аумағында орналасқан Ақтас және Надырбай кен орындарынан алынған кварциттер алынды.

2. Кварц минералын ұнтақтауға арналған тәжірибелік қондырғы жиналып, жұмыс ұяшығы дайындалды.

3 ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУЛЕР НӘТИЖЕЛЕРІ

3.1 Кварц минералының бөлшектену дәрежесінің разряд санына тәуелділігі

Өңдеуге дейін кварц шикізатының көлемі үлкен болғандықтан, алдымен механикалық жолмен қажетті фракцияға дейін бөлшектенеді. Шикізат фракциясының бастапқы диаметрі 10 мм-ді құрады. Ұсақталған материалдың гранулометриялық құрамын анықтау МЕМСТ Р 51568-99 сәйкес калибрленген стандарттық електердің көмегімен орындалды (3.1-сурет) [86].

Сурет 3.1 – Зертханалық елек

Бастапқы шикізат пен алынған өнімнің массасы зертханалық таразы көмегімен анықталды [87].

Тәжірибелерде фракция диаметрі 10 мм кварц электрогидравликалық әдісімен ұнтақталып, диаметрі 1мм-ден төмен өнім алынды. Алынған өнімнің ұнтақталу дәрежесі К(%) келесі өрнекпен анықталды:

$$K = \frac{m}{m_0} \cdot 100\% \qquad (3.1)$$

мұнда $m_0, m-$ бастапқы және электрогиравликалық әдіспен өңделгенге кейінгі кварц фракцияларының массасы, *г*.

Электрогидравликалық әдістің көмегімен бөлшектеу электрогидравликалық қондырғының жұмыс тәртіптерін таңдау арқылы қол жеткізіледі. Сондықтан зерттеудің міндеті қондырғыдағы кварц кенін бөлшектеу технологиялық процесінің параметрлерін, атап айтқанда – разряд импульстарының өңделетін ортасына берілетін жинақтаушы конденсаторлардың С (мкФ) сыйымдылығын, U (кВ) разряд кернеуін және N импульстік разрядтар санын негіздеу болды. Зерттеулер жүргізу барысында кварцтың ұнтақтау дәрежесінің импульстік разрядтар санына және разряд кернеуіне тәуелділігі алынды [88].

Тәжірибелік зерттеулерде разряд кернеуін 18-24кВ аралығына өзгерте ортырып, разряд саны 300-1500 кезінде, конденсатор сыйымдылығы 0,4 мкФ болғанда кварц минералы ұнтақталды (3.1, 3.2, 3.3, 3.4-кестелер). Тәжірибелік

зерттеулер кезінде (3.1) өрнгімен шикізаттың ұнтақталу дәрежесі (К) анықталды.

Кесте 3.1 – Разряд кернеуі 18кВ және конденсатор сыйымдылығы 0,4 мкФ кезінде кварц минералының гранулометрлік құрамы

d, мм	N=300	N=600	N=900	N=1200	N=1500
	К, %				
d<0,4	-	-	3	4,8	3,6
d<0,7	0	2,4	8,9	6,5	18,2
d<1	66,3	57,6	47,7	63,2	49
d>1	33,7	40	40,4	25,5	29,2

Кесте 3.2 – Разряд кернеуі 20кВ және конденсатор сыйымдылығы 0,4 мкФ кезінде кварц минералының гранулометрлік құрамы

d, мм	N=300	N=600	N=900	N=1200	N=1500
	К, %				
d<0,4	-	3,2	5,6	7,4	6,2
d<0,7	4,2	7,5	4,4	12	15,3
d<1	47	64,7	45,9	47,5	72,5
d>1	48,8	24,6	44,1	33,1	6

Кесте 3.3 – Разряд кернеуі 22кВ және конденсатор сыйымдылығы 0,4 мкФ кезінде кварц минералының гранулометрлік құрамы

d, мм	N=300	N=600	N=900	N=1200	N=1500
	К, %				
d<0,4	2,1	5,6	8,9	13,3	10,9
d<0,7	4,3	3,1	13,6	11,2	22,6
d<1	45,7	30,8	46,2	29,7	43,7
d>1	47,9	60,5	31,3	45,8	22,8

Кесте 3.4 – Разряд кернеуі 24 кВ және конденсатор сыйымдылығы 0,4 мкФ кезінде кварц минералының гранулометрлік құрамы

d, мм	N=300	N=600	N=900	N=1200	N=1500
	К, %				
d<0,4	2,8	3,2	6,7	10,5	14
d<0,7	5	6,4	12,5	18,7	24
d<1	54,2	42	54,3	49,7	41,1
d>1	37,3	47,5	25	19,3	18,7

Келтірілген нәтижелерден диаметрі 1 мм-ден төмен кварц ұнтағы импульсті разрядтар санын 900-ден 1500-ге арттырғанда қарқынды алынатыны байқалды. Бірақ бұл көрсеткіштер түрлендіргіш аралықтағы ауалы ортаны тесіп өту кернеуі 22-24 кВ аралығында болғанда ғана қол жеткізілетіні анықталды.

3.2 Кварц минералының ұнтақталу массасының ауалық разряд аралық ұзындығына тәуелділігі

Импульстік кернеу (U-14-тен 25 кВ-қа дейін) С100 айна киловольтметрімен өлшенді және бақыланды, мұнда шкаланың жұмыс бөлігіндегі негізгі қателіктің рұқсат етілген мәнінің шегі ±2,0% құрайды.

Электрогидрликалық әдісін қолдана отырып, кварцтың гранулометриялық құрамын реттеуге болады, бұл разряд пен уақыт арнасындағы кернеу мөлшерін реттеуге мүмкіндік береді. Бұл технологияда кварц кенін өңдеу жинақтағыштың разряд кернеуін 14 кВ-тан 25 кВ-қа дейін, электрод аралық қашықтықтың ұзындығын 8 мм-ден 12 мм-ге дейін, конденсатордың сыйымдылығын 0,5 мкФ, 0,75 мкФ және өңдеу уақытын 5 мин кезінде жүргізілді. Электрогидрликалық әдісімен бастапқы фракциясы 5 мм, 10мм және 15мм болатын кварц кені бөлшектері 0,8 мм-ден төмен фракцияға дейін ұнтақталды [68, с. 33].

3.5-кестеде кварц шикізатының бастапқы мөлшері d_0=15 мм болатын кеннің ұнтақталу массасының электрогидравликалық қондырғының ауалық разряд аралық ұзындығына тәуелділік кестелері келтірілген.

Кесте 3.5 – m(г) кеннің ұнтақталу массасының *l*, мм ауалық разряд аралық ұзындығына тәуелділігі (d_0=15 мм, өңдеу уақытын 5 мин, С=0,75 мкФ)

l, мм	10<$d_{фр}$<15 мм	0,8<$d_{фр}$<2 мм	$d_{фр}$<0,8 мм
	m, г	*m, г*	*m, г*
8	33,2	13,9	11,2
10	22,8	20,5	21,5
12	5,6	25,8	46,2

Бастапқы диаметрі 15мм болатын кварц шикізатын өңдеу кезінде ауалық разряд аралық ұзындық 8 мм кезінде ұнтақалған өнімнің массасы ($d_{фр}$<0,8мм) 11,2 г, ал ірі бөлшектердің массасы (10<$d_{фр}$<15 мм) 33,2 г-ды құрады. Ауа разрядтағыштағы разряд аралығық ұзындығы 12мм кезінде ірі бөлшектердің массасы (10<$d_{фр}$<15 мм) 5,6 г-ға дейін азайды, ал ұнтақталған масса ($d_{фр}$<0,8 мм) бастапқы шикізаттан 46,2г-ға дейін артты. Бұдан разряд аралығының ұзындығы өскен сайын кеннің ұнтақталу массасының күрт өсетінін көре аламыз.

3.6 және 3.7-кестелерде m(г) кеннің ұнтақталу массаларының электрогидрогидравликалық қондырғының жинақтағышының разряд кернеуіне (14кВ-тан 25кВ-қа дейін) тәуелділігі келтірілген. Мұнда кварц шикізатының бастапқы мөлшері 5 мм, 10 мм конденсатор батареясының тұрақты сыйымдылығы С=0,5мкФ, С=0,75 мкФ, кеннің бастапқы массасы $m = 100г$, ал өңдеу уақыты 5 мин болды.

Кесте 3.6 – $m,г$ кеннің ұнтақталу массасының электрогидрогидравликалық қондырғының жинақтағышының разряд кернеуіне U, кВ тәуелділігі (d_0=5 мм, С=0,5мкФ)

U, кВ	4<$d_{фр}$<5мм	2<$d_{фр}$<4мм	0,8<$d_{фр}$<2мм	$d_{фр}$<0,8мм
	$m,г$	$m,г$	$m,г$	$m,г$
14	45,2	26,2	14,6	13,5
16	36,5	23,8	19,5	19,2
18	32,3	18,3	22,8	25,6
20	29,8	13,5	26,3	29,8
22	26,8	9,3	28,6	34,5

Бастапқы диаметрі 5мм кварц шикізатын өңдеу кезінде электрогидрогидравликалық қондырғының импульстік разряд кернеуі 14кВ кезінде ірі бөлшектердің массасы 45,2 г, ал ұнтақталған өнімнің масса 13,5 г-ды құрады. Импульстік разряд кернеуі 22кВ болғанда ірі бөлшектердің 26,8г-ға дейін азайды, ал ұнтақталған өнімнің массасы бастапқы шикізаттан 34,5 г-ға дейін артты.

Кесте 3.7 – $m,г$ кенді ұнтақталу массасының электрогидрогидравликалық қондырғының жинақтағышының разряд кернеуіне U,кВ тәуелділігі (d_0=10 мм, С=0,75 мкФ)

U, кВ	8< $d_{фр}$ <10мм	0,8< $d_{фр}$ <2мм	$d_{фр}$<0,8мм
	$m,г$	$m,г$	$m,г$
19	21,2	12,2	24,3
21	14	13,2	26,5
22	10,4	15,8	29,2
23	8,6	17,8	32,6
25	2,3	25	40,1

3.7-кестеден бастапқы диаметрі 10мм кварц шикізатын өңдеу кезінде импульстік разряд кернеуі 25кВ болғанда ірі бөлшектердің массасы (8< $d_{фр}$ <10мм) 2,3 г-ға дейін азайғанын, ал ұнтақталған өнімнің массасы ($0{,}8мм$-ден кіші) 40,1 г-ға дейін артқанын көруге болады.

3.7-кестелерден кварц шикізатының бастапқы диаметрі $d_0 = 5мм$ және конденсатор батареясының сыйымдылығы С=0,5 мкФ кезінде диаметрі $d_{фр}$<0,8мм болатын ұсақ бөлшектер қарқынды түрде ұнтақталатынын көруге болады. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, разряд арнасындағы кернеудің жоғарылауымен кварцитті бөлшектеу және ұнтақтау қарқындылығының жоғарылайтындығын байқауға болады.

Сұйық ортадағы су асты электр жарылысының әсерінен кварц шикізатын ұнтақтау нәтижелері материалдың ұнтақталу дәрежесін анықтауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер кендерді бөлшектеу және ұнтақтау сипаттамаларын зерттеу барысында пайдаланылуы мүмкін. Тамақ өнеркәсібінде 0,25-0,5 миллиметрлік кварц ұнтағын суды тазартуға арналған сүзгілерді жасау үшін

толтырғыш ретінде пайдалануға болады, сонымен қатар 0,5-тен 1 миллиметрге дейінгі бөлшектерді металды, тасты және әйнекті өрескел өңдеу үшін пайдалануға болады.

Бұл әдісті зерттеу кварц кенін ұнтақтаудың технологиялық процесін күшейтуге мүмкіндік берді [89]. Ұсынылған әдіс бойынша алынған ұсақталған кварцитті отқа төзімді, керамикалық, химиялық, шыны, құрылыс өнеркәсібінде, металлургияда, оптика мен электротехникада және басқа салаларда қолдануға болады [90].

Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері сұйықтағы импульсті электр разрядымен ұнтақтаудың ұсынылған әдісі жұқа ұнтақтарды алудың перспективалы әдісі екенін көрсетеді. Су минералды суспензияларын электрогидравликалық өңдеудің әзірленген технологиясы ірі фракциялардың белгілі бір өлшемдерімен ұнтақты (қоспаны) тез және үнемді алуға, оның құрылымы мен сипаттамаларын өзгертуге және оның негізінде берілген қасиеттері бар жаңа материалдар дайындауға және алынған фракцияларды әр түрлі салалар үшін оңтайлы пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен бірге санитарлық-гигиеналық еңбек жағдайларын жақсартуға болады және қоршаған ортаның ластануын айтарлықтай төмендетеді. Ұсынылған әдіс пен параметрлер өндіріс жағдайында ең қолайлы, ол кварц кенін қарқынды бөлшектеуді және ұнтақтауды қамтамасыз етеді [84, с. 111-114].

3.3 Кварц минералының ұнтақталу массасының қондырғының жұмыс ұяшығының диаметріне тәуелділігі

Электрогидравликалық бөлшектеу және ұнтақтау әртүрлі материалдарды өңдеудің заманауи әдісі, ол өнімнің белгілі бір гранулометриялық құрамымен қажетті ұнтақтау дәрежесін қамтамасыз етеді және іріктеп ұсақтаудың жоғары қабілетіне ие [91].

Осы технологияның көмегімен кварцитті конденсаторлық батареялардың сыйымдылығын 0,25 мкФ-тан 1 мкФ-қа дейін арттыра отырып ұнтақтау жүзеге асырылды. Зерттеулер жүргізу барысында импульстік разряд кернеуі 20 кВ-тан 30 кВ-қа дейін, импульстік разрядтар саны 500-ден 1000-ға дейін, жұмыс жасушасының ішкі диаметрі 60 мм-ден 80 мм-ге дейін өзгерді. Табиғи минералды электрогидравликалық әдісімен ұнтақтау нәтижелері дайын өнімнің ұнтақталу дәрежесін анықтауға мүмкіндік берді [92].

3.8, 3.9, 3.10-кестелерде кварцитті электрогидравликалық әдісіпен ұнтақтаудың тәжірибелік нәтижелері келтірілген. Бастапқы шикізаттың массасы m_0=50 г, ал бастапқы алынған кесектердің мөлшері шамамен 10 мм, ал алынған өнім бөлшектерінің мөлшері 0,1-0,4 мм болды. Кварцитті ұнтақтау электрогидравликалық қондырғының конденсаторлық батарея сыйымдылығының және импульстік разрядтар санының тұрақты мәндерінде жүзеге асырылды (C=0,75 мкФ, N=800 разряд). Импульстік разрядтардың кернеуі (U) 20кВ-тан 30кВ-қа дейін өзгерді. Тәжірибелер жұмыс ұяшығының ішкі диаметріне (D) байланысты жүргізілді.

Кесте 3.8 – Кварциттің ұнтақталу массасы мәндерінің электрогидравликалық қондырғының жұмыс ұяшығының диаметріне тәуелділігі (C=0,75 мкФ, U=20кВ, N=800, m_0=50 г)

d, мм	D=60 мм	D=70 мм	D=80 мм
	m, г	m, г	m, г
0,1<d<0,4	-	0,4	1,1
0,4<d<0,8	1,5	8,2	4,5
0,8<d<1	27,4	30,5	25,9
1<d<5	16,8	5,2	14,7

Кесте 3.9 – Кварцитті ұнтақталу массасы мәндерінің электрогидравликалық қондырғының жұмыс ұяшығының диаметріне тәуелділігі (C=0,75 мкФ, U=25кВ, N=800, m_0=50 г)

d, мм	D=60 мм	D=70 мм	D=80 мм
	m, г	m, г	m, г
0,1<d<0,4	0,9	8,4	3,5
0,4<d<0,8	6,3	11,5	13,1
0,8<d<1	19,2	9,7	14,8
1<d<5	15,6	12,3	11,5

Кесте 3.10 – Кварцитті ұнтақталу массасы мәндерінің электрогидравликалық қондырғының жұмыс ұяшығының диаметріне тәуелділігі (C=0,75 мкФ, U=30кВ, N=800, m_0=50 г)

d, мм	D=60 мм	D=70 мм	D=80 мм
	m, г	m, г	m, г
0,1<d<0,4	1,3	14,3	5,6
0,4<d<0,8	5,9	16,5	8,5
0,8<d<1	14,3	5,7	11,7
1<d<5	22,4	14,3	17,1

3.8, 3.9, 3.10-кестелерден импульстік кернеудің жоғарылауымен диаметрі 0,1–0,4 мм болатын кварцтың ұсақ бөлшектері ең қарқынды түрде ұнтақталатынын көруге болады. Сонымен бірге жұмыс ұяшығының диаметрі кеннің дисперстілігінің төмендеуіне де әсер етеді. Біздің жағдайымызда жұмыс ұяшығының оңтайлы диаметрі D=70 мм, ал разрядтар кернеуі U=30 кВ болды, себебі диаметрі 0,1–0,4 мм болатын кварцтың ұсақ бөлшектері қарқынды ұсақталып, 14,3 г құрады. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, разряд арнасындағы кернеудің жоғарылауымен кварцитті бөлшектеу және ұнтақтау қарқындылығы артатындығын көруге болады.

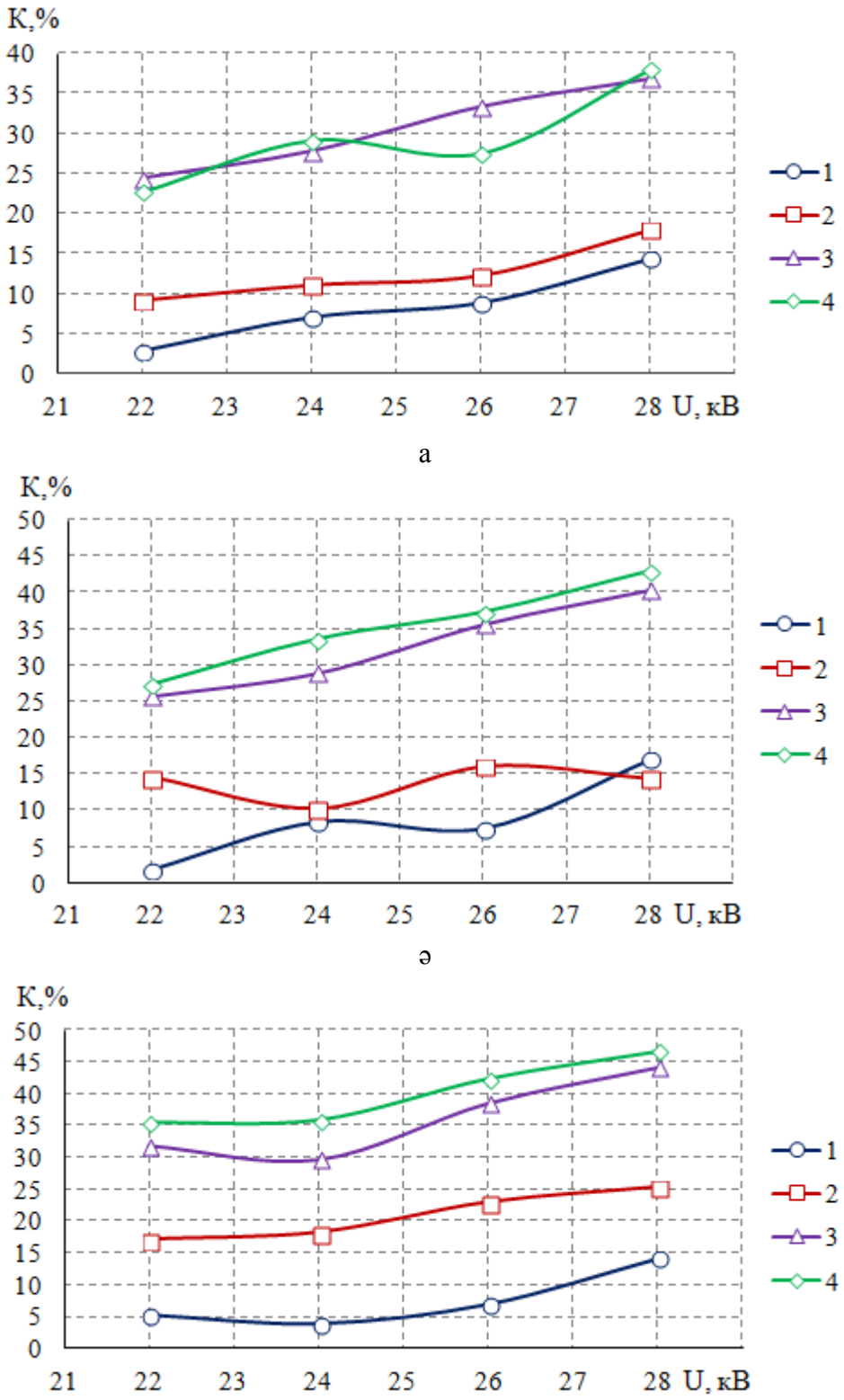
Тәжірибелік зерттеулердің деректерінен импульсті разряд кернеуін арттыру арқылы дайын өнімнің массасын арттыруға болатындығы анықталды, бірақ бұл көрсеткіштерге жұмыс ұяшығының теріс электродының қызметін атқаратын металл корпустың ішкі диаметріне байланысты қол жеткізуге болатындығы байқалды.

Кейінгі зерттеулерде (3.2-сурет) кварц шикізаты электрогидравликалық қондырғының конденсатор батареясының сыйымдылығының әртүрлі мәндерінде (0,25-1 мкФ) ұсақталды. Тәжірибелік жұмыстар 30 кВ разрядтар кернеуі және импульстік разрядтарының саны (500-1000 разрядтар) кезінде жүргізілді. Жұмыс ұяшығының ішкі диаметрі 70 мм, бастапқы шикізаттың массасы m_0=50 г, ірі кесектердің диаметрі 12-14 мм болды.

Сурет 3.2 – Импульстік разряд санына және конденсатор батареясының сыйымдылығына байланысты кварцит ұнтағын алу нәтижелері

Тәжірибелік нәтижелер бойынша конденсатор батареясының сыйымдылығын және импульстік разрядтардың санын арттыру арқылы дайын өнімнің шығымын арттыруға болатындығы байқалды. Диаметрі 0,2 мм төмен шикізат алу үшін конденсатордың сыйымдылығы кемінде 0,5 мкФ болуы керек екендігі анықталды. Импульстік разрядтардың санына байланысты кварцит ұнтағын алу нәтижелерін талдаудан 750-1000 разряд диапазонында қарқынды түрде ұнтақталатынын байқауға болады.

Ұнтақталған кварцит әртүрлі салаларда, соның ішінде оптикалық талшықтар, электроника және фотоэлектрлік құрылғылар өндірісінде қолданылады. Бөлшектердің диаметрі 0,1-ден 0,4 миллиметрге дейінгі материал шыны, керамика және фарфор бұйымдарын, сондай-ақ оқшаулағыш материалдарды жасау үшін қолданылады. Құрамында 98%-ға дейін кремний диоксиді (SiO_2) бар біртекті құрамы мен сіңіргіш қасиеттерінің арқасында кварц ұнтағы суды тазарту үшін сүзгі материалы рет р ц



а – N=1000; С=0,5 мкФ; ә – N=1500; С=0,5 мкФ; б – N=2000; С=0,5 мкФ: 1 – $V_Ш=V_{СУ}$; 2 – $V_Ш=1,5 \cdot V_{СУ}$; 3 – $V_Ш=3 \cdot V_{СУ}$; 4 – $V_Ш=5 \cdot V_{СУ}$

Сурет 3.4 – Кварц минералының ұнтақталу дәрежесінің су мөлшеріне тәуелділігі

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [88, p. 96-97]

Алынған нәтижелерден өңделетін шикізаттың көлемімен салыстырғанда судың көлемін 3-5 есеге көбейткенде ($3 \cdot V_{СУ}$-$5 \cdot V_{СУ}$) өнімнің ұнтақталу дәрежесі артатындығы байқалды. Су мөлшерін аталған деңгейден арттырғанда дайын өнім шығымы шамамен бірдей деңгейде өзгерді.

Тәжірибе мәліметтері электрогидравликалық әдіспен табиғи кендерден қажетті гранулометрлік құрамдағы өнімді алуда қолданыс табуы мүмкін. Осы зерттеулерді жүргізу және олардың нәтижелерін кәсіпорындарға енгізу өнеркәсіптегі техникалық прогреске ықпал етеді [93].

3.5 Табиғи кендердің гранулометриялық құрылымын TESCAN MIRA 3 сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен зерттеу

Табиғи кварц шикізатының гранулометриялық құрылымы MIRA 3 LMU (TESCAN) сканерлеуші электрондық микроскоп (СЭМ) арқылы зерттелді. Электрондық сканерлеу микроскопия әдісі - нысанның беткі қабаттарының құрамы, құрылымы және басқа да қасиеттері туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді [94, 95]. Кварц үлгісінің беттік құрылымын зертеу жұмыстары Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің «Нанотехнологиялар және функционалдық наноматериалдар» ғылыми орталығының «Электронды сканерлеуші микроскоп» зертханасында Tescan Mira 3 сканерлейтін электронды микроскоп құралымен жүргізілді (3.5-сурет).

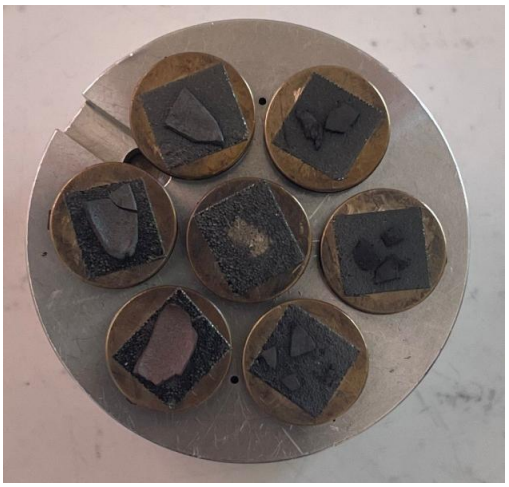
Сурет 3.5 – Tescan Mira 3 сканерлейтін электронды микроскоп

Бұл микроскоп үлкен өлшемдегі және жоғарғы сападағы кескіндерді алуға мүмкіндік беретін, наноөлшемді өлшемдерге дейін үлгілердің бетін талдау үшін катодты сәулелік зондты қолданатын, ғылым мен өнеркәсіптің көптеген салаларында қолданылатын қондырғы.

Микроскоп үстеліне ұстағыштың көмегімен арнайы өткізгіштігі бар, көміртекті екі жақты скотч жабыстырылады. Осы скотчқа зерттелетін кварц

ұнтағы жабыстырылады. Скотчқа жабыстырылған үлгі көміртегімен бүрку үшін бүріккіш қондырғысына салынады. Микроскоп үстелінің көрінісі 3.6-суретте көрсетілген.

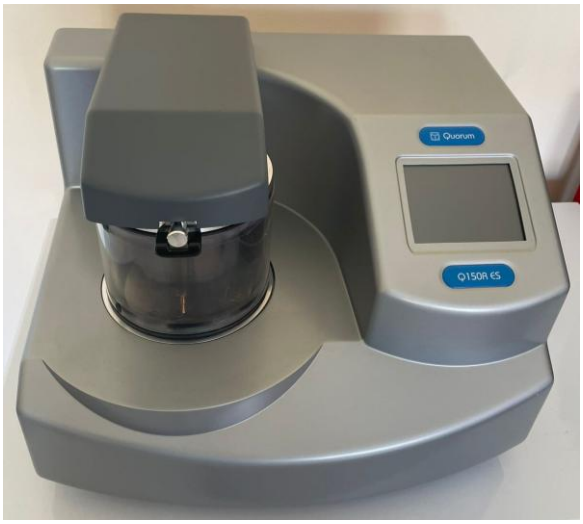
а



ә

Сурет 3.6 – Екі жақты өткізгішті скотч жабыстырылған микроскоп үстелі

Біздің жағдайда, зерттелетін үлгі диэлектрлік болғандықтан, үлгіні Quorom Q150R ES бүріккіш қондырғысында көміртекті өткізгіш жұқа қабатымен жабылады. Quorom Q150R ES бүріккіш қондырғысының көрінісі 3.7-суретте көрсетілген.

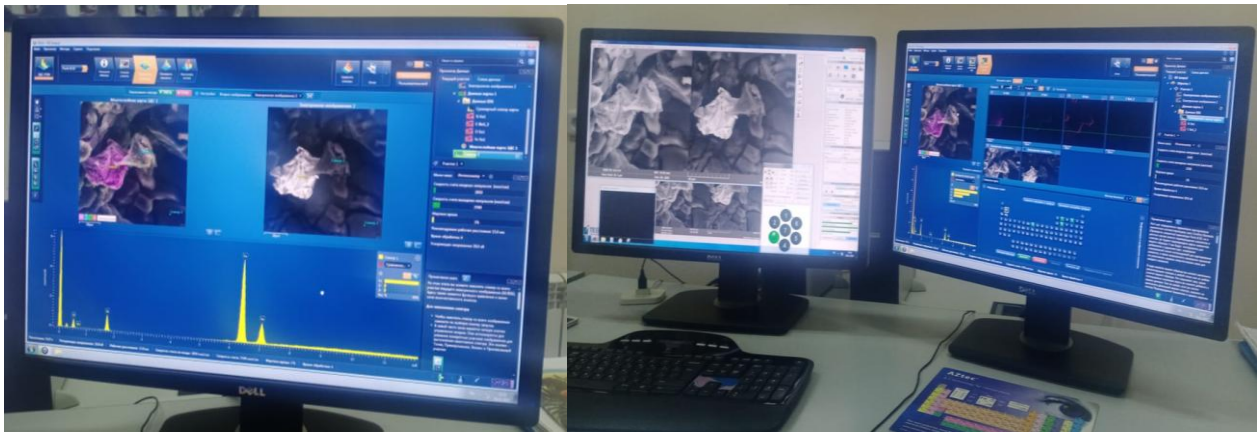


Сурет 3.7 – Quorum Q150R ES бүріккіш қондырғысы

Quorum Technologies компаниясы шығарған Quorum Q150R ES бүріккіш қондырғысы – сканерлейтін электронды микроскоп үшін тоқ өткізбейтін үлгінің (диэлектриктердің) бетіне электр өткізгіштердің жұқа қабықшалары түрінде асыл металдармен көміртегін бүркуге (жағуға) арналған қондырғы.

Дайындау әдістерінен өткеннен кейін ғана үлгі сканерлеуші электронды микрокопқа салынады. Кварц кенінің электрондық кескіндері (3.8-сурет)

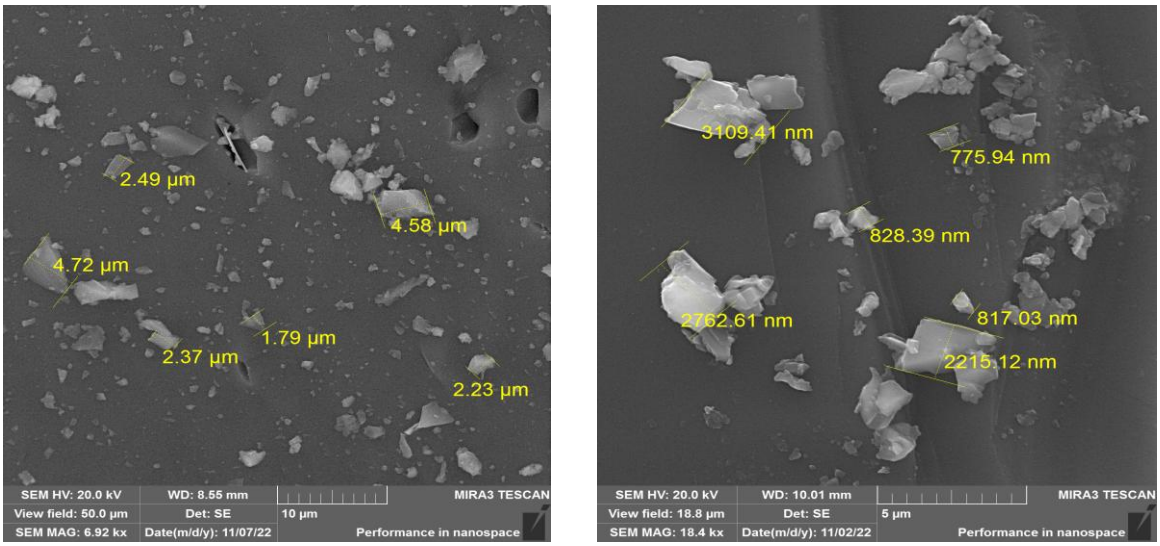
TESCAN MIRA3 сканерлеуші электронды микроскопта Aztec бағдарламасының көмегімен алынады.



а ә

Сурет 3.8 – TESCAN MIRA 3 сканерлеуші электронды микроскопта Aztec бағдарламасының көмегімен, кварц кенінің электрондық кескіндері

3.9 және 3.10-суреттерде механикалық және электрогидравликалық әдіспен ұсақталған Tescan Mira 3 сканерлеуші электронды микроскопының көмегімен алынған Ақтас және Надырбай кен орындарынан алынған кварц ұнтақтарының электрондық суреттері көрсетілген.



а ә

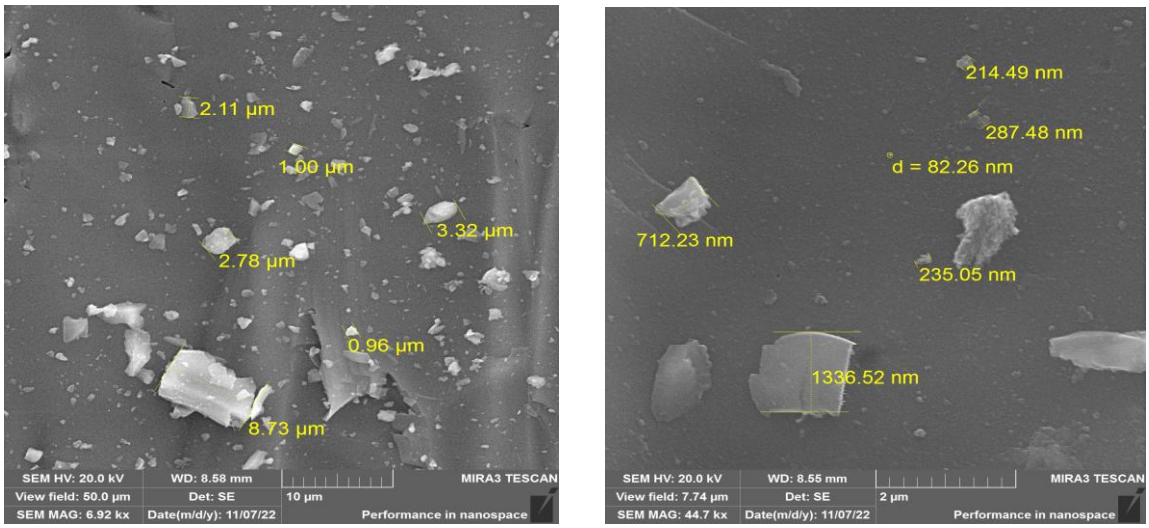
а – механикалық өңдеу; ә – электрогидравликалық өңдеу

Сурет 3.9 – Надырбай кен орнынан алынған кварц ұнтағының электрондық суреттері

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [77, p. 33]

3.9, 3.10-суреттер электронды сәуленің үдеу кернеуі (HV) 20кВ және әртүрлі үлкейту кезінде (SE detector) екінші реттік электронды детектордың көмегімен алынды.

Надырбай кен орнынан алынған кварц шикізатын механикалық өңдеу кезінде ірі бөлшектердің диаметрі 4,58 мкм, ұсақтардың диаметрі 1,79 мкм болды, ал электрогидравликалық өңдеу кезінде бөлшектердің максималды диаметрі 3109,41 нм азайып, ұсақ бөлшектердің диаметрі 775,94 нм-ды құрады.



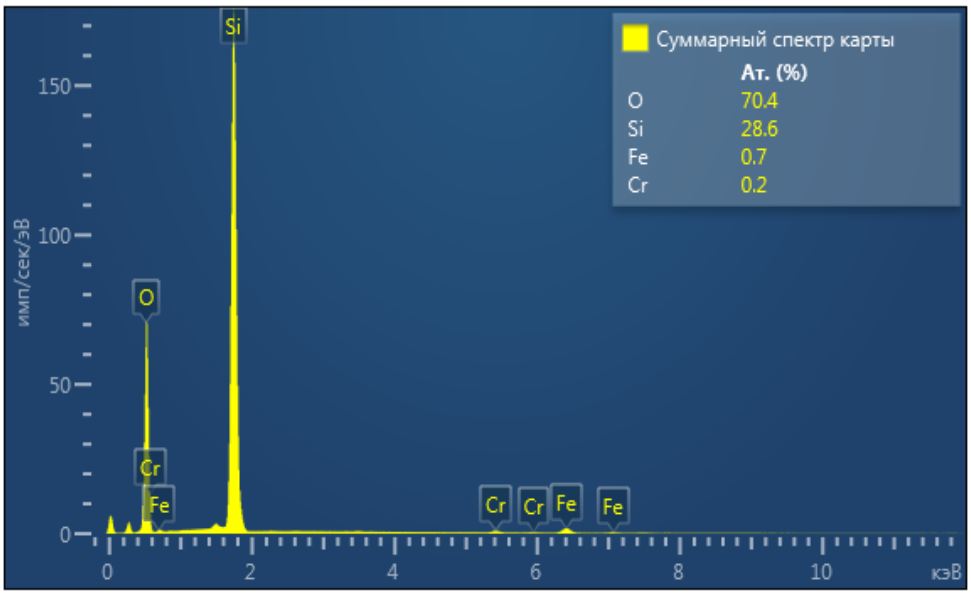
а ә

а – механикалық өңдеу; ә – электрогидравликалық өңдеу

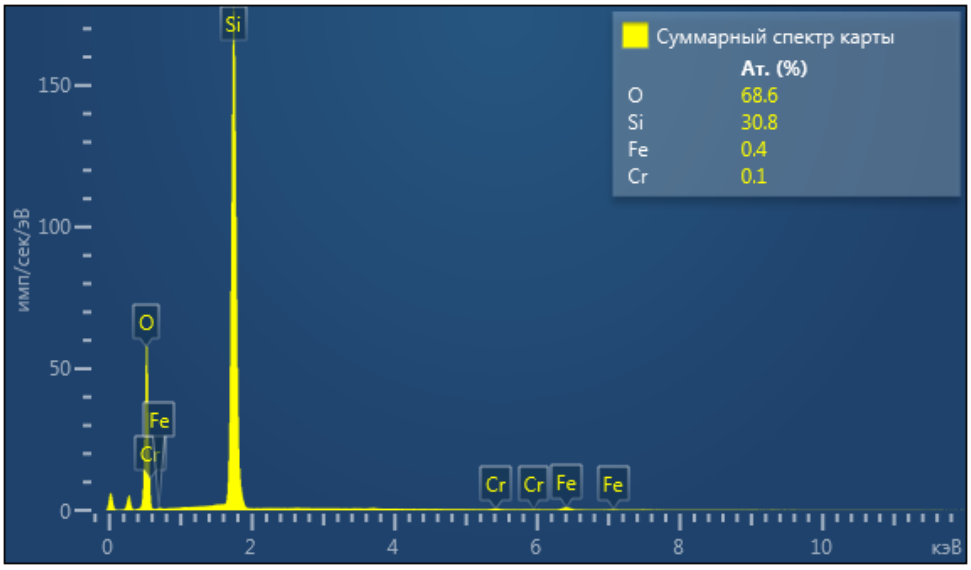
Сурет 3.10 – Ақтас кен орнынан алынған кварц ұнтағының электрондық суреттері

Ақтас кен орнынан алынған кварц шикізатын механикалық жолмен өңдеген кезде ірі бөлшектердің диаметрі 8,73 мкм-ді, кіші диаметрлер 0,96 мкм-ді құрады, ал электрогидравликалық өңдеуден кейін ірі бөлшектердің диаметрі 1336,52 нм-ге төмендеп, ұсақ бөлшектердің диаметрі 82,26 нм болды. Кескіндерден көріп тұрғанымыздай, үлгінің беттік қабаты әртүрлі пішінге ие. Ұнтақталған кварц үлгілерінің электронды микроскопиялық талдаулары электрогидравликалық әдістің көмегімен қажетті өлшемді табиғи шикізат ұнтағын алуға болатындығын көрсетті.

Сонымен бірге, энерго-дисперсті спектрометр арқылы Ақтас және Надырбай кен орнынан алынған кварц ұнтағының энергетикалық спектрлері алынды. ЭДС – бұл үлгінің микроқұрылымын зерттей отыра, онда қандай қосымша элементтер бар екенін көруге мүмкіндік беретін талдау. 3.11, 3.12-суреттердегі бейнелер Tescan Mira 3 сканерлейтін электронды микроскоптың көмегімен Aztec компьютерлік бағдарламасы арқылы алынды [77, p. 34].



а



ә

а – механикалық өңдеу; ә – электрогидравликалық өңдеу

Сурет 3.11 – Надырбай кен орнынан алынған кварц ұнтағының энергетикалық спектрі

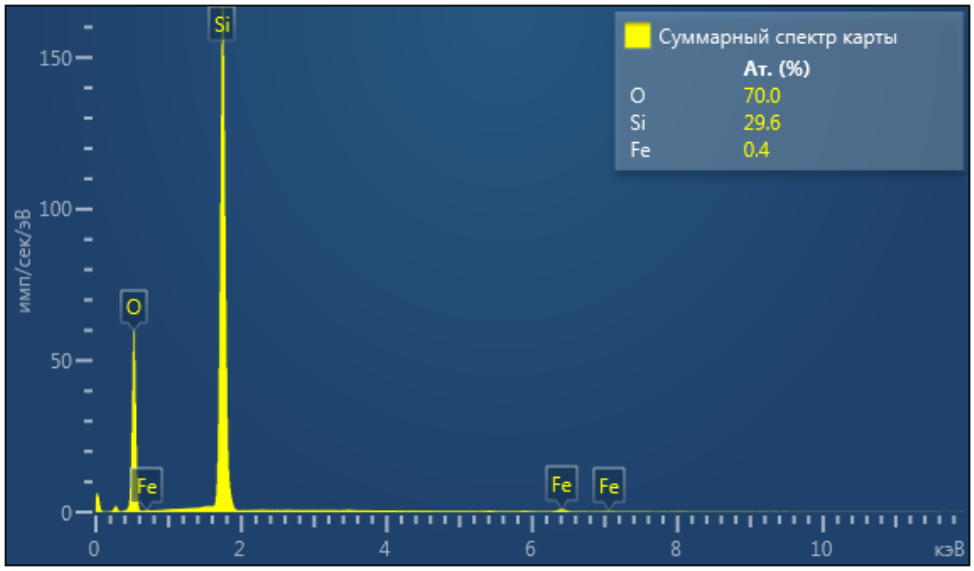
3.11а-суретте механикалық өңдеу кезінде кварц материалының құрамында темір (Fe) 0,7% аралығында болады, ал электрогидроимпульсті өңдеуден кейін ол 0,4% дейін төмендеді (3.11ә-сурет). Сол сияқты, хром элементінің (Cr) мөлшері 0,2%-дан 0,1%-ға дейін төмендеді.

Спектрлерде зерттелетін кварц ұнтағының барлық химиялық элементтеріне сәйкес келетін шыңдар оңай ажыратылады (3.11-кесте).

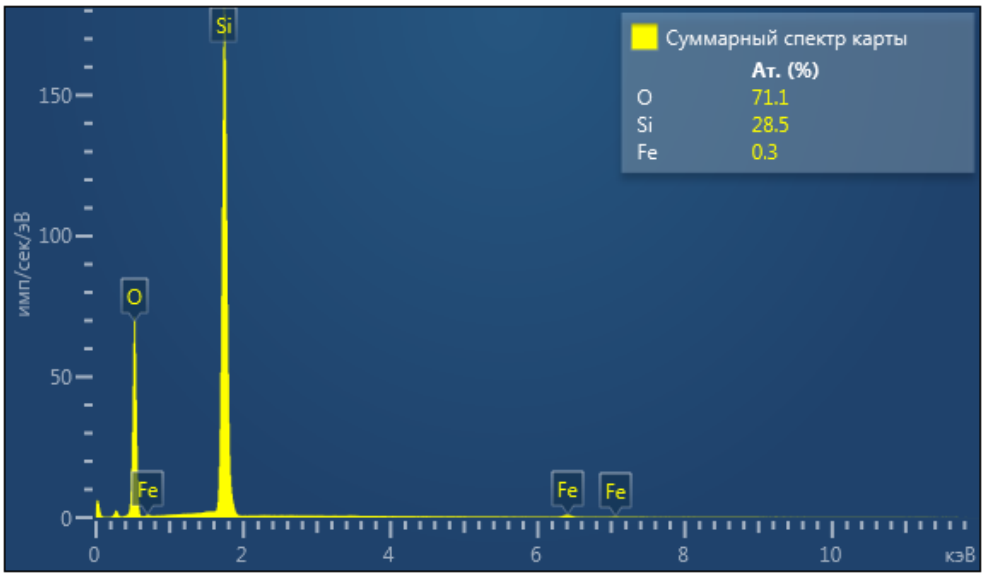
Кесте 3.11 – Кварцитті талдау нәтижесі *Si-Cr-Fe-O*

Элемент	*G*,%	*At*,%
OK_α	55,02	68,6
SiK_α	43,42	30,84
CrK_α	0,32	0,12
FeK_α	1,24	0,44
Всего, %	100%	100 %

Келесі 3.12-суретте Ақтас кен орнынан алынған кварц ұнтағының энергетикалық спектрлері көрсетілген.



а



ә

а – механикалық өңдеу; ә – электрогидравликалық өңдеу

Сурет 3.12 – Ақтас кен орнынан алынған кварц ұнтағының энергетикалық спектрі

3.12а-суретте механикалық өңдеу кезінде кварц материалының құрамында темір (Fe) 0,4% аралығында болады, ал электрогидроимпульсті өңдеуден кейін ол 0,3% дейін төмендеді (3.12ә-сурет).

Кварцитті талдау нәтижесі *Si-Fe-O* 3.12-кестеде келтірілген.

Кесте 3.12 – Кварцитті талдау нәтижесі *Si-Fe-O*

Элемент	*G*,%	*At*,%
OK_α	58,1	71,1
SiK_α	40,9	28,5
FeK_α	1,0	0,3
Всего, %	100%	100 %

Электрогидравликалық әдісті қолдану кварц кенінің ұсақтап қана қоймай, сонымен қатар құрамындағы қажетсіз элементтерден құтылуға мүмкіндік беретіндігін көрсетеді.

3.6 JSM 5910 электрондық растрлық сканерлеу микроскопының көмегімен табиғи кендердің беттік құрылымын зерттеу

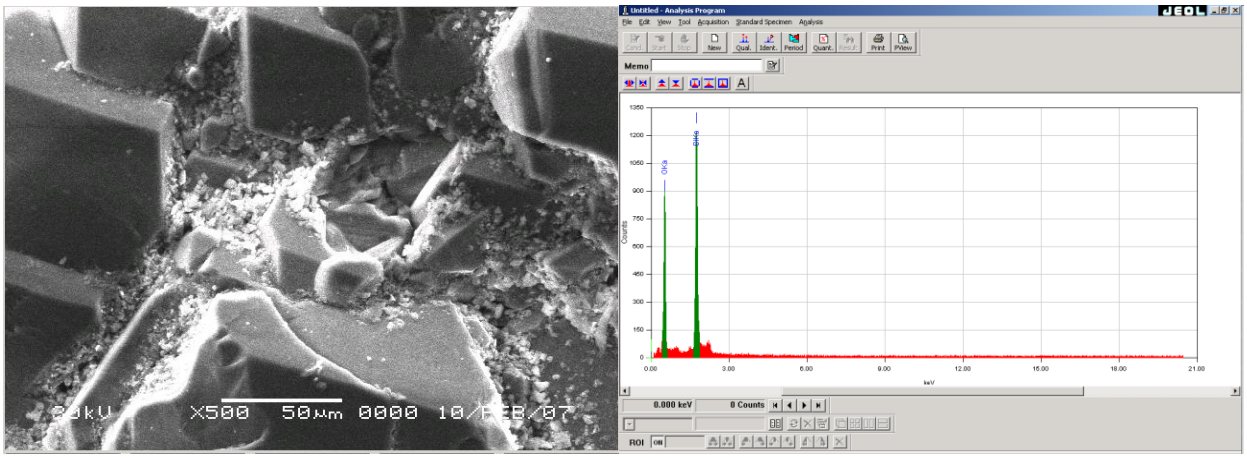
Минералдың кең таралуы, диагностиканың қарапайымдылығы және оптикалық осінің бағдарын анықтау қарапайымдылығы кварцтың микроқұрылымдық зерттеуді қол жетімді етеді [96].

Кварц минералының микроқұрылымын зерттеу Қарағанды металлургия университетінің зертханасында JSM 5910 сканерлеуші (растрлық) электронды микроскоп арқылы жүргізілді (3.13-сурет).

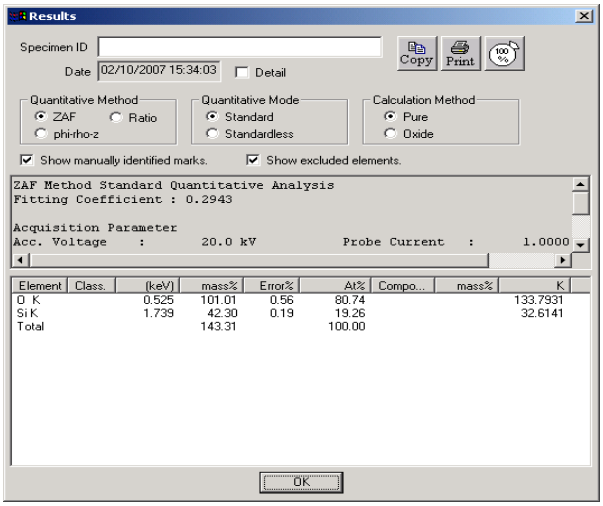
Сурет 3.13 – JSM 5910 электронды микроскопының сыртқы бейнесі

Бұл қондырғы бөлшектену беттерін зерттеу үшін қолданылады және кескіннің үлкейтілуі мен өріс тереңдігін жарық микроскоптарын пайдаланғанға

қарағанда әлдеқайда үлкен (18-ден 300 мың есеге дейін) алуға мүмкіндік береді. Микроскоп фокустың үлкен тереңдігіне байланысты беттің топографиясын байқауға мүмкіндік береді және құрылымның жұқа бөлшектерін зерттеуге болады. Ол кристаллографиялық жазықтық деңгейінде өте жұқа құрылымды зерттеуге арналған [97]. 3.14а, 3.14ә, 3.14б-суретте Надырбай кен орнының кварц үлгісінің электронды-микроскопиялық суреті көрсетілген.



а ә



б

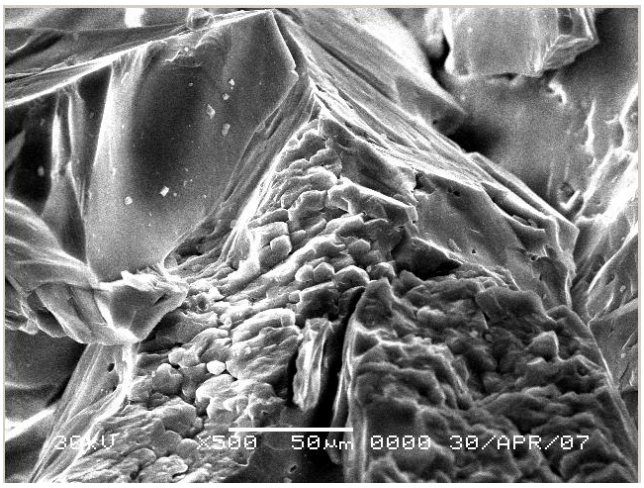
а – кварц минералының беттік құрылымы; ә – кварц минералының энергетикалық спектрі; б – кварц минералының элементтік құрамы

Сурет 3.14 – Надырбай кен орнының кварц үлгісінің электронды – микроскопиялық суреті (×500 есе)

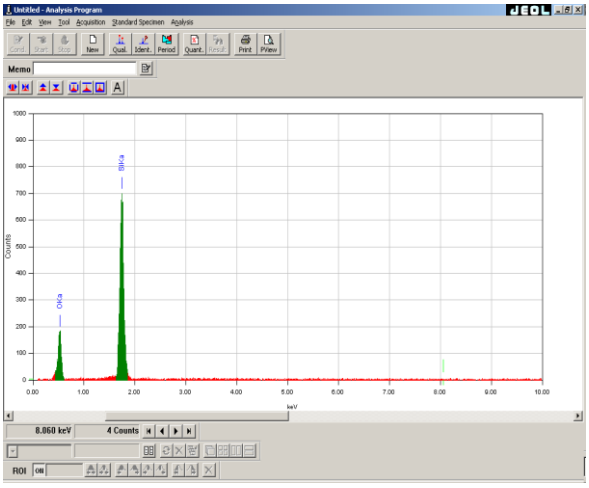
3.14-суреттен кварц кристалдарының бұрыштары өткір пішінді екенін көруге болады. Кристалдар бір-біріне бекітіліп, кристалды пішіндегі басқа ұсақ бөлшектермен «желімделген». Бұл әртүрлі мөлшердегі кішкентай кристалдар үлкен кристалдар арасындағы бос орындарды толықтырады. Жақын кристалдардың беттерінің белгілі бір аймақтарында кристалдар бір-біріне жабысады. Кристалдардың өлшемдері бойынша өзіне ұқсас иерархия бар. Кішкентай кристалдар да пішіні ұқсас кристалдарға ұқсас кішірек кеуектерде

бір-бірімен бекітілген. Бұл қосылыстардың барлығы өзіне тән қаттылыққа ие және кварц минералының негізін құрайтын біртұтас тұтастықты құрайды.

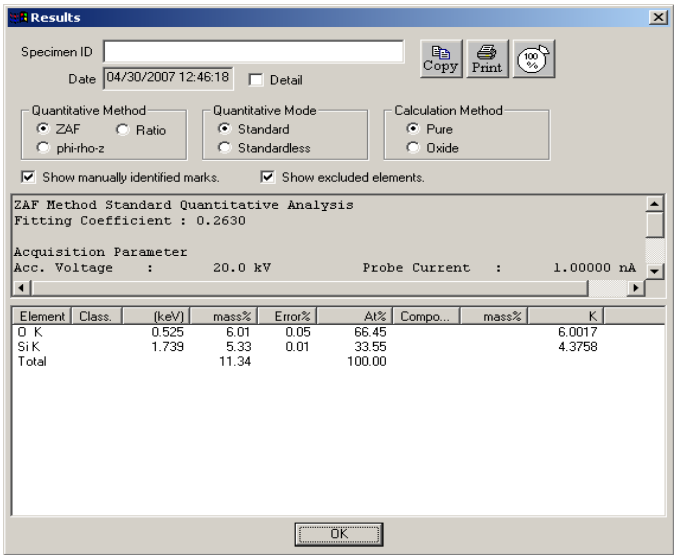
3.15а, 3.15ә, 3.15б-суретте электрогидравликалық қондырғыда өңделген кварц үлгісінің 500 есе үлкейтілген электронды-микроскопиялық суреттері көрсетілген.



а



ә



б

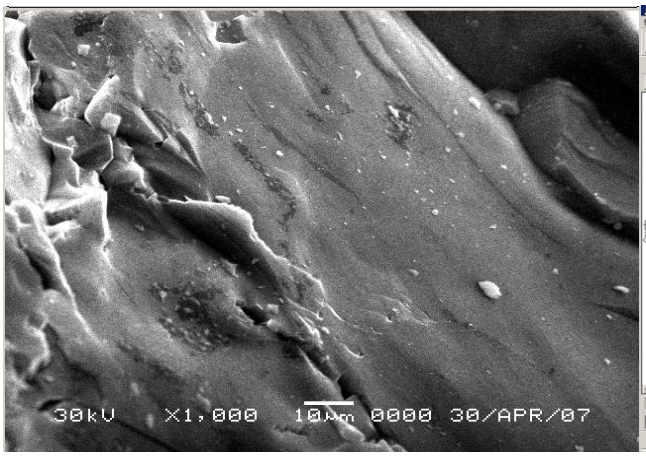
а – кварц минералының беттік құрылымы[1]; ә – кварц минералының энергетикалық спектрі; б – кварц минералының элементтік құрамы

Сурет 3.15 – Электрогидравликалық қондырғыда өңделген кварц минералының электронды-микроскопиялық суреті (×500 есе)

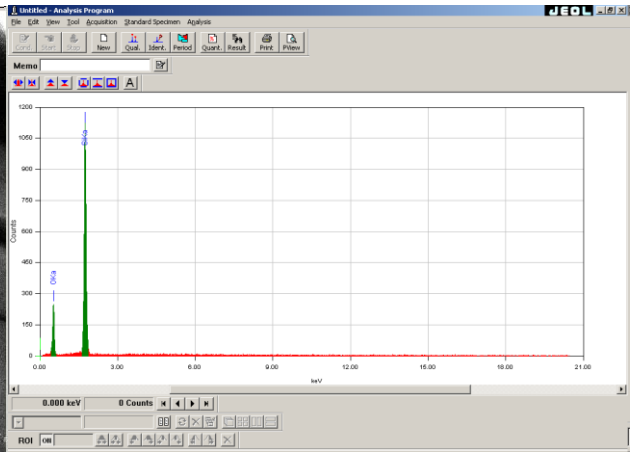
Ескерту – [1] – Әдебиет негізінде құралған [68, б. 35]

3.15а-суреттен кварц бөлшектерінің беті өңделгеннен кейін қиыршықталып, шеттері қатты аморфталған, өткір бұрыштары мен беттері жоқ, сонымен қатар кварц минералының денесінде көптеген жарықтардың өтуі көрсетілген және кедір-бұдыр беттер байқалады. Әрі қарай үлкейту кезінде бұл кедір-бұдыр аймақтар кристалды құрылымдарға ие екендігін көрсетеді.

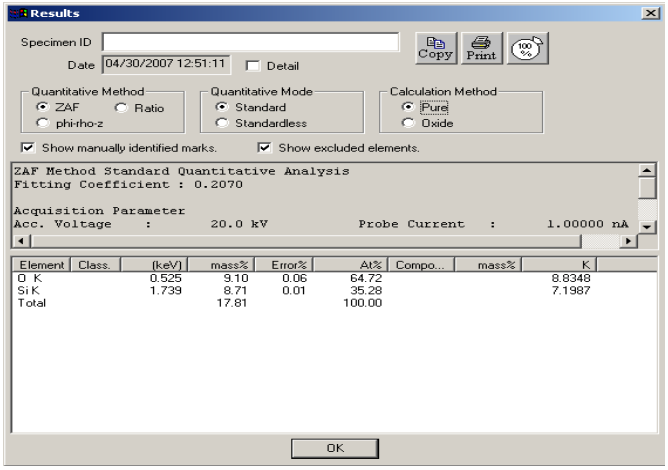
3.16а, 3.16ә, 3.16б-суретте электрогидравликалық әдіспен өңделген кварц үлгісінің 1000 есе үлкейтіліп көрсетілген электронды-микроскопиялық суреті көрсетілген.



а



ә



б

а – кварц ұнтағының микроқұрылымы-[1]; ә – кварц минералының энергетикалық спектрі; б – кварц минералының элементтік құрамы

Сурет 3.16 – Электрогидравликалық әдіспен өңделген кварц үлгісінің электронды микроскопиялық суреті (×1000 есе)

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [68, с. 35]

Бөлшектену үдерісі кезінде жарықшалар пайда болып, кристалл бөлінеді. Бұл жарықтар күшті деформация кезінде пайда болады. Кейбір жерлерде бөлшектену толығымен аяқталмағанын көруге болады, бірақ жарықшақтар өтсе де, ішінара байланыстар әлі де сақталған. Кейінгі соққы толқынынан өткен кезде кристалдар бірнеше бөлікке бөліне отырып бөлшектену орын алады.

Осылайша, табиғи кварц минералы мен ұнтақталған үлгілерінің электронды микроскопиялық талдаулары берілген қуаттағы электрогидравликалық әсері табиғи минералды белгілі бір мөлшерге дейін бөлшекеп, ұнтақтайтынын көрсетті.

Электронды микроскопиялық суреттерден әр түрлі үлкейту кезінде алынған кварц шикізатының үлгілері қабатты құрылымға ие екендігін көруге болады.

3.7 Кварц үлгілерінің элементтік құрамын зерттеу

Әр түрлі нысандардың элементтік құрамын талдау ғылым мен технологияның көптеген салаларында ең көп сұранысқа ие зерттеу түрлерінің бірі болып табылады. Бұл әсіресе металлургия, химия өнеркәсібі (реагенттер, тыңайтқыштар, еріткіштер мен дәрі-дәрмектер өндірісін қоса алғанда), сондай-ақ ядролық отын мен жартылай өткізгіш материалдар өндірісінде маңызды. Элементтік талдау ғылыми зерттеулер мен пайдалы қазбаларды барлау шеңберінде тау жыныстарын зерттеуге арналған зертханаларда да кеңінен қолданылады. Нанотехнологияның дамуы және олардың өсуі өнеркәсіптегі және ғылыми зерттеулердегі рөлі жоғары таза кварц концентраттарын алу мәселесін алдыңғы қатарға шығарады [98].

Қазіргі уақытта кварц концентраттарының көп бөлігі оны өңделген кварцтан алынады. Табиғи кварц шикізаты жоғары және аса жоғары тазалықтағы кварц концентраттарын алу үшін қолданылады. Әсіресе таза кварц құрамында Al, Fe, қоспалар болып табылатын, сілтілер және басқа микроэлементтердің төмен құрамымен сипатталады [99].

Кварц минералындағы қоспа элементтерінің құрамы кварц шикізаты сапасының маңызды сипаттамаларының бірі болып табылады. Қоспа элементтерінің құрамы кварц шикізатын сапалы және технологиялық бағалаудың маңызды критерийі болып табылады. Бастапқы кварцтың құрамында қоспалардың элементтері өте көп болады: алюминий, кальций, хром, темір, мыс, марганец, магний, титан, натрий және т.б. [100-102].

Кварцтың элементтік құрамын сандық анықтау тәжірибелері Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды зерттеу университетінің «Зерттеудің физика-химиялық әдістері» инженерлік бейіндегі зертханада АА140 атомдық абсорбциялық спектрометр қондырғысы арқылы жүргізілді (3.17-сурет).

Сурет 3.17 – АА140 атомдық абсорбциялық спектрометр

Атомдық абсорбциялық спектрометр-атомдық сіңіру спектрлерін өлшеуге негізделген элементтерді сандық талдау әдісі болып табылады. Кварцтың құрамындағы оксидтерді анықтау үшін 0,25-0,5 г кварц үлгісі алып, оны толық ерігенше (HF) фтор сутегінің сулы ерітіндісімен ерітілді. Алынған ерітінді сүзіліп, өлшеуіш колбаға құйылды. Оның көлемі дистильденген сумен араластырылып 100 мл дейін жеткізілді. Ерітіндідегі оксидтердің концентрациясы атомдық абсорбциялық спектроскопия әдісімен Varian AA140 қондырғысы арқылы анықталды. Бұнда толық катодты шамдар жарық көзі ретінде пайдаланылады, ал зерттелетін үлгі ацетиленмен құрылғының оттығының жалынына салынды. Талдау жүргізу үшін калибрлеу ерітінділері үлгілердің мемлекеттік стандарты негізінде дайындалды және алынған калибрлеу графиктері негізінде ерітіндідегі оксидтердің концентрациясы $\left[\frac{мг}{г}\right]$ өлшеммен алынды [103]. Ол келесі өрнек негізінде анықталады:

$$C = \frac{C_{ер.} \cdot V}{1000}\left[\frac{мг}{г}\right],$$

мұнда $C_{ер.}$ - ерітіндінің концентрациясы, $\left[\frac{мкг}{мл}\right]$;

V - ерітілген кварц үлгісінің көлемі, $[мл]$.

Есептеулар нәтижелері пайыздық өлшеммен келесі 3.13-кестеде келтірілген.

Кесте 3.13 – Кварц үлгілерінің элементтік құрамы

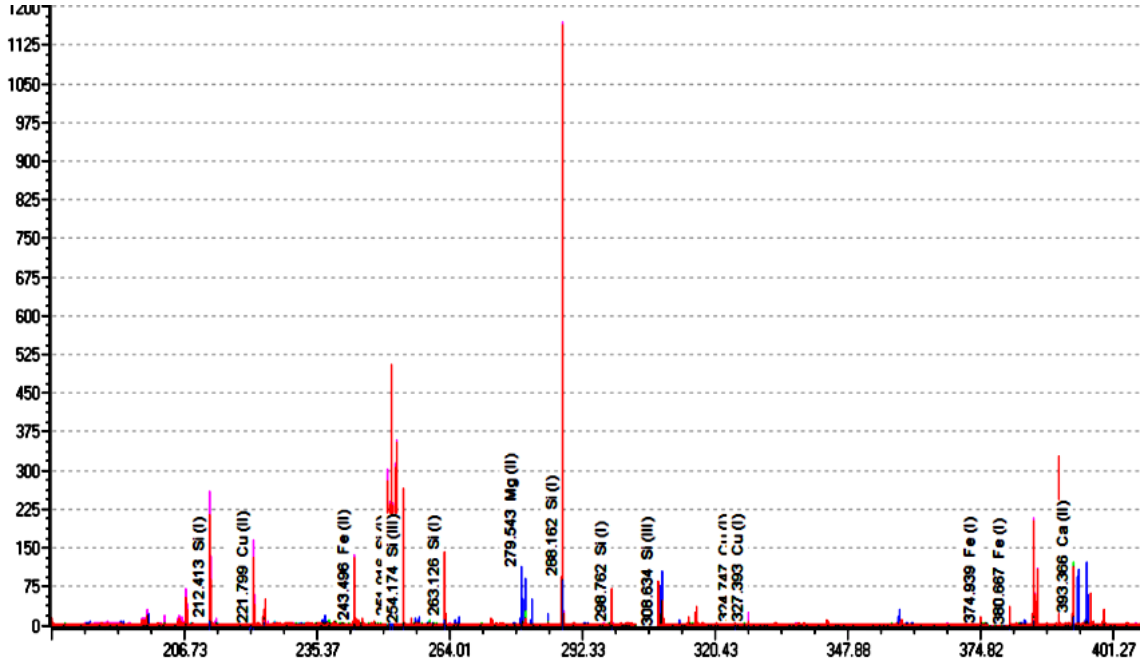
Үлгілердің атауы (кен орындары)	Fe_2O_3, %	MgO, %	Na_2O, %	K_2O, %	CaO, %	SiO_2,%
Надырбай	1,018	0,275	0,996	0,532	0,3563	96,556
Ақтас	0,054	0,139	1,141	0,157	0,042	98,071
Ақтокы	1,463	0,198	3,847	0,495	8,554	89,29
Ақтогай	0,301	0,313	2,057	0,231	5,435	91,663
Шығыс Коңырат 3	2,021	0,715	3,844	0,438	11,021	81,961
Босаға	0,318	0,298	3,334	0,531	8,342	87,177

3.13-кестеден басқа кен орындарынының кварц үлгілерінің құрамындағы кремний диоксидінің мөлшері Надырбай және Ақтас кен орындарының кварц үлгілеріне қарағанда біршама аз, ал Fe_2O_3 мөлшері анағұрлым көп екендігін көруге болады. Надырбай кен орындарының кварц үлгісінің құрамындағы SiO_2 мөлшері 96,556%, Fe_2O_3 мөлшері 1,018%, ал Ақтас кен орындарының кварц үлгісінің құрамындағы SiO_2 мөлшері 98,071%, Fe_2O_3 мөлшері 0,082% құрайтыны анықталды. Зерттеу нәтижелелерінен Fe_2O_3 мөлшері Ақтас кен орындарының кварц үлгісінің құрамындағы аз екенін байқауға болады. Өндіріс орындарының негізгі талабы кварцтың құрамында SiO_2 жоғары болу керек.

Сондықтан зерттеулер Надырбай және Ақтас кен орындарының кварц үлгілеріне жүргізілді. Сондай-ақ кварц үлгілерін сапалы талдау «ЛАЭС Матрикс Континуум» қос импульсті спектрометрі қолданылды (3.18-сурет). Спектрометр 190-дан 800 нм-ге дейінгі толқын ұзындығын қамтиды. Барлық үлгілердің эмиссиялық спектрлері кейінірек деректерді салыстыру мен түсіндіруді жеңілдету үшін аспаптың бірдей параметрлерінде жазылады.

Сурет 3.18 – «ЛАЭС Матрикс Континуум» спектрометрі

Шамның энергиясы 16Дж, лазер жиілігі 10 Гц, бірінші сапа модуляторының кідіріс уақыты 100 мкс, екіншісі 110 мкс, экспозицияның басталу кідірісі 2 мкс және жалпы экспозиция уақыты 5 мс болды. Импульстар саны 15-пен шектелді. Зақымдануды азайту және кездейсоқ әсерлерді тегістеу үшін спектрлер кездейсоқ таңдалған төрт нүктеде жазылды. Спектрлер жазылғаннан кейін үлгілер сақтауға қайтарылды. 3.19, 3.20-суреттеде «Лаэс Матрикс Континуум» қос импульсті спектрометрінен алынған Ақтас кен орынының табиғи минералдарының спектрі көрсетілген.



Сурет 3.19 – Ақтас кен орынының табиғи минералының спектрі

Сонымен бірге, Ақтас кен орнынан алынған кварц кенінің жартылай сандық талдауы Томск мемлекеттік ұлттық зерттеу университетінде XRF-1800 рентген-флуоресцентті толқын-дисперсиялық спектрометрының көмегімен жүргізілді (3.20-сурет).

Сурет 3.20 – XRF-1800 рентгендік флуоресцентті толқындық дисперсиялық спектрометрі

XRF-1800 рентгендік флуоресцентті толқындық дисперсиялық спектрометр флуоресценция спектрлерін өлшеуге және қатты орталарды, ұнтақтарды, пленкаларды құрайтын элементтердің концентрациясын анықтауға арналған. Осы құрылғыда жүзеге асырылған рентген-флуоресцентті спектроскопия әдісі қатты сынаманы ерітіндіге аудармай заттар мен материалдарға сапалық және сандық элементтік талдау жүргізуге мүмкіндік береді [104].

XRF-1800 рентгендік флуоресцентті толқындық дисперсиялық спектрометрімен алынған Ақтас кен орнынан алынған кварц кенінің жартылай сандық элементтік талдауы 3.14-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.14 – Ақтас кен орнынан алынған кварц кенінің жартылай сандық элементтік талдауы

Элементтер	Массалық үлесі, ppm	Қателік, ppm
1	2	3
Li	2,8	0,9
Be	0,0096	0,0037
B	1,3	0,4
Sc	0,049	0,019
V	1,5	0,5
Cr	25	5
Co	1,5	0,5
Ni	18,4	3,9

3.14-кестенің жалғасы

1	2	3
Cu	18,4	3,9
Zn	7,1	2,3
Ga	0,055	0,021
Rb	0,58	0,19
Sr	13,2	2,8
Y	0,121	0,039
Zr	0,70	0,22
Nb	0,074	0,029
Mo	4,9	1,6
Cd	0,031	0,012
Cs	0,099	0,039
Ba	9,8	3,1
La	0,103	0,033
Ce	0,16	0,05
Pr	0,019	0,008
Nd	0,070	0,027
Sm	0,013	0,005
Eu	0,0049	0,0019
Gd	0,014	0,005
Tb	0,0020	0,0008
Dy	0,013	0,005
Ho	0,0032	0,0013
Er	0,0086	0,0034
Tm	0,0016	0,0006
Yb	0,011	0,004
Lu	0,0017	0,0007
Hf	0,013	0,005
Ta	0,0082	0,0032
Tl	0,020	0,008
Pb	2,3	0,7
Th	0,016	0,006
U	0,014	0,005
Ge	0,0031	0,0016
Ag	0,14	0,06
Sn	0,028	0,013
Sb	0,22	0,09
Te	0,045	0,020
Au	0,65	0,26
Bi	0,021	0,010
Fe	0,045	0,020

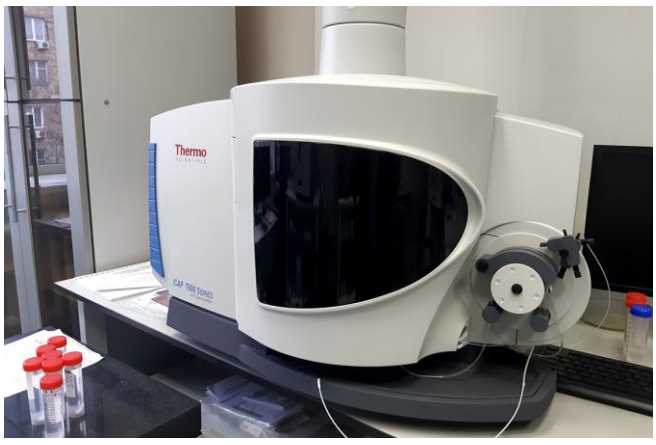
Тау жыныстары мен минералдарды силикатты талдау табиғи түзілімдерді сандық талдаудың негізгі бөлімдеріне жатады. Силикатты тау жыныстары мен минералдардың құрамы құрамдас элементтердің тіркесімі бойынша да, олардың салыстырмалы құрамы бойынша да өте алуан түрлі. Силикатты талдауы SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5 тау

жыныстарының массасының 99% - на жетуі мүмкін тау жыныстарын құрайтын элементтердің оксидтерінің массалық үлесін анықтау үшін қолданылады. Нормативтік құжаттарда белгіленген, 20-70% массалық үлестерінің құрамына қатысты 0,3-0,8% деңгейінде өлшеу дәлдігіне қойылатын талаптардың жоғарылауына байланысты силикатты талдау кезінде классикалық химиялық әдістер үлкен үлесті алады [105].

Тау жыныстары мен кендердегі тау жыныстарын түзетін элементтерді анықтаудың жеделдетілген химиялық әдістеріне кремний, жалпы темір, алюминий, титан, кальций, магний, марганец және фосфорды силикат және карбонат жыныстарында, бокситтерде, полиметалл (хромды қоса алғанда) кендерде анықтаудың фотометриялық және комплексонометриялық процедуралары жатады [106].

Сынамалар 900°С температурада платина тигеліндегі сода мен боракс қоспасымен балқыту арқылы ерітіндіге ауыстырылады, қорытпа сумен шайылады (түнде қалдырылады), тұнба тұз қышқылында ерітіледі. Әдістеме келесі қайталану шектерімен (r_m) және элементтердің оксидтерінің массалық үлесінің берілген диапазондары үшін дәлдік көрсеткіштерімен (±Δ) сипатталады ($\Delta C_{оксид}$, %; Δr_m, % ±Δ, %): SiO_2 (0,05-79,9; 32,0-0,8; 53,0-1,4), MgO (0,1-49,9; 24,0-2,0; 41,0-3,3), CaO (0,1-59,9; 24,0-1,4; 41,0-2,4), Fe_2O_3 (0,05-69,9; 29,0-0,83), TiO_2 30 (0,02-19,9; 24,0-2,4; 41,0-4,0), Al_2O_3 (0,1-79,9; 29,0-1,3; 49,0-2,2), MnO (0,02-29,9; 24,0-1,2; 41,0-2,2), P_2O_5 (0,2-4,9; 9,0-3,7; 16,0-6,3). Бұл әдіс сілтілі металдарды анықтауды қамтамасыз етпейді. Сонымен жалынды фотометрия әдісін қолдана отырып бөлек анықталады [107].

Механикалық және электрогидравликалық өңдеуден кейінгі кварц шикізатындағы тау жыныстарын түзетін оксидтерді талдау Қарағанды қаласындағы «Центргеоаналит» АҚ мекемесінде жүргізілді. Талдау жұмысы индуктивті байланысқан плазмалық атомдық-эмиссиялық әдіс негізінде iCAP 7200 Duo спектрометр қондырғысының көмегімен жүргізілді (3.21-сурет).



Сурет 3.21 – ICAP 7200 индуктивті байланысқан плазмалық атомдық-эмиссиялық спектрометрінің сыртқы бейнесі

3.15 және 3.16-кестеде механикалық және электрогидравликалық өңдеуден кейінгі Ақтас және Надырбай кен орнындарынан алынған кварц

ұнтағының силикатты талдауы көрсетілген. Тәжірибелерде мөлшері 0,1 мм-ден төмен ұсақталған кварциттің фракциясы қолданылды [92, р. 57].

Кесте 3.15 – Механикалық және электрогидравликалық өңдеуден кейінгі Ақтас кен орнынан алынған кварц ұнтағының силикатты талдауы

Оксидтер	Механикалық өңдеу, %	Электрогидравликалық өңдеу, %
SiO_2	98,96	99,68
Fe_2O_3	0,28	0,08
TiO_2	0,16	0,06
MnO	0,1	0,03
Al_2O_3	0,28	0,05
Басқа да қоспалар	0,2	-
Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [93, р. 41]		

Кесте 3.16 – Механикалық және электрогидравликалық өңдеуден кейінгі кен Надырбай орнынан алынған кварц ұнтағының силикатты талдауы

Оксидтер	Механикалық өңдеу, %	Электрогидравликалық өңдеу, %
SiO_2	96,50	99,14
Fe_2O_3	2,66	<0,10
TiO_2	0,010	0,015
Al_2O_3	0,12	0,53

Бұл екі 3.15, 3.16-кестеден электрогидравликалық әдіспен өңделгеннен кейін табиғи кварц минералының элементтік құрамының өзгергенін байқауға болады. Яғни Ақтас кен орнынан алынған кварц минералының құрамындағы кремнийдің SiO_2 үлесі 98,96%-дан 99,68%-ға, титанның TiO_2 үлесі 0,16%-дан 0,06%-ға, алюминийдің Al_2O_3 үлесі 0,28%-дан 0,05%-ға артқанын, темірдің Fe_2O_3 үлесі 0,28%-дан 0,08%-ға азайғандығын және MnO үлесі механикалық өңдеу кезінде 0,2% болып, электрогидравликалық әдіспен өңделгеннен кейін жойылғанын байқауға болады. Сондай-ақ, Надырбай кен орнындағы кварциттің құрамындағы кремнийдің SiO_2 пайыздық үлесі 96,50%-дан 99,14%-ға дейін өскенін, Fe_2O_3 элементінің пайыздық мөлшері 2,66%-дан 0,10%-ға дейін төмендегенін және TiO_2 0,010%-дан 0,015%-ға дейін жоғарлағанын және Al_2O_3 0,12%-дан 0,53%-ға дейін өскенін көруге болады. Бұл кестелерден зерттелген кварциттер құрамында қоспалары аз болатын жоғары кремнийлі кварциттерден тұратындығын көруге болады.

Кварцтың құрамындағы тау жыныстарын түзетін оксидтерді анықтау нәтижелері Ақтас және Надырбай кен орындарының кварциттер өте аз қоспалары бар жоғары кремнийлі кварциттер болып табылатындығын көрсетті.

Электрогидравликалық өңдеудің әсері бөлшекетер мен минералдар бір-бірінен бөліну шекаралары бойынша немесе микрожарықшалар арқылы бөлінген кезде бөлшектену селективтілігімен байланысты. Бұл жағдайда элементтік құрамның (мысалы: темір) оксидтері бар минералдар мен микрожарықшалар ашылады.

Өңдеуден кейін алынған жаңа беттер камераның жұмыс көлеміндегі турбулентті сұйықтың ағындарының есебінен қоршаған сұйыққа жұқа дисперсті қабат түрінде өтетін және сынаманы жуу процесінде сұйықтықпен бірге шығарылатын оксидтерден тазартылады. Тәжірибелер көрсеткендей, электрогидравликалық әдіспен минералды ұсақтау барысында алынған өнімнің жұмыс бөлігінің құмындағы металдармен ластанбайды және бастапқы қоспалардан ішінара тазартылады [108].

Зерттеу нәтижелері Ақтас және Надырбай кен орындарының кварц шикізаты кеннің тазалығына байланысты неғұрлым экономикалық тұрғыдан орынды болып табылады. Сондықтан зерттелген кварциттерді кез-келген өндірісте қосымша тазалаусыз қолдануға болады. Сфералық кварц түйіршіктері мамандандырылған және перспективалы салаларда кеңінен қолданылады: микроэлектрондық құрылғыларды нығыздау үшін қатты эпоксидті шайырларға негізделген композициялық материалдар (қосылыстар) өндірісінде, фотонды кристалдар өндірісінде, керамика өндірісінде, хроматографиялық бағандарда толтырғыштар ретінде. Сонымен қатар, кварц ұнтағының тазалық деңгейі оны тигельдер, кварц шикізатынан жасалған бұйымдар (құбырлар, құймалар және т.б.) өндірісінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Ұзақ уақыт бойы ең таза шикізат болып саналған кварц минералы қазіргі уақытта өнімдердің тазалығына қойылатын талаптардың күшеюіне байланысты екінші орынға шығады. Бастапқы шикізаттың химиялық тазалығына қарамастан, берілген кварциттерден жоғары таза кварц концентраттарын алу қиын, өйткені негізгі қоспалар құрылымдық болып табылады және оларды қайта өңдеу процесінде жою мүмкін болмайды. Дегенмен кварц тұрақты құрылымымен сипатталады, оның кристалдық торына концентрациясы әр түрлі құрылымдық қоспалар кіреді.

Өндіріс орындарында темірдің құрамы бойынша кварц шикізатына ерекше талап қойылады – ол 0,06%-дан аспауы тиіс. Темір кварц бөлшектерімен біріктірілген қоспалы минералдар түрінде, қабыршақтар түрінде, құрылымдық қоспалар түрінде болады. Сонымен бірге, кварцтың кристалдық торының құрамында негізгі құрылымдық қоспа түрінде енетін Al_3^+ кездеседі. Негізінен ерекше таза кварц (SiO_2) - 99,6-99,8% аралығында болу керек [109].

3.8 Кварцит қосылысы элементтерінің стехиометриясын есептеу

Электрогидравликалық әдіспен өңделген кварцит қосылысы элементтерінің стехиометриясын есептеу жүргізілді [110]. Стехиометриялық есептеулер кварц шикізатының құрамындағы қоспа элементтерінің мөлшерін анықтау үшін маңызды. Айта кету керек, кварц кені бойынша стехиометриялық есептеулер бүгінгі күнге дейін жүргізілмеген. Алынған Надырбай және Ақтас кен орнынан алынған кварциттің массалық концентрациясының мәндері олардың стехиометриясын есептеу үшін қолданылды.

Формулалардың математикалық түрленуі элементтердің стехиометриясын есептеу өрнегіне әкеледі:

$$k_i = \frac{M_1 \cdot G_i}{G_1 \cdot M_i} \tag{3.1}$$

мұнда M_1, G_i - k_i бағаланатын элементтің массалық концентрациясы мен атомдық массасы;

G_1, M_1 - $k_1 = 1$ бағаланатын элементтің массалық концентрациясы мен атомдық массасы.

Атомдық массалардың кестелік мәндерін ауыстыру кезінде қосылыс элементтерінің стехиометриясы үшін келесі есептеу формулаларын аламыз.

$k_1 = 1$ (Si) кремнезем үшін $Si - Cr - Fe - O$ қосылыстар (Надырбай кен орнынан алынған кварцит):

$$\begin{gathered} k_1 = 1 \\ k_2 = \frac{M_{Si} \cdot G_{Cr}}{G_{Si} \cdot M_{Cr}} = \frac{28{,}085 \cdot 0{,}32}{43{,}42 \cdot 51{,}996} = 0{,}004 \\ k_3 = \frac{M_{Si} \cdot G_{Fe}}{G_{Si} \cdot M_{Fe}} = \frac{28{,}085 \cdot 1{,}24}{43{,}42 \cdot 55{,}845} = 0{,}014 \\ k_4 = \frac{M_{Si} \cdot G_{O}}{G_{Si} \cdot M_{O}} = \frac{28{,}085 \cdot 56{,}82}{43{,}42 \cdot 15{,}996} = 2{,}3 \end{gathered} \tag{3.2}$$

$k_1 = 1$ (Si) кремнезем үшін $Si - Fe - O$ қосылыстар (Ақтас кен орнынан алынған кварцит):

$$\begin{gathered} k_1 = 1 \\ k_2 = \frac{M_{Si} \cdot G_{Fe}}{G_{Si} \cdot M_{Fe}} = \frac{28{,}085 \cdot 1}{40{,}9 \cdot 55{,}845} = 0{,}012 \\ k_4 = \frac{M_{Si} \cdot G_{O}}{G_{Si} \cdot M_{O}} = \frac{28{,}085 \cdot 58{,}1}{40{,}09 \cdot 15{,}996} = 2{,}5 \end{gathered} \tag{3.3}$$

3.17-кестеде кварцит элементтерінің стехиометриясының болжамды деректері көрсетілген.

Кесте 3.17 – Ұнтақ түріндегі кварциттың стехиометриясын есептеу нәтижелері

Кен орының атауы	Қосылыс	k_1	k_2	k_3	k_4	Берілген талдау бойынша химиялық формуласы
Надырбай	$Si - Cr - Fe - O$	1	0,004	0,01	2,2	$SiCr_{0,004}Fe_{0,014}O_{2,2}$
Ақтас	$Si - Fe - O$	1	0,012	2,5	-	$SiFe_{0,012}O_{2,5}$

Метрологиялық сипаттамаға сәйкес элементтердің стехиометриясы

жоғары дәлдікпен анықталады деп айтуға болады.

Атомдық массалардың алынған мәндерінен талдау деректері бойынша химиялық формулалар алынды - $SiCr_{0,004}Fe_{0,014}O_{2,2}$ (Надырбай), $SiFe_{0,012}O_{2,5}$ (Ақтас).

Оксидті қосылыстар әртүрлі физика-химиялық әдістермен расталған бірлік формуласына сәйкес келеді. Кестеден кварц минералының фазалық құрамыда бөгде қоспалар жоқ екенін көруге болады. Есептеу нәтижесінде зерттелген кварц шикізатының құрамында қоспалары аз SiO_2 жоғары кремнийлі кварциттен тұратыны анықталды.

3-бөлім бойынша қорытынды

1. Диаметрі 1 мм-ден төмен кварц ұнтағы импульсті разрядтар санын 900-ден 1500-ге арттырғанда, түрлендіргіш аралықтағы ауалы ортаны тесіп өту кернеуі 22-24 кВ аралығында қарқынды алынатыны байқалды.

2. Импульсті разряд кернеуін арттыру арқылы диаметрі 0,1–0,4 мм болатын кварцтың ұсақ бөлшектері қарқынды ұнтақталуы электргидравликалық қондырғының жұмыс ұяшығының оңтайлы диаметрі D=70мм болғанда мүмкін болатыны дәлелененді.

3. Диаметрі 0,2 мм шикізат алу үшін ауалық разрядтаушы қондырғысының разряд аралық ұзындығы $l = 12мм$, конденсатордың сыйымдылығы кемінде 0,5 мкФ болуы керек екендігі анықталып, тәжірибелік зерттеулер импульсті разрядтар саны 750-1000 разряд диапазонында кварц шикізаты қарқынды түрде ұнтақталатынын көрсетті.

4. Фракция диаметрі 13-17 мм аралығындағы кварц минералын ұнтақтау кезінде диаметрі 1 мм-ден төмен өнім алу үшін, өңделетін шикізаттың көлемімен салыстырғанда судың көлемін 3-5 есеге көбейткенде ($3 \cdot V_{СУ}$-$5 \cdot V_{СУ}$) өнімнің ұнтақталу дәрежесі артатындығы байқалды. Су мөлшерін аталған деңгейден арттырғанда дайын өнім шығымы шамамен бірдей деңгейде өзгеретіні анықталды.

5. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, электрогидравликалық ұнтақтау әдісі дайын өнімнің гранулометриялық құрамын жоғары селективтілікпен реттеуге мүмкіндік береді. Ұсынылған әдіс және қондырғының энергетикалық параметрлері өндіріс жағдайында ең қолайлы болып табылады және кварцитті қарқынды ұнтақтауды қамтамасыз етеді. Осы зерттеулерді жүргізу және олардың нәтижелерін кәсіпорындарға енгізу өнеркәсіптегі технологиялық прогреске ықпал етеді.

6. Табиғи кварц шикізатының гранулометриялық құрылымы MIRA 3 LMU (TESCAN) сканерлеуші электрондық микроскоп (СЭМ) арқылы зерттелді. Надырбай кен орнынан алынған кварц шикізатын механикалық өңдеу кезінде ірі бөлшектердің диаметрі 4,58 мкм, ұсақтардың диаметрі 1,79 мкм болды, ал электрогидравликалық өңдеу кезінде бөлшектердің максималды диаметрі 3109,41 нм азайып, ұсақ бөлшектердің диаметрі 775,94 нм-ды құрады. Ақтас кен орнынан алынған кварц шикізатын механикалық жолмен өңдеген кезде ірі бөлшектердің диаметрі 8,73 мкм-ді, кіші диаметрлер 0,96 мкм-ді

құрады, ал электрогидравликалық өңдеуден кейін ірі бөлшектердің диаметрі 1336,52 нм-ге төмендеп, ұсақ бөлшектердің диаметрі 82,26 нм болды. Ұнтақталған кварц үлгілерінің электронды микроскопиялық талдаулары электрогидравликалық әдістің көмегімен қажетті өлшемде табиғи шикізат ұнтағын алуға болатындығын көрсетті.

7. Табиғи кендердің беттік құрылымы JSM 5910 электрондық растрлық сканерлеу микроскоптың көмегімен зерттелді. Зерттеу нәтижелері өңдеуге дейінгі кварц кристалдарының бұрыштары өткір пішінді екенін және өңделген кварц ұнтағы бөлшектерінің қиыршықталып, шеттері қатты аморфталғанын, сонымен қатар кварц минералының денесінде көптеген жарықтардың болуын және кедір-бұдыр қабатты құрылымға ие екендігін көрсетті.

8. Кварц үлгілеріне силикатты талдауы жүргізілді. Кварциттегі тау жыныстарын түзетін қоспаларды индуктивті байланысқан плазмалық атомдық-эмиссиялық әдіс негізінде iCAP 7200 Duo спектрометр қондырғысының көмегімен зерттеу нәтижесі Ақтас кен орнының кварцитін электрогидравликалық өңдеуден кейін SiO_2 пайыздық мөлшері - 99,68%, ал Надырбай кен орнының кварцитінде – 99,14%. Атомдық абсорбциялық спектроскоп қондырғысы арқылы анықталған кварц үлгілерінің элементтік құрамын зерттеу нәтижелелерінен Fe_2O_3 мөлшері Ақтас кен орындарының кварц үлгісінің құрамындағы аз екенін байқауға болады. Нәтижесінде кварц кені құрамында қоспалары аз жоғары кремнийлі кварциттен тұратындығы анықталды. Сондай-ақ, Ұлытау ауданының аумағынадағы Ақтас және Надырба кен орнының кварц шикізаттары кеннің тазалығына байланысты неғұрлым экономикалық тұрғыдан орынды болып табылады. Сондықтан оларды кез-келген өндірісте қосымша тазалаусыз қолдануға болады.

9. Электрогидроимпульсті өңдеуден кейінгі Ақтас және Надырбай кен орнының кварцит қосылысы элементтерінің стехиометриясы анықталды: $Si-Cr-Fe-O$, $Si-Fe-O$. Атомдық массалардың алынған мәндерінен талдау деректері бойынша химиялық формулалар $SiCr_{0,004}Fe_{0,014}O_{2,2}$ (Ақтас), $SiFe_{0,012}O_{2,5}$ (Надырбай) алынды.

4 КВАРЦ ҚҰРАМДЫ МАТЕРИАЛДЫҢ ЖЫЛУФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Техника мен технологияның жаңа бағыттарының дамуы кеуекті, нанокристалды және аморфты материалдардың кең ауқымының қасиеттерін зерттеуде маңызды болып табылады.

Материалдардың жылуфизикалық қасиеттері инженерия, физика, химия және технология сияқты әртүрлі салаларда маңызды рөл атқарады. Сонымен бірге, тұрғын үйлерде қолайлы температураны және өнеркәсіптік және т.б. қажетті жылу режимін сақтауды қамтамасыз етеді. Бұл қасиеттерді түсіну жылу алмасу процестерін жақсартуға, әртүрлі температурада тиімдірек материалдарды дамытуға мүмкіндік береді.

Құрылыс материалдары мен құрылымдарының жылу техникалық қасиеттері ғимараттардың энергия тиімділігіне әсер ететін маңызды көрсеткішке ие: олар жылу өткізгіштік және термиялық кедергі. Энергияны үнемдеудің заманауи талаптарына сәйкес келетін құрылыс технологиясын таңдау үшін осы көрсеткіштер арасындағы айырмашылықтарды және олар қандай құрылымдық қасиеттерді анықтайтынын түсіну қажет. Жылу өткізгіштік коэффициенті λ материалдың сипаттамасы болып табылады. Ол жылу оқшаулау жұмыстарын жоспарлау кезінде ескерілетін маңызды шама болып табылады [111]. Ал жылулық кедергі шамасы жылу өткізгіштік коэффициентіне тәуелді және ол құрылыс құрылымдарының қасиеттеріне жатады. Жақсы жылу оқшаулау қасиеттері бар материалдар жылу өткізгіштік коэффициентінің төмен мәндеріне ие.

Дұрыс материалды таңдау өте маңызды, ол бөлмені жылытуға қанша жылу энергиясын жұмсау керектігін анықтайды. λ мәндерін анықтаудың эксперименттік әдістері берілген температура айырмашылығында белгілі бір уақыт ішінде нормаланған өлшемдердің сыналған үлгісі арқылы өтетін жылу мөлшерін өлшеуге негізделген.

Құрылыс материалының жылу өткізгіштігі-оның қалыңдығы арқылы жылу мен оның ішінде болатын стационарлық ішкі процестерді беру мүмкіндігі. Жылу өткізгіштіктің төмендеуі ішкі және сыртқы орта арасындағы жылу беру жылдамдығын төмендетеді. Осылайша, зерттелген материалдарды пайдалану, әсіресе жылу өткізгіштігін өлшеу ғимараттың қоршау құрылымдарының жылу өнімділігін жақсартады. Сондай-ақ, құрылымды пайдаланудың көптеген жылдарында ауаны кондиционерлеуге жұмсалатын энергия шығынын азайтуға ықпал етеді [112].

Құрылыс элементтері арқылы жылу беруді талдау энергияны үнемдейтін құрылымдардың жылу жүктемесі, жылу жайлылығын жоспарлау сияқты құрылыс мәселелерін шешуде үлкен маңызға ие. Іс жүзінде оқшаулағыш материалдың термиялық кедергісі ғимараттың құрылымдық элементтері арқылы жылу беруді төмендетуде шешуші рөл атқарады.

Физикалық тұрғыдан алғанда, жылу кедергісі материалдың қалыңдығы арқылы жылу ағынының өтуіне кедергі жасау қабілетін анықтайды. Оқшаулау

сияқты көп қабатты жүйелерде жылу кедергісі барлық компоненттердің кедергілерінің қосындысы ретінде анықталады. Жеке қабаттың термиялық кедергісі оның қалыңдығының материалдың жылу өткізгіштігіне қатынасы ретінде есептеледі. Термиялық кедергі мәні неғұрлым жоғары болса, жылу шығыны соғұрлым аз болады. Сондықтан ол оқшаулағыш функциясын жақсы атқарады. Іс жүзінде жоғары жылу кедергісі жылу шығынын азайтуға мүмкіндік береді, бұл ғимаратты жылытуға немесе салқындатуға кететін шығындарды азайтады.

Қабырғаларды тұрғызу үшін қолданылатын әрбір құрылыс материалы қабаттың қалыңдығына және оның жылу өткізгіштік коэффициентіне байланысты жылу кедергісіне ие. Құрылыстағы жылу кедергісі мен жылу өткізгіштігі ұқсас болып көрінгенімен, оларды шатастыруға болмайды, өйткені олар қарама-қарсы құбылыстарды білдіреді.

Құрылыс саласында қолданытаны силикат кірпіш әр түрлі сыртқы жұмыстар үшін тамаша материал болып табылады. Силикатты кірпіштің құрамына кварц ұнтағының белгілі бір мөлшері қосылады. Шыны блокатары үшін кірпіш ерітінділерін дайындауда 0,1-2,0 мм, цемент негізінде плитка желімін дайындауда 0,1-0,6 мм, қаптау тақтайшалары арасындағы тігістер үшін 0,1-0,5мм, цементті және полимерлі толтырғыш ретінде, бекітілген жылу оқшаулау жүйелеріне арналған желім толтырғыш ретінде 0,1-0,3 мм, ал саңылауларды жабуға арналған жөндеу ерітіндісінің құрамына 0,3-4,0 мм, еденді тегістеуге арналған қоспалар дайындауда 0,1-2,0 мм, гипсті сылақ үшін 0,1мм болатын кварц ұнтағын қосады.

Материалдардың жылуфизикалық қасиеттерін зерттеу белгілі бір әдістерді қолданудың негізі болып табылады. Кварц кристалы кесегінің жылу өткізгіштік коэффициенті монотонды қыздыру әдісі негізінде, ал кварц құрамды материалдың жылу өткізгіштігі мен термиялық кедергісін анықтау стационарлық тәртіпте термоэлектрлік әдістерімен жүргізілді.

4.1 Кварц кесегі үлгісінің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі

Қатты заттың жылу өткізгіштігі оның химиялық құрамына және молекулалық құрылымына байланысты, бірақ ол әрқашан ауаның жылу өткізгіштігінен бірнеше есе жоғары. Сонымен, кварц кристалының жылу өткізгіштігі 5,5 Вт/(м·К), ал ауаның жылу өткізгіштігі 0,024 Вт/(м·К), яғни ауаның жылу өткізгіштігі кварцтың жылу өткізгіштігінен 250 есе төмен. Демек, материалда ауа саңылауларының болуы оның жылу өткізгіштігін күрт төмендетеді. Материалда кеуектер неғұрлым көп болса, оның тығыздығы соғұрлым төмен болады, содан кейін материалдың тығыздығы мен жылу өткізгіштігі арасында тікелей байланыс болады.Сонымен бірге, кристалды және аморфты минералдардың жылу өткізгіштігі айтарлықтай ерекшеленеді, тау жыныстарында шыны тәрізді массаның болуы олардың жылу өткізгіштігін төмендетеді [113].

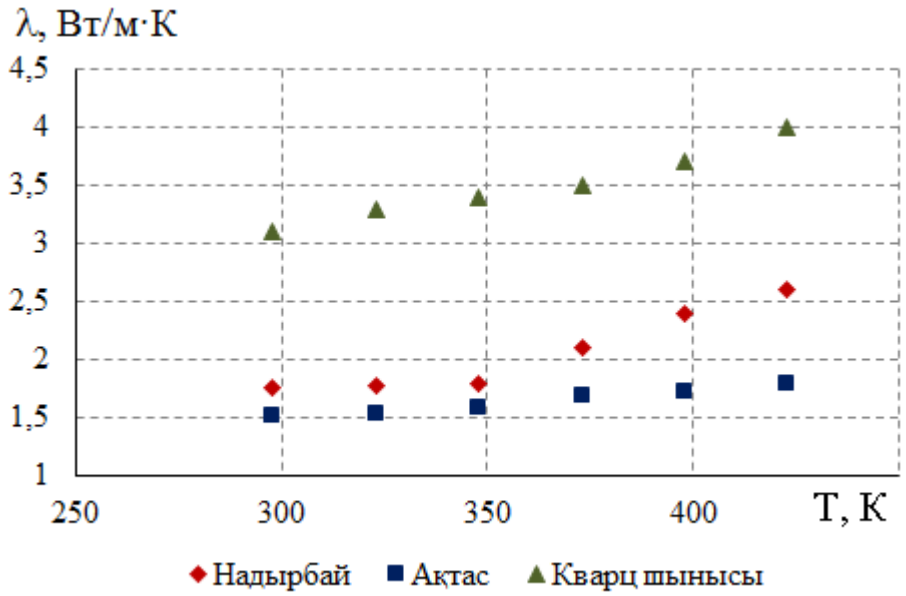
Әр түрлі температуралық режимдердегі кварц минералының жылу өткізгіштіктін зерттеу үшін «ИТ-λ-400» тәжірибелік қондырғысы қолданылды. Кварц үлгілерінің жылу өткізгіштігін өлшеу кезінде 293 К-нен 423К-ге дейін өзгерді. Зерттеулер жүргізу үшін кварц кесегінен диаметрі $d=1,5\cdot10^{-2}$м, қалыңдығы $\delta=8,5\cdot10^{-3}$м, массасы $m_0=3,8\cdot10^{-3}$кг және көлденең қимасының ауданы $F=1,76\cdot10^{-4}$ $м^2$ болатын үлгілер дайындалды.

4.1-суретте «ИТ-λ-400» жылу өткізгіштік коэффициентін зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғысы көрсетілген.

Сурет 4.1 – «ИТ-λ-400» жылу өткізгіштік коэффициентін зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғы

«ИТ-λ-400» жылу өткізгіштік өлшегіші монотонды қыздыру жағдайында жылу өткізгіштік коэффициентін зерттеуге арналған, бұл зерттелетін параметрдің температураға тәуелділігін бірден алуға мүмкіндік береді. «ИТ-λ-400» құралы жылу өткізгіштік коэффициентін 173-тен 673 К-ге дейінгі температура диапазонында өлшеуге мүмкіндік береді.

4.2-суретте «ИТ-λ-400» жылу өткізгіштік коэффициентін зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғысымен зерттелген Ақтас және Надырбай кен орнының кварц минералының, кварц шынысының жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі келтірілген. Зертеулер 298-423 К температура – кезінде жүргізілді.



Сурет 4.2 – Үлгілердің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі

Графиктен Ақтас және Надырбай кен орнының кварц минералының, кварц шынысының жылу өткізгіштігі температура артқан сайын жоғарлағанын көруге болады. Кварц шынысының жылу өткізгіштігі 3,1-4Вт/м·К аралығында, Ақтас кен орнынан алынған кварц үлгісінің жылу өткізгіштігі 1,51-1,8 Вт/м·К аралығында, ал Надырбай кен орнынан алынған кварц үлгісінің жылу өткізгіштігі 1.7-2.6 Вт/м·К аралығында өзгергенін байқауға болады. Теориялық мәліметтер бойынша кварцтың жылу өткізгіштігі бөлме температурасында шамамен 1,3-1,4 Вт/м-К құрайды.

4.2 Кварц құрамды үлгілердің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі

Құрылыста 0,2 мм мөлшердегі кварц ұнтағы әртүрлі бұйымдарды әзірлеуде қолданыс табуда (сылақ материалдары, цементтің белгілі бір мөлшерін кварц ұнтағымен алмастыру, бетон және керамикалық материалдар өндірісінде) [114]. Зерттелетін үлгіні дайындау үшін алынған ұнтақ тор саңылауының диаметрі 0,2 мм стандарттық електерден өткізілді. Дайындалған үлгінің жылуфизикалық қасиетін зеріттеу үшін термоэлектрлік әдіске негізделген МЕМСТ 7076 бойынша стационарлық режимде және МЕМСТ 30256 бойынша жылу зонд әдісімен өнеркәсіптік жабдықтар мен құбырларды жылу оқшаулауға арналған материалдардың жылу өткізгіштігін және жылу кедергісін анықтауға мүмкіндік беретін ИТП-МГ4 «100» қондырғысы пайдаланылды (4.3-сурет).

Сурет 4.3 – ИТП-МГ4 «100» жылу өткізгіштікті өлшеу қондырғысы

Материалдың λ жылу өткізгіштігі (тиімді жылу өткізгіштігі) және R жылу кедергісі (стационарлық жылу режимінде) келесі өрнектер бойынша жүргізіледі:

$$\lambda = \frac{H \cdot q}{T_{ы} - T_{c}}, \qquad R = \frac{T_{ы} - T_{c}}{q} - 2 \cdot R_{к},$$

мұнда λ - жылу өткізгіштік коэффициенті, Вт/м·К;

$R_{б}$ - өлшенетін үлгінің жылу кедергісі, м^2·К/Вт;

$R_{к}$ - үлгінің үстіңгі беті мен аспап тақтасының жұмыс беті арасындағы жылу кедергісі, м^2·К/Вт;

H - өлшенетін үлгінің қалыңдығы, мм;

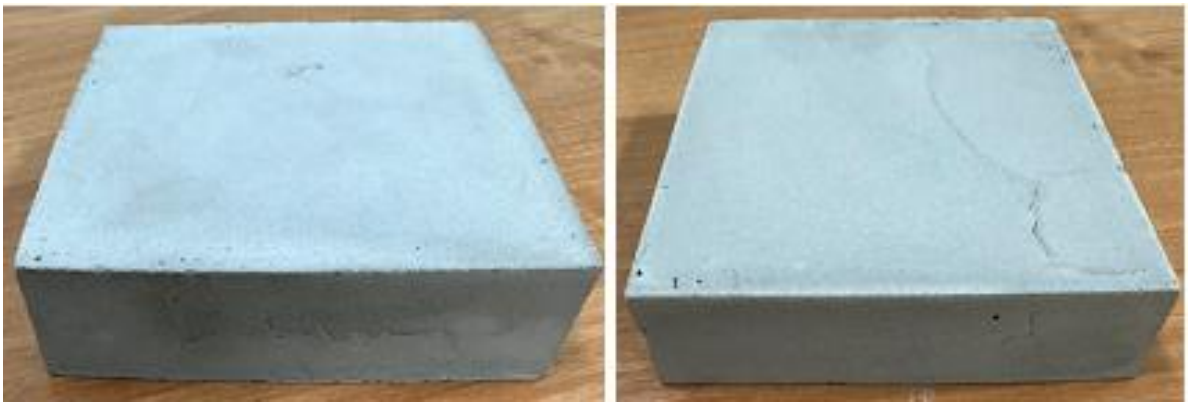
q - өлшенетін үлгі арқылы өтетін стационарлық жылу ағынының тығыздығы, Вт/м^2;

$T_{ы}$ - өлшенетін үлгінің ыстық бетінің температурасы, К;

T_{c} - өлшенген үлгінің суық бетінің температурасы, К;

$R_{к}$ мәні тиісті жылу өткізгіштік үлгілері бойынша аспаптарды калибрлеу кезінде ескеріледі.

50 және 70% аралығында 0,2мм төмен болатын кварц ұнтағын қосу арқылы жылуфизикалық параметрлері қолайлы құрылыстық шикізаты алынды. Кварц құрамды үлгілердің жылу өткізгіштігін зерттеу үшін әртүрлі үлгілер дайындалды. Үлгілердің ені 100 мм, ұзындығы 100 мм, биіктігі 25 мм болды (4.4-сурет). Қоспаларды әзірлеу кезінде су мөлшері әр үлгі үшін бірдей 100 мл алынды.

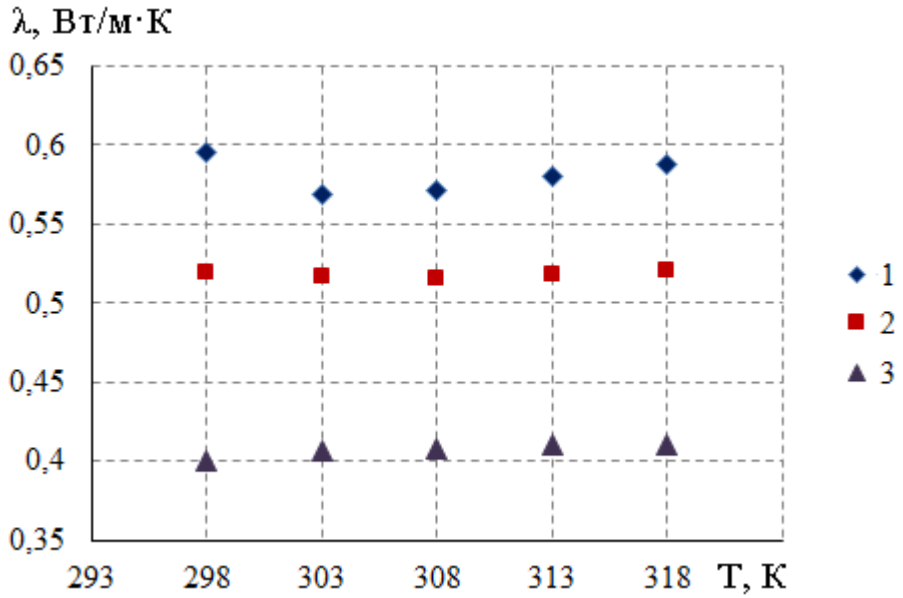


а ә

а – 1-үлгі – 50% кварц және 50% М400 маркалы портландцемент қоспасы; ә – 2-үлгі – 70% кварц және 30% М400 маркалы портландцемент қоспасы

Сурет 4.4 – Зерттеу үлгілері

Үлгілердің жылу өткізгіштігін зерттеу үшін аспаптағы суытқыштың температурасы тұрақты болғанда (288К) қыздырғыштың температурасы 298К-нен 318К-ге дейін өзгертілді. Төмендегі 4.5-суретте зерттеу нәтижелері бойынша үлгілердің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділік графигі көрсетілген. Зерттелген үлгілердің жылуфизикалық параметрлері 100% цементтен тұратын үлгінің көрсеткіштерімен салыстырылды.



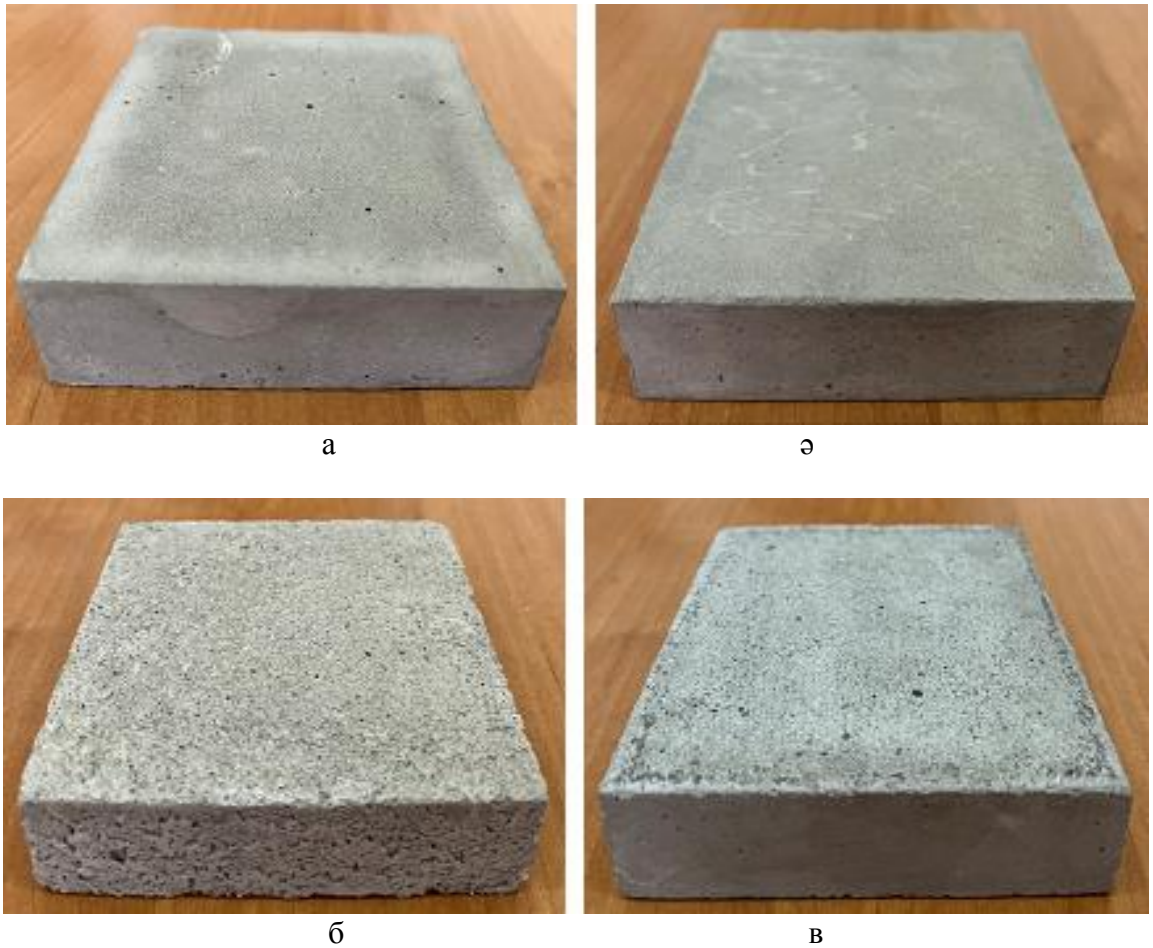
1 - 100% цементтен тұратын үлгі; 2 - үлгі – 50% кварц және 50% М400 маркалы портландцемент қоспасы; 3 - үлгі – 70% кварц және 30% М400 маркалы портландцемент қоспасы

Сурет 4.5 – Үлгілердің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі

Тәжірибені жүргізу кезінде қоспасыз портландцементтің жылу өткізгіштігі қарастырылған температура аралықтарында λ=0,569-0,596Вт/м·К

болды. Кварц құрамды материалдың жылу өткізгіштігі келесідей аралықта өзгерді: 50% кварцтан және 50% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін λ=0,516-0,521 Вт/м·К; 70% кварцтан және 30% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін λ=0,400-0,411Вт/м·К. Келтірілген мәліметтерден цементтің жылу өткізгіштігіне қарағанда кварц құрамды үлгілердің жылу өткізгіштігі төмен болатыны анықталды [115].

Келесі кезекте 25 және 75% болатын диаметрлері 0,1-0,2 мм және 0,7-0,9 мм аралығында болатын кварц ұнтағы мен М400 маркалы портландцемент қоспасынан жасалған үлгілердің жылу өткізгіштігі зерттелді.Үлгілердің ені 100 мм, ұзындығы 100 мм, биіктігі 25 мм болды (4.6-сурет). Қоспаларды әзірлеу кезінде су мөлшері әр үлгі үшін бірдей 100 мл алынды.



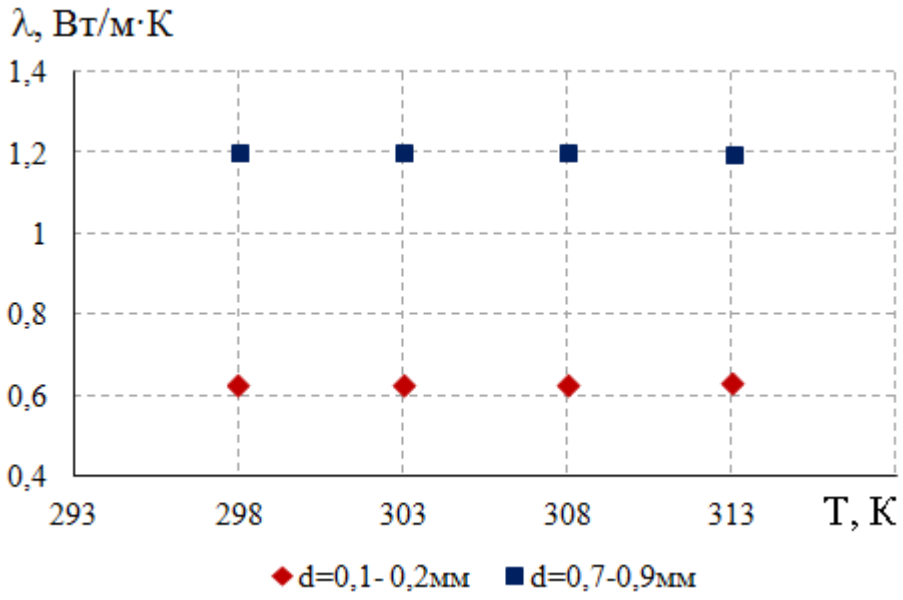
а ә

б в

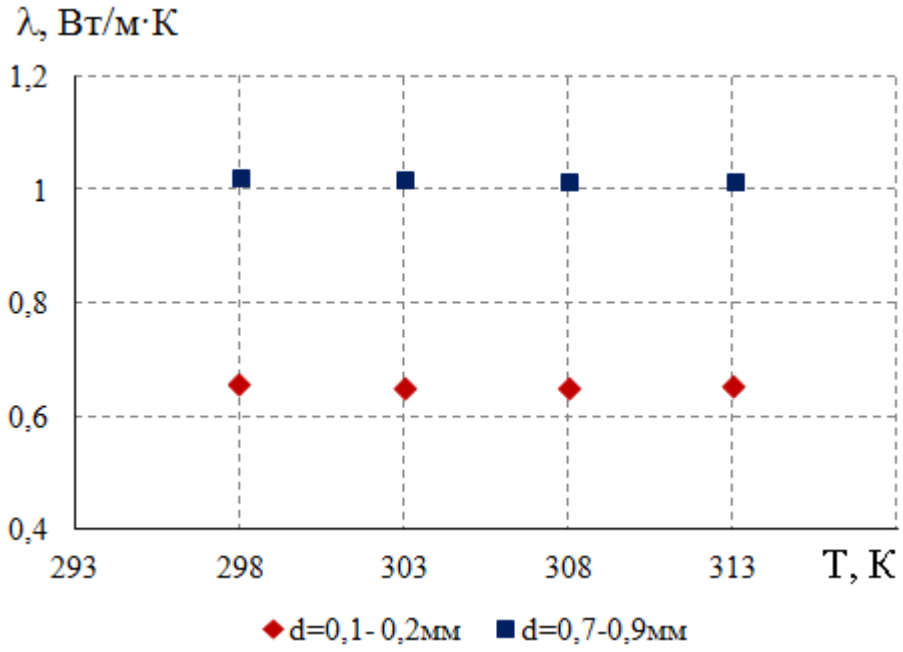
а – 75% кварц және 25% М400 маркалы портландцемент (d<0,2 мм); ә – 25% кварц және 75% М400 маркалы портландцемент (d<0,2 мм); б – 75% кварц және 25% М400 маркалы портландцемент (0,7-0,9 мм); в – 25% кварц және 75% М400 маркалы портландцемент (0,7-0,9 мм)

Сурет 4.6 – Зерттеу үлгілері

Төмендегі 4.7-суретте зерттеу нәтижелері бойынша үлгілердің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділік графигі көрсетілген.



а



ә

а – 75% кварц және 25% М400 маркалы портландцемент; ә – 25% кварц және 75% М400 маркалы портландцемент

Сурет 4.7 – Үлгілердің жылу өткізгіштігінің температураға тәуелділігі

Зерттелген үлгінің құрамындағы кварц ұнтағының фракция диаметрі 0,1-0,2 мм және 0,7-0,9 мм болды. Үлгілердің жылу өткізгіштігін зерттеу үшін аспаптағы суытқыштың температурасы тұрақты болғанда (288К) қыздырғыштың температурасы 298 К-нен 313К-ге дейін өзгертілді.

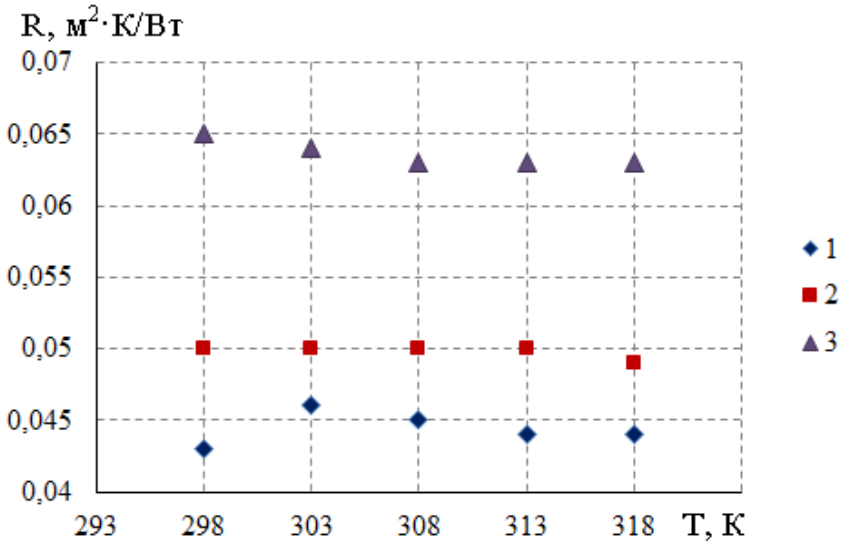
Келтірілген графиктерде ұнтақ диаметрі 0,1-0,2мм болатын 75% кварц және 25% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін жылу өткізгіштігі λ=0,627-0,631 Вт/м·К, ал 0,7-0,9мм үшін λ=1,031-0,204 Вт/м·К-ді құрады.

Сондай-ақ 25% кварц (0,1-0,2 мм) және 75% М400 маркалы портландцемент қоспаларының жылу өткізгіштігі λ=0,652-0,658 Вт/м·К құраса, ал диаметрі d=0,7-0,9 мм болатын қоспаның жылу өткізгіштігі λ=1,017-1,027 Вт/м·К болды. Бұл нәтижелер цементтің белгілі бір мөлшерін кварц ұнтағымен алмастыруға болатынын дәлелдейді. [11, p. 36-42] жұмыста кварцтың ұсақ бөлшектерінің жылу өткізгіштігі ірі бөлшектерге қарағанда төмен болатыны зерттелген.

Келтірілген үлестен материалға диаметрі 0,1-0,2 мм болатын кварц ұнтағының қосуда жылу өткізгіштігі төмен болатыны анықталды. Тәжірибе мәліметтері құрлыс саласында табиғи минерал құрамды материалдарды әзірлеуде қолданыс табуы мүмкін.

4.3 Кварц құрамды үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігі

Материалдың термиялық кедергісі жылу өткізгіштікке қарсы шама болып табылады. Кварц құрамды үлгілердің термиялық кедергісін зерттеу үшін дайындалған үлгілердің ені 100 мм, ұзындығы 100 мм, биіктігі 25 мм болды. Қоспаларды әзірлеу кезінде су мөлшері әр үлгі үшін бірдей 100 мл алынды. 4.8-суретте зерттеу нәтижелері бойынша үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділік графигі көрсетілген [115, p. 97].



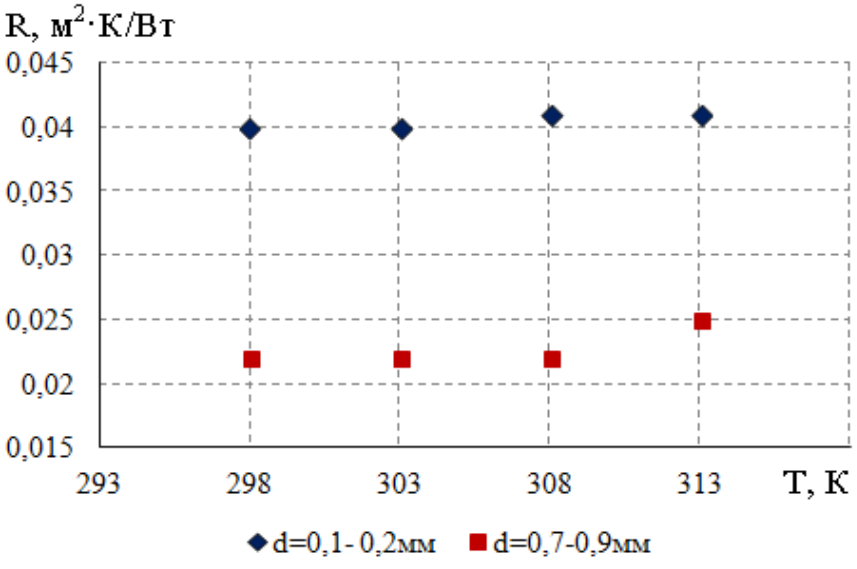
1 – 100% цементтен тұратын үлгі; 2 – үлгі – 50% кварц және 50% М400 маркалы портландцемент қоспасы; 3 – үлгі – 70% кварц және 30% М400 маркалы портландцемент қоспасы

Сурет 4.8 – Үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігі

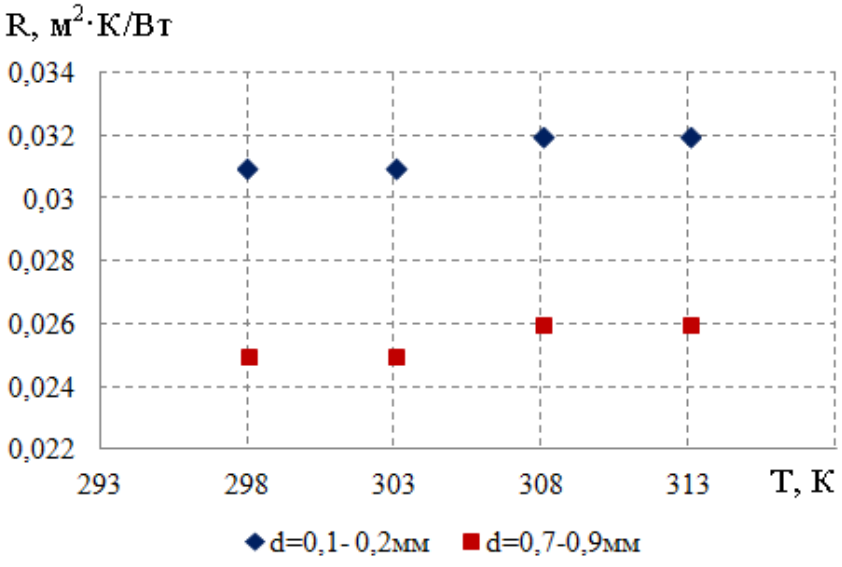
Тәжірибені жүргізу кезінде қоспасыз портландцементтің термиялық кедергісі қарастырылған температура аралықтарында R=0,043-0,046 м^2·К/Вт болды. Кварц құрамды материалдың термиялық кедергісі келесідей аралықта өзгерді: 50 % кварцтан және 50% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін R=0,049-0,050 м^2·К/Вт; 70% кварцтан және 30% М400 маркалы портландцемент

қоспасы үшін R=0,063-0,065 м^2·К/Вт. Келтірілген графиктен үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігінен 70% кварц құрамды материалдың термиялық кедергісі жоғары екені анықталды.

Келесі 4.9-суретте зерттеу нәтижелері бойынша 75% кварц және 25% М400 маркалы портландцемент, 25% кварц және 75% М400 маркалы портландцемент қоспаларынан жасалған үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділік графигі келтірілген.



а



ә

а – 75% кварц және 25% М400 маркалы портландцемент; ә – 25% кварц және 75% М400 маркалы портландцемент

Сурет 4.9 – Үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігі

Алынған нәтижелерден диаметрі 0,1-0,2 мм болатын 75% кварц ұнтағының және 25% М400 маркалы портландцемент қоспасынан жасалған

материалдың термиялық кедергі R=0,040-0,041 $м^2$·К/Вт (4.7а-сурет), 0,7-0,9мм үшін R=0,022-0,025 $м^2$·К/Вт көрсетті. Сонымен бірге (4.7ә-сурет) 25% кварц (0,1-0,2 мм) және 75% М400 маркалы портландцемент қоспаларының термиялық кедергі R=0,031-0,032 $м^2$·К/Вт құраған болса, ал диаметрі d=0,7-0,9мм болатын қоспаның термиялық кедергі R=0,025-0,026 $м^2$·К/Вт болды. Келтірілген графиктен үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігінен диаметрі d=0,1-0,2 мм болатын кварц құрамды материалдың (75% кварц ұнтағы және 25% М400 маркалы портландцемент) термиялық кедергісі жоғары екені анықталды.

Алынған нәтижелер кварц шикізатын құрылысқа тиімді жылу оқшаулағыш материал жасауда қолданудың тиімділігін көрсетеді.

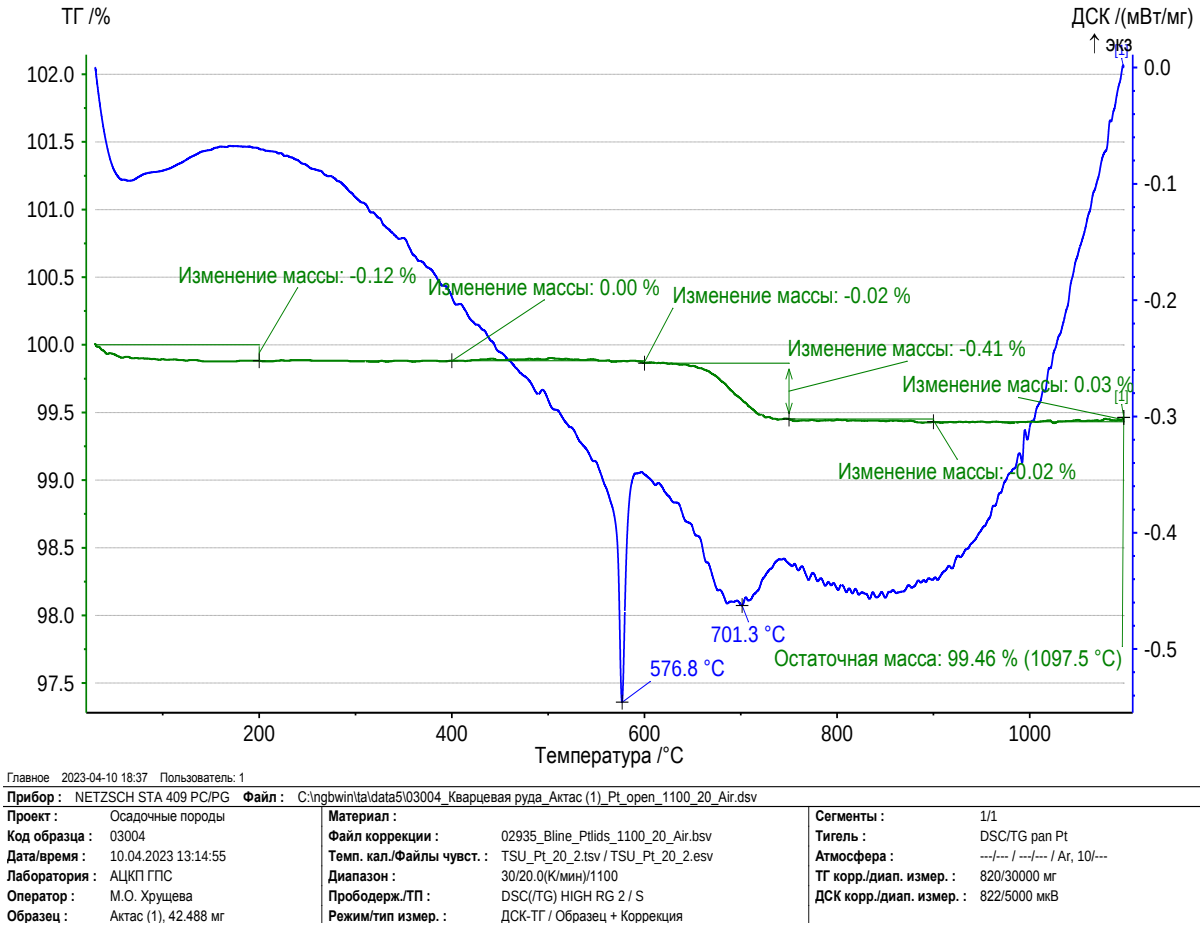
4.4 Кварц үлгісінің термиялық талдауы

Температураға байланысты кварц үлгісінің массасының өзгеруі термиялық талдау әдісі негізінде жүреге асады [116]. Зерттеулер ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университетінде STA409PC синхронды термоанализатор қондырғысының көмегімен жүргізілді. Ол термодинамикалық сипаттамаларды (фазалық ауысулардың жылуы мен температурасын, жылу сыйымдылығын) өлшеуге және қатты және ұнтақ материалдардың массасының өзгеруін тіркеуге арналған (4.10-сурет.). Сонымен бірге, бөлме температурасынан 1000°C дейінгі температура диапазонында, минутына 5°C қыздыру жылдамдығында жұмыс жасайды, жұмыс істеу ортасы аргон/ауа.

Сурет 4.10 – STA409PC синхронды термоанализатор

Синхронды термоанализаторлар дифференциалды сканерлеу калориметрі мен жоғары сезімтал аналитикалық салмақтардың функцияларын біріктіретін өлшеу кешені болып табылады. Ол бір уақытта бір тәжірибеде және бір үлгіде

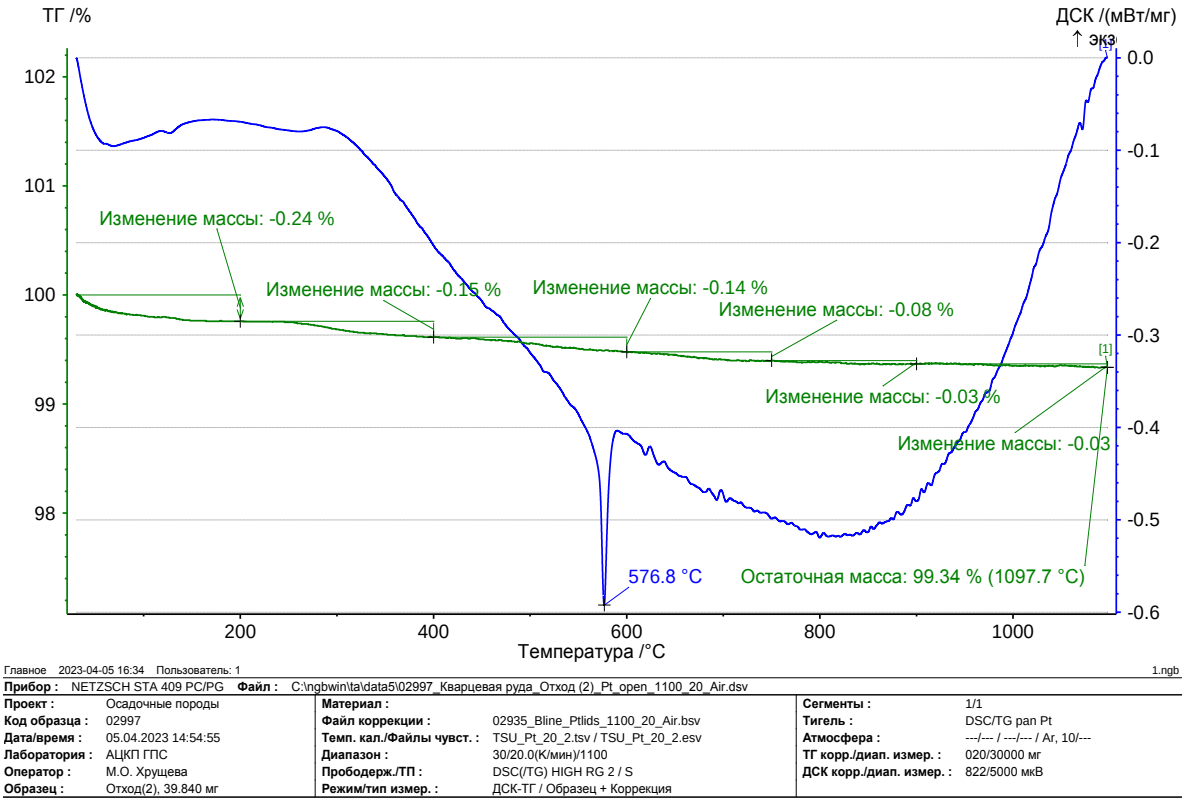
әртүрлі термодинамикалық ауысулардағы калориметриялық шамаларды және температураны өлшеуге, зерттелетін үлгінің массасының өзгеруін тіркеуге мүмкіндік береді. 4.11-суретте Ақтас кен орнының кварц үлгісінің термограммасы көрсетілген. Бұл кен орынының кварцы сүтті ақ түске ие. Сүтті ақ кварц-кварцтың жиі кездесетін түрі. Сүтті ақ кварц кристалдарында сұйық және газ тәрізді қосылыстардың көп мөлшері болады.



Сурет 4.11 – Ақтас кен орынынан алынған кварц үлгісінің термограммасы

Үлгіні 200°C-ге дейін қыздыру кезінде массасының үлесі 0,12% көрсетті. 576,8°C кезінде айқын эндотермиялық әсер α-кварцтың β-кварцқа ауысуы кезінде кварцтың полиморфты түрленуіне сәйкес келеді және массаның 0,02% төмендеуімен расталады. 300-420°C аймағында бірқатар шамалы эндотермиялық әсерлермен ерекшеленуі мүмкін. 850-890°C аймағындағы әлсіз анықталған эндотермиялық шыңдар β-кварцтың келесі полиморфты модификацияға, одан әрі β-тридимит полиморфты түрлендірулерге ауысуына сәйкес келеді. Сонымен қатар 680-710°C аймағындағы айқын эндотермиялық әсер темір оксидтерінің/гидроксидтерінің қоспасына байланысты болуы мүмкін (гетит+гематит қоспасы шамалы мөлшерде) және массаның өзгерісі 0,41%-ды құрайды. 1097,5°C кезінде үлгінің массалық үлесі 99,45% құрады.

Келесі 4.12-суретте Надырбай кен орнының кварц үлгісінің термограммасы көрсетілген.



Сурет 4.12 – Надырбай кен орынынан алынған кварц үлгісінің термограммасы

200°С дейінгі аралықта - бос және физикалық байланысқан су (бос немесе әлсіз байланысқан) – 0,24% жойылады. 200-400°С аралықта-адсорбциялық су мен химиялық байланысқан су (0,14%) жойылады. 576,8°С-де айқын эндотермиялық әсер α-кварцтың β-кварцқа ауысуы кезінде кварцтың полиморфты түрленуіне сәйкес келеді және массаның 0,14% төмендеуімен расталады. 850-890°С аймағындағы әлсіз анықталған эндотермиялық шыңдар β-кварцтың келесі полиморфты модификацияға ауысуына, ал одан әрі β-тридимит полиморфты түрлендірулерге жауап бере алады. 1097°С кезінде үлгінің массасы 99,34%-ды құрады. 1000°С-2000°С аралықта үлгінің барлық көлемінде газ-сұйық қосылыстардың жаппай ашылуы орын алады. Кварц үлгісі массасының өзгерісі оның құрамында газ-сұйық қосылыстардың болуына, бос қуыстардың мөлшеріне және құрамына байланысты болуы мүмкін. Термиялық талдау нәтижелері бойынша басқа минералдардың қоспалары табылмайды.

4-бөлім бойынша қорытынды

1. Ұнтақ диаметрі 0,2 мм – ден кіші болатын үлгінің жылу өткізгіштігі келесідей болды: қоспасыз портландцементтен тұратын үлгі - үшін λ=0,596Вт/м·К; 50% кварц және 50% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін λ=0,516-0,521Вт/м·К; 70% кварц және 30% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін λ=0,400-0,411Вт/м·К.

2. Ұнтақ диаметрі 0,1-0,2мм болатын 75% кварц және 25% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін жылу өткізгіштігі λ=0,627-0,631 Вт/м·К, ал 0,7-0,9 мм үшін λ=1,031-0,204 Вт/м·К-ді құрады. Сондай-ақ 25% кварц (0,1-0,2 мм)

және 75% М400 маркалы портландцемент қоспаларының жылу өткізгіштігі λ=0,652-0,658 Вт/м·К құраса, ал диаметрі d=0,7-0,9 мм болатын қоспаның жылу өткізгіштігі λ=1,017-1,027 Вт/м·К болды. Келтірілген үлестен материалға диаметрі 0,1-0,2 мм болатын кварц ұнтағының қосуда жылу өткізгіштігі төмен болатыны анықталды.

3. Ұнтақ диаметрі 0,2 мм – ден кіші болатын үлгінің термиялық кедергісі келесідей болды: 50% кварцтан және 50% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін R=0,049-0,050 $м^2$·К/Вт; 70% кварцтан және 30% М400 маркалы портландцемент қоспасы үшін R=0,063-0,065 $м^2$·К/Вт. Үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігінен 70% кварц құрамды материалдың термиялық кедергісі жоғары екені анықталды.

4. Ұнтақ диаметрі 0,1-0,2 мм аралығында болатын 75% кварц ұнтағын және 25% М400 маркалы портландцемент қоспасынан жасалған материалдың термиялық кедергі R=0,040-0,041 $м^2$·К/Вт, ал 0,7-0,9мм үшін R=0,022-0,025 $м^2$·К/Вт көрсетті. Сонымен бірге 25% кварц (0,1-0,2мм) және 75% М400 маркалы портландцемент қоспаларының термиялық кедергі R=0,031-0,032$м^2$·К/Вт құраған болса, ал диаметрі d=0,7-0,9 мм болатын қоспаның термиялық кедергі R=0,025-0,026 $м^2$·К/Вт болды. Тәжірибелік зерттеулерден үлгілердің термиялық кедергісінің температураға тәуелділігінен диаметрі 0,1-0,2 мм болатын кварц құрамды материалдың (75% кварц ұнтағы және 25% М400 маркалы портландцемент) термиялық кедергісі жоғары екені анықталды.

5. Электрогидравликалық әдіспен ұнтақталған Ақтас кен орынынан алынған кварц үлгісін 1097,5°С-ға дейін қыздыру барысында үлгінің массалық үлесі 99,45%-ды, ал Надырбай кен орынынан алынған кварц үлгісінің массалық үлесі 99,34%-ды құрады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыста электрогидравликалық әдіспен алынған кварц ұнтағы құрамды материалдың жылуфизикалық қасиеттері зерттелді. Ғылыми зерттеу нәтижелері негізінде келесідей **қорытындылар** жасалды:

1. Табиғи шикізатты электравликалық қондырғының негізгі электрлік және геометриялық параметрлеріне байланысты ұнтақтаудың тәуелділіктері орнатылды:

– тиімді параметрлер болып келесілер саналды: импульстер разрядтарының саны N=1000, ауалық разрядтаушы қондырғысының разряд аралық ұзындығы $l = 12мм$, конденсатор батареясының сыйымдылығы 0,5 мкФ-тан кем емес, разряд кернеуі U=30 кВ;

– импульсті разряд кернеуін арттыру арқылы диаметрі 0,1–0,4 мм болатын кварцтың ұсақ бөлшектері қарқынды ұнтақталады. Электргидравликалық қондырғының жұмыс ұяшығының оңтайлы диаметрі D=70 мм болды;

– электрогидравликалық қондырғының тағайындалған параметрлерінде табиғи кварц минералы ұнтақталып, 0,2 мм-ден төмен болатын шикізат алынды;

– фракция диаметрі 13-17 мм аралығындағы кварц минералын ұнтақтау кезінде диаметрі 1 мм-ден төмен өнім алу үшін, өңделетін шикізаттың көлемімен салыстырғанда судың көлемін 3-5 есеге көбейткенде ($3 \cdot V_{СУ}$ - $5 \cdot V_{СУ}$) өнімнің ұнтақталу дәрежесі артатындығы байқалды. Су мөлшерін аталған деңгейден арттырғанда дайын өнім шығымы шамамен бірдей деңгейде өзгеретіні анықталды.

2. Алғаш рет кварц құрамды материалдың жылуфизикалық қасиеттері зерттелді. Материалдың құрамындағы диаметрі 0,2 мм төмен кварц ұнтағын 70 және 75% қосу арқылы құрылысқа тиімді жылу өткізгіштігі мен термиялық кедергісі бойынша шикізат алынды.

3. Электрогидравликалық әдіспен ұнтақталған карц үлгілерінің термиялық талдауы STA409PC синхронды термоанализатор қондырғысының көмегімен жүргізілді. Ақтас кен орынынан алынған кварц үлгісін 1097,5°С-ға дейін қыздыру барысында үлгінің массалық үлесі 99,45%-ды, ал Надырбай кен орынынан алынған кварц үлгісінің массалық үлесі 99,34%-ды құрады. Кварц үлгісі массасының өзгерісі оның құрамында газ-сұйық қосылыстардың болуымен түсіндіріледі.

4. Кварц шикізатының гранулометриялық құрылымы мен элементтік құрамын зерттелді.

– табиғи кварц шикізатының гранулометриялық құрылымы MIRA 3 LMU (TESCAN) сканерлеуші электрондық микроскоп (СЭМ) арқылы зерттеу кезінде Надырбай кен орнынан алынған кварц шикізатын механикалық өңдеу кезінде ірі бөлшектердің диаметрі 4,58 мкм, ұсақтардың диаметрі 1,79 мкм болды, ал электрогидравликалық өңдеу кезінде бөлшектердің максималды диаметрі 3109,41 нм азайып, ұсақ бөлшектердің диаметрі 775,94 нм-ды құрады.

Ақтас кен орнынан алынған кварц шикізатын механикалық жолмен өңдеген кезде ірі бөлшектердің диаметрі 8,73 мкм-ді, кіші диаметрлер 0,96 мкм-ді құрады, ал электрогидравликалық өңдеуден кейін ірі бөлшектердің диаметрі 1336,52 нм-ге төмендеп, ұсақ бөлшектердің диаметрі 82,26 нм болды. Ұнтақталған кварц үлгілерінің электронды микроскопиялық талдаулары электрогидравликалық әдістің көмегімен қажетті өлшемде табиғи шикізат ұнтағын алуға болатындығын көрсетті;

– табиғи кендердің беттік құрылымы JSM 5910 электрондық растрлық сканерлеу микроскоптың көмегімен зерттеу нәтижелері өңдеуге дейінгі кварц кристалдарының бұрыштары өткір пішінді екенін және өңделген кварц ұнтағы бөлшектерінің қиыршықталып, шеттері қатты аморфталғанын, сонымен қатар кварц минералының денесінде көптеген жарықтардың болуын және кедір-бұдыр қабатты құрылымға ие екендігін көрсетті;

– кварцтың құрамындағы тау жыныстарын түзетін оксидтерді анықтау нәтижелері Ақтас және Надырбай кен орындарының кварциттер өте аз қоспалары бар жоғары кремнийлі кварциттер болып табылатындығын көрсетті.

5. Табиғи шикізатты өңдеуге арналған жаңа электрогидравликалық құрылғы ұсынылып, жаңа әдіс бойынша №8985 «Кварц материалын ұнтақтауға арналған электрогидравликалық құрылғы» пайдалы модельге патент алынды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Обогащение полезных ископаемых / сост. И.А. Пузыревская. – Благовещенск, 2014. – 96 с.

2 Gupta V.K. Population balance modeling approach to determining the mill diameter scale-up factor: Consideration of size distributions of the ball and particulate contents of the mill // Powder Technology. – 2022. – Vol. 395. – P. 412-423.

3 Wentao Z. et al. Research on prediction model of ore grinding particle size distribution // J. Disper. Sci. Technol. – 2020. – Vol. 41, Issue 4. – P. 537-546.

4 Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – Изд. 3-е, перер. и доп. – М., 1980. – 415 с.

5 Кузьмина Н.И. Критерии определения пределов обогатимости различных природных типов кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. – 2007. – №10. – С. 49-51.

6 Усов А.Ф., Цукерман В.А. Сравнительный анализ эффективности способов дезинтеграции горных пород и руд. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №7. – С. 132-136.

7 Курец В.И., Соловьев М.А., Жучков А.И. и др. Электроразрядные технологии обработки и разрушения материалов. – Томск, 2012. – 272 с.

8 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. – М., 1955. – 51 с.

9 Мартынов Н.В., Добромиров В.Н., Барсуков В.О. и др. Электрогидравлическая технология разрушения монолитных объектов // Горная промышленность. – 2021. – №2. – С. 132-136.

10 Gao P., Qin Y., Zhang H. et al. Strengthening the magnetic separation characteristic of magnetic quartzite via high-voltage pulse discharge // Canadian Metallurgical Quarterly. – 2023. – Vol. 62, Issue 1. – P. 85-98.

11 Zhang N., Yu X., Pradhan A. et al. Effects of Particle Size and Fines Content on Thermal Conductivity of Quartz Sands // Journal of the Transportation Research Board. – 2015. – Vol. 2510, Issue 1. – P. 36-43.

12 Singh S.K., Ngaram S.M., Wante H.P. Determination of thermal conductivity for adobe (clay soil) mixed with different proportions of quartz (sharp sand) // International Journal of Research – Granthaalayah. – 2019. – Vol. 7, Issue 3. – P. 335-345.

13 Шубников А.В. Кварц и его применение. – М., 1940. – 194 с.

14 Миловский А.В. Минералогия и петрография. – М., 1979. – 186 с.

15 Каримова З., Умирбаева Э. Минеральные ресурсы Казахстана и мира // Экономика и статистика. – 2002. – №2. – С. 40-48.

16 Гадиятов В.Г., Киях Д.А., Жидкова С.А. К проблеме использования кварцевого песка для получения особо чистого кварца // Вестник Воронежского государственного университета. – 2010. – №2. – С. 324-327.

17 Мальцев А.В., Карев М.Н. Теплопроводность увлажненного материала наружных ограждающих конструкций при промерзании и ее влияние на тепловые потери // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2015. – №3-4(37-38). – С. 83-86.

18 Митина Н.А., Верещагин В.И. Строительные материалы на основе активированного кварцевого песка // Известия Томского политехнического университета. –2009. –Т. 314, №3. – С. 1-4.

19 Кварц. Кремнезём: матер. междунар. семин. / под ред. Н.П. Юшкина. – Сыктывкар, 2004. – 349 с.

20 Комов И.Л., Самойлович М.И. Природный кварц и его физико-механические свойства. – М.: Недра, 1985. – 124 с.

21 Айлер Р. Химия кремнезёма: монография: в 2 ч. – М.: Мир, 1982. – Ч. 1 – 416 с.

22 Комов И.Л., Самойлович М.И. Природный кварц и его физико-химические свойства. – М.: Недра, 1985. – 1274 с.

23 Булах А.Г. Общая минералогия. – СПб., 1999. – 356 с.

24 Wright A.C. Defects in SiO_2 and Related Dielectrics: Science and Technology. – Erice: Springer Science.2000. – 624 p.

25 Прянишников В.П. Система кремнезема. – Л., 1971. – 240 с.

26 Лотов В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311, №3. – С. 84-88.

27 Фокин В.М., Ковылин А.В., Чернышов В.Н. Энергоэффективные методы определения теплофизических свойств строительных материалов и изделий. – М., 2011. – 156 с.

28 Gao P., Zhou W.T., Han Y.X. et al. Enhancing the capacity of large-scale ball mill through process and equipment optimization: An industrial test verification // Adv. Powder Technol. – 2020. – Vol. 31. – P. 2079-2091.

29 Liu C., Zhang Y.M., Bao S.X. Vanadium recovery from stone coal through roasting and flotation // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2017. – Vol. 27. – P. 197-203.

30 Rabieh A., Albijanic B., Eksteen J.J. A review of the effects of grinding media and chemical conditions on the flotation of pyrite in refractory gold operations // Miner. Eng. – 2016. – Vol. 94. – P. 21-28.

31 Андреев Е.Е., Тихонов О.Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. – СПб., 2007. – 439 с.

32 Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1990. – 301 с.

33 Справочник по обогащению руд: подготовительные процессы / под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. – М.: Недра, 1982. – 367 с.

34 Корчевский А.Н., Назимко Е.И., Серафимова Л.И. и др. Подготовительные процессы при обогащении полезных ископаемых. Дробление, измельчение, грохочение и классификация. – Донецк, 2017. – 180 с.

35 Пожидаев Ю.В., Кривошеина Н.Г. Подготовка и переработка минерального сырья: учеб. пос. – Новокузнецк, 2005. – 187 с.

36 Кармазин В.В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения. – М., 2005. – 260 с.

37 Поскрёбышев В.А. и др. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. – Изд. 2-е, перер. и доп. – Братск, 2009. – 378 с.

38 Marcin M. Examples of vibratory crushers applications in crushing technological lines // New Trends in Production Engineering. – 2019. – Vol. 2, Issue 1. – P. 28-36.

39 Gupta V.K. Effect of particulate environment on the grinding kinetics of mixtures of minerals in ball mills // Powder Tech. – 2020. – Vol. 375. – P. 549-558.

40 Li S., Zhao L., Wu C. Experimental Study of the Crushing Characteristics of Single Particle Materials // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2024. – Vol. 41. – P. 3529-3540.

41 Sokur N., Biletskyy V., Sokur L. et al. Investigation of the process of crushing solid materials in the centrifugal disintegrators // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3, Issue 7(81). – P. 34-40.

42 Köken E. Evaluation of size reduction process for rock aggregates in cone crusher // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2020. – Vol. 79. – P. 4933-4946.

43 Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПБ., 1995. – 276 с.

44 Воробьев А.А. Разрушение горных пород электрическими импульсными разрядами. – Томск: Изд.ТГУ, 1961. – 150 с.

45 Усов А.Ф. Перспективы технологий электроимпульсного разрушения горных пород и руд // Известия АН. Энергетика. – 2001. – №1. – С. 54-62.

46 Блазнин Б.С., Кожушко А.А,, Лагунов В.А. и др. Разрушающие факторы при воздействии на твердое тело искрового разряда // Исследование действия взрыва при подземеной разработке месторождений: сб. ст. – Апатита, 1973. – С. 166-171.

47 Падуков В.А., Антоненко В.А., Подозерский Д.С. Разрушение горных пород при ударе и взрыве. – Л.: Наука, 1975. – 160 с.

48 Булах А.Г., Кривовичев В.Г., Золоторев А.А. Минералогия. – М., 2008. – 410 с.

49 Сементовский Ю.В., Мясников Н.Ф., Рахматуллин Э.Х. и др. Минеральное сырье: справочник. – М.: Геоинформмарк, 1997. – 18 с.

50 О'Доноху М. Кварц / пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 135 с.

51 Симанович И.М. Кварц песчанных пород // Тр. ГИН АН СССР. – М., 1978. – Вып. 314. – С. 3-57.

52 Шубников А.В.Кварц и его применение. – М., 2012. – 195 с.

53 Бобкова Н.М. и др. Общая технология силикатов: учеб. – Минск, 1987. – 288 с.

54 Грибенюк В.М., Кошевой Ю.Н. Применение горных пород в производстве строительных материалов. – Екатеринбург, 2017. – 100 с.

55 Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. – М.: Стройиздат, 1982. – 384 с.

56 Schneider H., Majdic A., Vasudevan R. Kinetics of the quartz-Cristobalite transformation in refractory-grade silica materials // Mater Sci Forum. – 1986. – Vol. 7. – P. 91-102.

57 Куколев Г.В. Технологическая классификация, методы исследование и оценки кварцитов для производства динаса. – М., 1934. – 55 с.

58 Arifov P.A., Tadzhiev K.F., Iskandarov S.I. A Study of Quartzites of the Koitashskoe Deposit for Their Applicability to the Production of Dinas Parts // Refractories and Industrial Ceramics. – 2000. – Vol. 41. – P. 450-452.

59 Legemza J., Findorák R., Bulko B. et al. New Approach in Research of Quartzes and Quartzites for Ferroalloys and Silicon Production // Metals. – 2021. – Vol. 11. – P. 670-1-670-23.

60 Fanderlik I. Silica glass and its application. – Amsterdam: Elsevier, 2013. – 305 p.

61 Bragança S.R., Bergmann C.P. Effect of quartz of fine particle size on porcelain properties // Mater. Science Forum. – 2006. – Vol. 530-531. – P. 493-498.

62 Леко В.К., Мазурин О.В. Свойства кварцевого стекла. – Л.: Наука, 1985. – 165 с.

63 Аксенов Е.М., Быдтаева Н.Г., Бурьян Ю.И. и др. Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. – 2012. – №5. – С. 24-27.

64 Beall G.H. Industrial applications of silica // In book: Reviews in Mineralogy & Geochemistry. - Berlin, 1994. – Vol. 29. – P. 469-506.

65 Александрова О.А., Лебедев А.О., Мараева Е.В. Введение в технологию материалов микроэлектроники: в 3 ч. – СПб., 2023. – Ч. 1. – 172 с.

66 Wei B., Luo X., Song X. et al. Quartz Sand Filter Media with Special Wettability for Continuous and Efficient Oil/Water Separation and Dye Adsorption // Processes. – 2020. – Vol. 8, Issue 9. – P. 1-14.

67 Yasmen M. Aerosol filtration using quartz sand filter // American Journal of Environmental Sciences. – 2012. – Vol. 8, Issue 4. – P. 385-395.

68 Айлер Р. Химия кремнезёма: монография: в 2 ч. – М.: Мир, 1982. – Ч. 2. – 712 с.

69 Сариев Б.Е., Бортебаев С.А., Тагауова Р.З. Исследование кварцитов месторождения «Актас» // Горный журнал Казахстана. – 2015. – №2. – С. 22-25.

70 Отчет по доразведке месторождения кварца «Надырбай» с пересчетом запасов по состоянию на 01.01.2008 г. / ТОО «Kaz-Euro Holding». – Караганда, 2008. – 114 с.

71 Александрова Т.Н., Кусков В.Б., Львов В.В. и др. Обогащение полезных ископаемых: учеб. – СПб., 2015. – 528 с.

72 Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. – Киев: Наука. Думка, 1983. – 272 с.

73 Шаймерденова Ш.М., Хасенов А.К., Булкаирова Г.А. Получение наноматериалов из природных минералов с исполбзованием эффекта Юткина // Инновационное развитие и востребованность науки всовременном Казахстане, сб. ст. 3-й междунар. науч. конф. – Алматы, 2009. – С. 298-302.

74 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л., 1986. – 253 с.

75 Гулого Г.А. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. – М., 1977. – 320 с.

76 Иннов. пат. 2010/0589.1 РК. Электроимпульсное устройство для измельчения природных минералов и металлургического кремния / Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Булкаирова Г.А. и др.; опубл. 07.10.10.

77 Bulkairova G., Nussupbekov B., Bolatbekova M. et al. A research of the effect of an underwater electric explosion on the selectivity of destruction of quartz raw materials // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Vol. 3, Issue 12(123). – P. 30-37.

78 Пат. 8985 РК. Электрогидравлическое устройство для измельчения кварцевого материала / Карабекова Д.Ж., Хасенов А.К., Булкаирова Г.А. и др.; опубл. 29.12.23.

79 Valentyn Ch., Yevgen K., Taras M. et al. Investigation of particle size distribution of grinded amber by electropulse discharges in a liquid medium // Journal of Physics Conference Series. – 2020. – Vol. 1614, Issue 1. – P. 337-348.

80 Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Булкаирова Г.А. и др. Электрогидравликалық қондырғының көмегімен кварц минералының бөлшектенілуін зерттеу // Академик Е.А. Букетов – ученый педагог, мыслитель: матер. междунар. науч.-практ. конф., посв. 80-летию Е.А. Букетова. – Караганда, 2005. – С. 654-656.

81 Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. – Апатиты, 2002. – 324 с.

82 Khassenov A.K., Nussupbekov B.R., Bulkairova G.A. et al. Electric pulse method of processing cullet // Bulletin of the Karaganda university. Physics series. – 2022. – Vol. 1, Issue 105. – P. 75-80.

83 Martynov N., Dobromirov V., Avramov D. et al. Electrohydraulic pretreatment method for the purpose of complex enrichment of fine clay ores of weathering crust // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1614. – P. 012056.

84 Хасенов А.К., Карабекова Д.Ж., Булкаирова Г.А. және т.б. Кварц минералын электроимпульстік әдіспен ұнтақтау // Actual scientific research in the modern world. – 2022. – Vol. 9, Issue 89. – P. 111-115.

85 Корженевский С.Р. и др. Выбор режимов электрогидравлического селективного дробления кварцевой руды // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – №3. – С. 70-74.

86 ГОСТ Р 51568-99. Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия. – Введ. 2003-03-01. – М., 2000. – 11 с.

87 ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования. – Введ. 2002-07-01. – Минск, 2002. – 8 с.

88 Khassenov A.K., Karabekova D.Zh., Bulkairova G.A. et al. Investigation of the influences of pulsed electrical discharges on the grinding of quartz raw materials // Bul. of the Karaganda university. – 2023. – Vol. 2, Issue 110. – P. 93-99.

89 Kurytnik I.P., Nussupbekov B.R., Khassenov A.K. et al. About an electric pulse method of grinding gold ore // Przeglad Elektrotechniczny. – 2020. – Vol. 96, Issue 10. – P. 148-150.

90 Shaimerdenova K., Nussupbekov B., Bulkairova G. et al. Electrohydropulse method for destruction of natural minerals // Bulgarian Chemical Communications. – 2020. – Vol. 52, Issue A. – P. 185-187.

91 Мамыр Ғ.Ж., Жолдасбек Е.Ә., Булкаирова Г.А. және т.б. Кварциттің ұнтақталуына электроимпульсті разрядтардың әсері // Modern scientific challenges and trends: col. – Warsawa, 2023. – P. 69-72.

92 Khassenov A., Bulkairova G., Karabekova D. et al. Identification of the impact of electric pulse action on the disintegration of a natural mineral // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2024. – Vol. 1, Issue 127. – P. 54-59.

93 Булкаирова Г.А., Карабекова Д.Ж., Алпысова Г.К. және т.б. Электрогидравликалық әдіспен ұсақталынған кварц минералының құрамын зерттеу // Цифрлық трансформация жағдайында зияткерлік капиталды қалыптастыру: тәжірибе, сын-тегеуріндер, перспективалар: халық. ғыл.-практ. онлайн конф. матер. – Қарағанды, 2022. – Б. 39-41.

94 Андреева В.Д., Горшков И.И. Электронная микроскопия материалов: учеб. пос. – СПб., 2016. – 139 с.

95 Власов А.И. и др. Электронная микроскопия: учеб. пос. – М., 2011. – 168 с.

96 Родыгин А.И. Микроструктурный анализ кварца (с методическими указаниями и примерами геологической интерпритации). – Томск, 1994. – 217 с.

97 Шаймерденова Г.М., Булкаирова Г.А., Октябрь А. Электрогидравликалық әдіспен өңделген кварц минералының микроқұрылымдық анализі мен қоспа элементтерінің мөлшерін зерттеу // ҚарМУ Хабаршысы. – 2015. – №1(77). – С. 66-71.

98 Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / пер. с англ. – М., 1984. – Кн. 1. – 303 с.

99 Асеев В.А., Золотарев В.М., Никоноров Н.В. Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники: учеб. пос. – СПб., 2015. – 130 с.

100 Джеффери П. Химические методы анализа горных пород / пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 470 с.

101 Исаев В.А. Структурные примеси в кварце. Часть I. О обзор и анализ традиционных способов очистки кварца от структурных примесей // Гороный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №1. – С. 11-23.

102 Раков Л.Т. Рассеянные примеси в кварце // Структура и разнообразие минерального мира: матер. междунар. минерал. семин. – Сыктывкар, 2008. – С. 265-266.

103 Мендалиева Д.К., Сдикова Г.Ж., Мендалиева К.К. және т.б. Жалпы химияның таңдаулы тараулары: оқу-құр. – Орал, 2021. – 376 б.

104 Соколов В.Н., Кузьмин В.А. Применение компьютерного анализа РЭМ–изображений для оценки емкостных и фильтрационных свойств пород – коллекторов нефти и газа // Известия АН. – 1993. – Т. 57, №8. – С. 94-98.

105 НСАМ 487-ХС. Определение натрия, магния, алюминия, кремния, фосфора, калия, кальция, титана, марганца и железа в горных породах, объектах окружающей среды атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой / ВИМС. – М., 2002. – 25 с.

106 НСАМ 138-Х. Химические методы. Методика количественного химического анализа. Ускоренные методы определения породообразующих элементов в горных породах и рудах / ВИМС. – М., 2010. – 57 с.

107 НСАМ 61-С. Определение лития, натрия, калия, рубидия, цезия в силикатных горных породах и минералах-силикатах пламенно-спектрофотометрическим методом / ВИМС. – М., 2006. – 22 с.

108 Булкаирова Г.А., Нүсіпбеков Б.Р., Хасенов А.К. Табиғи және техногенді материалдарды ұсақтаудың жаңа әдісі // Бейсызық жүйелердегі хаос және құрылымдар. Теория және тәжірибе: 12-ші халық. ғыл. конф. матер. – Павлодар, 2022. – Б. 473-478.

109 Афанасьев А.Д. Обзор технологий обогащения кварцевого сырья // Вестник ИрГТУ. – 2010. – №7 (47). – С. 283-289.

110 Нестерова Т.Н., Востриков С.В. Стехиометрия, материальные и энергетические расчеты в химии и химической технологии: учеб. пос. – Самара: СамГТУ, 2014. – 403 с.

111 Баранова А.А. Теплопроводность и термическое сопротивление неавтоклавного пенобетона на основе микрокремнезёма // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2020. – Т. 10, №3. – С. 370-377.

112 Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): справоч. геофизика / под ред. Н.Б. Дортмана. – М., 1976. – 527 с.

113 Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н. Основы строительной теплофизики: учеб. пос. – Екатеринбург, 2014. – 104 с.

114 Demirboga R., Gül R. The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete // Cement Concr. – 2003. – Vol. 33, Issue 5. – P. 723-727.

115 Khassenov A.K., Nussupbekov B.R., Bulkairova G.A. et al. Research of heat conductivity of quartz material // Bulletin of the Karaganda university. – 2024. – Vol. 29, Issue 3(115). – P. 94-100.

116 Исаев В.А. Термические превращения молочно-белого кварца. – М., 2003. – 96 с.

ҚОСЫМША А

Патент

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 8985

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL

(21) 2023/1275.2

(22) 29.12.2023

(45) 03.01.2025

(54) Кварц материалын ұнтақтауға арналған электрогидравликалық құрылғы
Электрогидравлическое устройство для измельчения кварцевого материала
Electrohydraulic device for grinding quartz material

(73) Карабекова Дана Жилкибаевна (KZ)
Karabekova Dana Zhilkibayevna (KZ)

(72) Хасенов Аянберген Каирбекович (KZ)
Нусупбеков Улан Бекболатович (KZ)
Булкаирова Гульден Айтбаевна (KZ)
Кудусов Арыстан Сатыбалдинович (KZ)
Қисабекова Перизат Әуелқызы (KZ)
Алпысова Гульнур Кенжебековна (KZ)
Болатбекова Мадина Муратовна (KZ)
Жолдасбек Ердәулет Әлжанұлы (KZ)
Хасен Ілияс Тоқтамысұлы (KZ)

Khassenov Ayanbergen Kairbekovich (KZ)
Nussupbekov Ulan Bekbolatovich (KZ)
Bulkairova Gulden Aitbayevna (KZ)
Kudusov Arystan Satybaldinovich (KZ)
Kissabekova Perizat Auyelkyzy (KZ)
Alpysova Gulnur Kenzhebekovna (KZ)
Bolatbekova Madina Muratovna (KZ)
Zholdasbek Yerdaulet Alzhanuly (KZ)
Khasen Ilias Toktamysuly (KZ)

ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Оспанов
Е. Оспанов
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of RSE «National institute of intellectual property»

ҚОСЫМША Ә

Енгізу актісі

Академик Е.А. Бөкетов атындағы
Қарағанды университетінің
академиялық мәселелер жөніндегі
Басқарма мүшесі-проректор
Умуркулова М. М. _____
«02» 04 2025ж.

Енгізу актісі

8D05303 – «Жылуфизика және теориялық жылу техника» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесіне іздену үшін ұсынылған Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының докторанты Булкаирова Гульден Айтбаевнаның «Электрогидравликалық әдіспен өңделген табиғи шикізаттың жылу физикалық қасиеттерін зерттеу» диссертациялық жұмысындағы баяндалған зерттеу әдістері мен алынған нәтижелері физика-техникалық факультетінің профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының оқу процесіне енгізілді.

Зерттеу әдістері мен нәтижелері дәріс және семинарлық сабақтарында келесі пәндерде қолданылады:

- Жылумассаалмасу;
- Жылу беру негіздері;
- Импульстік құбылыстар физикасы;
- Разрядты-импульстік технологияның арнайы тараулары;
- Су асты электр жарылысымен материалдарды бұзу.

6B07103 - Жылу энергетикасы, 7M07104 - Жылу энергетикасы және 8D05303 - Жылуфизика және теориялық жылутехника білім беру бағдарламалары үшін оқылады.

Физика-техникалық факультетінің деканы м.а.
PhD доктор, қауымдастырылған профессор Сериков Т.М.