

**Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу  
университеті**

**ӘОЖ 622.27**

**Қолжазба құқығында**

**ХАЙРУЛЛАЕВ НУРСУЛТАН БАТЫРХАНОВИЧ**  
**Ерітіндіні белсендіре отырып, уранның ЖҰШ тиімділігін арттыру**

**6D070700-Тау-кен ісі**

**Философия докторы (PhD)**  
**ғылыми дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация**

Ғылыми кеңесшілер  
Абен Е. Х., техника  
ғылымдарының  
кандидаты, ассистент-  
профессор

Алиев С.Б., техника  
ғылымдарының докторы  
профессор

Қазақстан Республикасы  
Алматы, 2021

**Кіріспе.** Қазіргі уақытта жерастылық шаймалау әдісімен уран өндіретін кәсіпорындардың шикізат базасын, негізінен жер қыртысының депрессиялы аймақтарының су өткізгіш құм-сазды шөгінділерінде жатқан гидроген генезисінің кедей кен орындары, ал үймелеп шаймалау әдісімен алтынды-кедей және баланстан тыс кендер құрайды.

Уран мен алтынның қорлары бар бұл кен орындары соңғы уақытқа дейін өндірудің дәстүрлі тәсілдерімен техникалық-экономикалық себептер бойынша өнеркәсіптік игеруге тартылған жоқ. Үлкен экономикалық маңызы бар бұл маңызды міндет қазіргі уақытта айтарлықтай шешілді. Әсіресе соңғы онжылдықта жерасты ұңғымалық шаймалау (ЖҰШ) әдісі деп аталатын уранды геотехнологиялық өндіруді өнеркәсіптік ауқымда игеру және енгізу бойынша үлкен жұмыстар жүргізілді.

Жерастылық шаймалау ол - уранды кен орнынан химиялық реагенттермен іріктеп еріту және әрі қарай құрамында уран бар ерітінділерден уранды алу жолымен өндіру әдісі. Жерастылық шаймалау ашық және жерасты игеру әдістеріне балама болып табылады. Олармен салыстырғанда, жерастылық шаймалау үлкен көлемді қазба жұмыстарын немесе орналасқан жері бойынша тау-кен жыныстарымен жұмысшылардың тікелей байланысын қажет етпейді. Тіпті, кедей кен орындарында да, терең жатқан кендер үшін де тиімді.

Оның осындай артықшылығына қарамастан, бірқатар кемшіліктері бар, олардың негізгілері өндірістің өзіндік құнын арттыру және массивтегі пайдалы компоненттің құрамын төмендету болып табылады. Шаймалау шикізаттың көп мөлшерін өңдеумен байланысты екені белгілі, шаймалау реагенттерінің құны түпкілікті өнімнің өзіндік құнына айтарлықтай әсер етеді, өйткені реагенттерге арналған шығындар шаймалауды пайдалану шығындарының 27-45% құрайды.

Өнімді ерітіндідегі уран мөлшерін алудың әртүрлі тәсілдері бар. Бірақ олар қымбат және оларды қолдану технологиялық қиындықтарымен ерекшеленеді. Сондықтан, өнімді ерітіндідегі уран мөлшерін арттыру және өндірудің өзіндік құнын төмендету арқылы уранның ЖҰШ тиімділігін арттыру өзекті міндет болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты** өнімді ерітіндідегі уран мөлшерін арттыру және шаймалаушы ерітіндіні белсендіре отырып, уранды жерасты ұңғымалық шаймалау кезінде реагент шығынын азайту болып табылады

**Зерттеу міндеттері:**

- Орталық Мыңқұдық кенорнында қолданылатын уранның ЖҰШ технологиясының геологиялық ерекшеліктерін зерттеу және талдау»;
- шаймалау ерітіндісін белсендіру технологиясын жасау;
- өнімді ерітіндідегі уранның мөлшеріне жұмыс ерітіндісінің компоненттерін белсендірудің әсерін анықтау бойынша зертханалық зерттеулер;
- белсендірілген ерітінді реагенттің әртүрлі концентрациясы кезінде, өнімді ерітіндідегі уран мөлшеріне әсерін зертханалық зерттеу және белсендіру дәрежесін белгілеу;

- зерттеу нәтижелерін өңдеу және ұсынымдар беру

**Тақырыптың жаңалығы** - өнімді ерітіндідегі уранның мөлшерін жоғарылату және жұмыс ерітіндісін механикалық белсендіру арқылы реагент шығынын азайту.

**Жұмыста келесі жаңа ғылыми нәтижелер алынды:**

- жұмыс ерітіндісінің химиялық белсенділігін арттыруға мүмкіндік беретін, күрделі және пайдалану шығындары төмен механикалық белсендіру технологиясы жасалды;

- өнеркәсіптік жағдайда барлық сілтілендіретін ерітіндіні механикалық белсендірудің қажеті жоқ екендігі анықталды, тек қуаттандыратын концентрацияланған күкірт қышқылын белсендірумен шектелу қажет, бұл энергия шығындарын азайтады;

- өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің, жұмыс ерітіндісінің белсену дәрежесіне және белсендірілгеннен кейінгі уақытқа тәуелділігі алынды, бұл ерітіндінің белсенірілу дәрежесінің оны тасымалдау қашықтығына қарай реттеуге мүмкіндік береді;

- сілтілендіргіш ерітіндінің белсену уақытының өзгеруімен және белсендірілгеннен соң 30 күнге дейін уақыт өте келе, ерітіндінің бастапқы белсенділігі бастапқыда аздап төмендеді, бірақ өзінің белсенділігін сақтап қалды, кейбір жағдайларда ол тіпті аздап өсті. Бұл жағдайда өнімді ерітіндідегі пайдалы компоненттің орташа мөлшері белсенді емес ерітіндімен шаймалауға қарағанда жоғары.

**Жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы.**

Диссертациялық жұмыс "Мыңқұдық" кен орнының "Орталық" учаскесі жағдайында денитрация және сілтісіздендіру процестерін қарқындету технологиясын жасау" - 20.02.2019ж. №50 – ЖШС – 19 шаруашылық шартының шеңберінде орындалды.

Зерттеу нысаны Түркістан облысы Созақ ауданында орналасқан "Орталық Мыңқұдық" кенорны болып табылады.

**Зерттеудің әдістемелік базасы**

Диссертациялық жұмысты орындау кезінде қолданылған негізгі зерттеу әдістеріне мыналар жатады:

- уранды ЖҰШ қолданудың қазіргі жай-күйін талдау және оның тиімділігін арттыру жөніндегі зерттеулер;

- зертханалық жұмыстарды жүргізу;

- статистикалық деректерді жинау және талдау;

- зерттеу нәтижелерін өңдеу және ұсыныстар беру.

**Қорғауға шығарылатын ережелер:**

- жұмыс ерітіндісін айдау ұңғымасына бергенге дейін белсендіру өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің жоғарылауына әкеледі және реагент шығынын азайтады;

- жұмыс ерітіндісінің белсенділігін арттыру үшін тек күкірт қышқылын белсендіру жеткілікті, бұл шаймалаудың энергия шығындарын азайтады;

- өнімді ерітіндідегі уранның мөлшері жұмыс ерітіндісінің белсену дәрежесіне және реагент концентрациясына байланысты болады, бұл реагент

концентрациясына байланысты ерітіндінің белсену дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді;

- уақыт өте келе ерітіндінің бастапқы белсенділігі 30 күнге дейін сақталады.

**Диссертацияның практикалық маңыздылығы** өнімді ерітіндідегі уранның мөлшерін жоғарылату және реагент шығынын азайту үшін жұмыс ерітіндісін механикалық белсендіру технологиясын жасау.

**Автордың жеке қосқан үлесі.**

- жерасты ұңғымалық шаймалаудың тиімділігін арттыру бойынша мәселелер мен зерттеулердің қазіргі жай-күйін талдау;

- зертханалық жұмыстарды жүргізу әдістемесін әзірлеуге қатысу;

- белсендірілген ерітіндінің уранды ЖҰШ көрсеткіштеріне әсерін анықтау бойынша зертханалық жұмыстарды жүргізуге қатысу;

- сызбаларды әзірлеу және белсендіргіш қондырғысын дайындауға қатысу;

- зерттеу нәтижелерін өңдеу және ұсыныстар беру.

**Жұмыстың жарияланымдары және апробациясы.** Жұмыс

Жұмыс нәтижелері халықаралық ғылыми – техникалық және ғылыми-практикалық конференцияларда баяндалды:

- «Инновациялық технологиялар - ҚР экономикасының кен-байыту және мұнай-газ секторларының негізгі және қолданбалы мәселелерін табысты шешудің кілті» тақырыбындағы Сәтпаев оқулары 2019 (жыл);

- тау-кен өнеркәсібі, құрылыс және энергетика мәселелері бойынша 15-ші Халықаралық конференцияның ғылыми еңбектер жинағы. Минск-Тула-Донецк, 29-30 қазан 2019 ж.;

- Сәтбаев оқулары 2020-2021 "Кенді және бикен қазбаларды игеру" тақырыбында; 2021 жыл.

Жарияланымдар "Қазақстанның Тау-кен журналы" (Алматы, 2021), "Қазақстанның ғылым жаңалықтары" (Алматы, 2021) журналдарында, сондай-ақ "Mining of mineral deposits" (Днепр, 2019), «Известия» ҚР ҰҒА (Алматы 2021), «Уголь» (Мәскеу) рейтингтік журналында жарияланған мақалаларды қамтиды.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі: Диссертация кіріспеден, 3 тараудан, қорытындыдан, 14 атаудан тұратын библиографиялық тізімнен тұрады және машинамен басылған мәтіннің 63 парағынан, 35 суреттен, 13 кестеден, 5 формуладан тұрады.

## Негізгі бөлім

Мыңқұдық кенорны Шу-Сарысу провинцияларының орталық бөлігінде орналасқан Орталық учаске.

Шиелі кенті 240 км жерде орналасқан ең жақын темір жол станциясы болып табылады. Темір жол станцияларымен және жұмыс ауданымен байланыс арнайы автокөлікпен жүргізіледі. Мыңқұдық кенорнына жақын маңда елді мекендер жоқ. Ең жақын елді мекендер – 96 км қашықтықта орналасқан Қыземшек ауылы және 70 км қашықтықта орналасқан Тайқоңыр ауылы.

Мыңқұдық кен орнының минералогиялық құрамы бойынша әсіресе Мыңқұдық горизонты және Орталық учаскесінің кендері, ол коффинит – настуранды болып табылады. Орталық учаскеге 1-кестеде келтірілген Мыңқұдық горизонтында локализацияланған 8 және 10 шоғырлар кіреді.,

1-кесте - Мыңқұдық кенорнының Орталық учаскесінің кен шоғырлары мөлшерінің сипаттамасы

Кен шоғырларының нөмері	Профилдер интервалы		Созылымы, км	Кен шоғырының ені, м		Кен шоғыры табанының жату тереңдігі, м	Төменгі су бөгетіне қатысты жағдайы, шоғырдың ауданына % - бен		Кенорны бойынша жалпы қорлардың үлесі, в %
	от	до		от	до		10м кем	10м жоғары	
8	288	212	8,8	50	130 0	305-345	82	18	9,2
10	212	48/1	26,4	50	800	340-365	84	16	27,1
18	48/1	620	1,1	50	320	300-315	65	35	0,3
Аймақ бойынша жиынтығы			36,3				77	23	36,6

Уранның құрамы мен кен денелерінің қуаты кең шектерде өзгереді: тиісінше 0,015-тен 0,177% - ға дейін және 0,90-дан 16,80 м-ге дейін.

01.10.2018 жылғы жағдай бойынша "Мыңқұдық" кенорнының "Орталық" учаскесінде белсенді сілтісіздендіру кезеңінде 70 технологиялық блок жұмыс істейді, оның ішінде 58 технологиялық блок (технологиялық блоктарды біріктіруді есепке алмағандағы деректер) гексоганальды сұлбамен ашылды, ал 12 технологиялық блок қатарлы сұлбамен ашылды.

Кен денелерінің морфологиялық параметрлерін, ұңғымаларды орналастырудың қабылданған желісін, кендердің заттық құрамын және жанас

жыныстарды, өнімді горизонттың су-физикалық қасиеттерін негізге ала отырып, қышқылдандыру уранның өнеркәсіптік концентрациясы (40 – 50 мг/л) және  $pH < 3$  өнімді ерітінділерді алу үшін, ұзақтығы 1,3-тен 4,7 айға дейін күкірт қышқылының концентрациясы 25 г/л дейінгі шаймалау ерітінділерімен жүргізілетін болады.

Кенорнындағы тәжірибелік-эксперименттік жұмыстардың нәтижелері бойынша айдау ұңғымаларының дебиті 5,8-ден 7,2 м<sup>3</sup>/сағатқа дейін өзгереді; бұл ретте айдаудың қабылдау қабілеті 2-4 м<sup>3</sup>/сағ. құрайды.

Белсенді сілтісіздендіру кезеңі уранның өнімді ерітіндіге өту қарқындылығымен және оны айдау ұңғымаларына ауыстырумен белгіленеді.

Бұл кезеңде күкірт қышқылының жұмыс ерітінділерінің концентрациясын кенорнында 6 – 8 г/л деңгейінде сақтау керек, сонымен бірге күкірт қышқылының құрамын көрсетілген шектерде өзгерте отырып, өнімді ерітінділерде  $pH$ -ты 2,0-2,2 бірлік деңгейінде ұстап тұру керек.

Осы кенорындарында шаймалау технологиясын талдау күкірт қышқылы концентрациясының 25-26 г/л-ге дейін артуымен өнімді ерітіндідегі уран құрамының 220 мг/л-ге дейін артқаны байқалады, шаймалау ерітіндісінің қышқылдығы 8-10 г/л деңгейіне дейін төмендегеннен кейін өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің төмендеуі байқалады.

Уранды шаймалау үшін күкірт, азот және тұз қышқылдары, сода, натрий бикарбонаты (бикарбонат тұздары) және аммоний карбонаты (көмір қышқылының тұздары мен эфирлері) қолданылады. Шаймалау шикізаттың көп мөлшерін өңдеумен байланысты болғандықтан, шаймалау реагенттерінің құны түпкілікті өнімнің өзіндік құнына айтарлықтай әсер етеді. Өндіруші кәсіпорындарда қышқылға жұмсалатын шығынды азайту үшін көптеген тәжірибелер жүргізіледі, өйткені реагенттерге жұмсалатын шығындар шаймалауды пайдалану шығындарының 27-45% -ын құрайды.

## **Зерттеу бөлімі**

Реагент шығынын азайту үшін әртүрлі технологиялық шешімдер қолданылады, олар қолданудың қымбаттылығы және технологиялық қиындықтарымен ерекшеленеді. Сондықтан, жұмыс ерітіндісін механикалық белсендіру технологиясы ұсынылады, бұл оның химиялық белсенділігін арттыруға мүмкіндік береді және төмен күрделі және пайдалану шығындарымен сипатталады.

Белсендірудің сілтілендіргіш ерітіндінің белсенділігіне әсерін зерттеу барысында реактивтің белсенділігінің өзгеруінің негізгі себебі неде, бүкіл сілтілендіргіш ерітіндіні белсендіру керек пе, жоқ па деген сұрақ туындады, өйткені бүкіл сілтілендіргіш ерітіндіні белсендіру айтарлықтай материалдық шығындарды талап етеді. Бұл сұрақ әсіресе күкірт қышқылының белсендірілуінің әсерінен айқын ыдырағаннан кейін маңызды болды.

Белсендірудің нақты әрекетін анықтау үшін эксперимент жүргізілді, әдеттегі технология бойынша су мен күкірт қышқылынан сілтілендіргіш ерітінді дайындалып, оның белсенділігі әдеттегі әдіспен тексерілді. Екінші

ерітінді 5 минут ішінде алдын-ала белсендірілген сумен дайындалды. Зерттеулер 10 г/л қышқылы бар ерітінділерде жүргізілді.

Белсендіру әсерін алу үшін біз белсендіру қондырғысын жасадық (1-сурет). Зертханалық қондырғы электр жетегі бар орталықтан тепкіш сорғы (НС), ағынды активатор (R), құбыр, ыдыс (V), ағызу краны (Кі) кіретін жабық тізбектен тұрады.



1 сурет - Зертханалық белсендіру қондырғысы

Базалық ерітінділермен шаймалау кезінде шаймалау уақыты бойынша уранның мөлшері 4,27 мг/л-ден 4,58 мг/л-ге дейін артады, содан кейін тек суды белсендіру кезінде, алдымен базалық ерітіндімен салыстырғанда уранның мөлшері 4,27 мг/л-ден 4,16 мг/л-ге дейін төмендейді. Содан кейін ерітінді 2 сағат бойы ұсталғаннан кейін оның белсенділігі бастапқы ерітіндінің қасиеттеріне жақындағанда қалпына келеді.

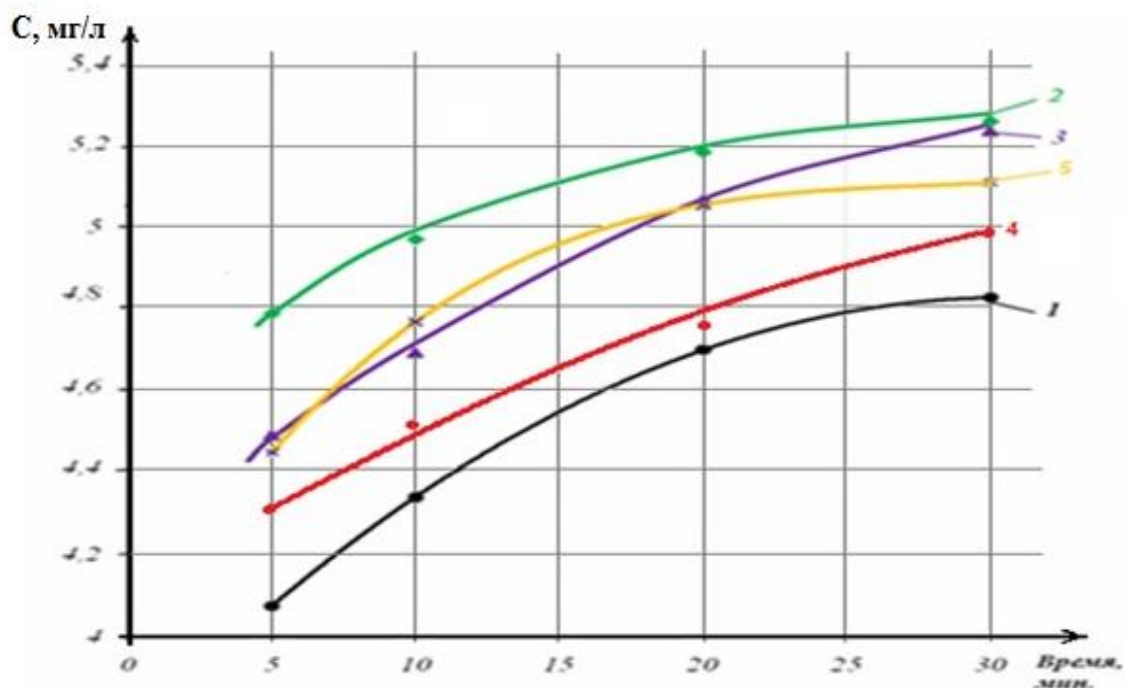
Қондырғыға шамамен 1,5 литр қышқыл құйылып, 5 минут ішінде өңделді. Содан кейін, белсендірілген қышқылдан құрамы 10 г/л ерітінді дайындалды және шаймалау кезінде оның белсенділігін тексерілді. Нәтижелер қышқылды алдын-ала белсендірусіз дәл осындай экспериментпен салыстырылды.

Базалық ерітіндімен шаймалау кезінде және шаймалау уақытының 30 минутқа дейін ұлғаюымен ерітіндідегі уран құрамының 4,08 мг/л-ден 4,70 мг/л-ге дейін жоғарылауы байқалады, ал белсендірілген ерітіндімен шаймалау кезінде белсендірілгеннен кейін бірден тиісінше 4,78 мг/л-ден 5,23 мг/л-ге дейін жоғарылауы байқалады.

Ерітінділердегі уран құрамын өлшеу нәтижелерін салыстыру, тек суды және тек күкірт қышқылын белсендіру кезінде белсенділік 14% - ға артқанын көрсетті. Сондықтан, өнеркәсіптік жағдайда барлық сілтілендіретін ерітіндіні механикалық белсендірудің қажеті жоқ, тек қуаттандыратын концентрацияланған күкірт қышқылын белсендірумен шектелуі қажет. Бұл энергия шығындарын күрт төмендетеді.

Бұдан әрі, өнімді ерітіндідегі уран мөлшерін сілтілеу ерітіндісін белсендіру дәрежесіне, реакция уақыты және ерітіндіні уақыт өткеннен кейінгі ықпалын зертханалық жұмыстар жасалды.

Сонымен қатар, сілтілендіретін ерітіндінің белсену дәрежесі 3, 5 және 10 минут, реакция уақыты 5,10,20 және 30 минут, ал белсендірілгеннен кейін ерітіндіні ұстау уақыты 2 сағаттан кейін, 24 сағаттан кейін және 30 күннен кейін өзгеріп отырды. Белсендіргішпен 3, 5 және 10 минут ішінде өңдегеннен кейін реакция уақыты мен ерітіндінің әсеріне байланысты өнімді ерітіндідегі уран құрамының өзгеруі 2,3,4-суреттерде келтірілген.

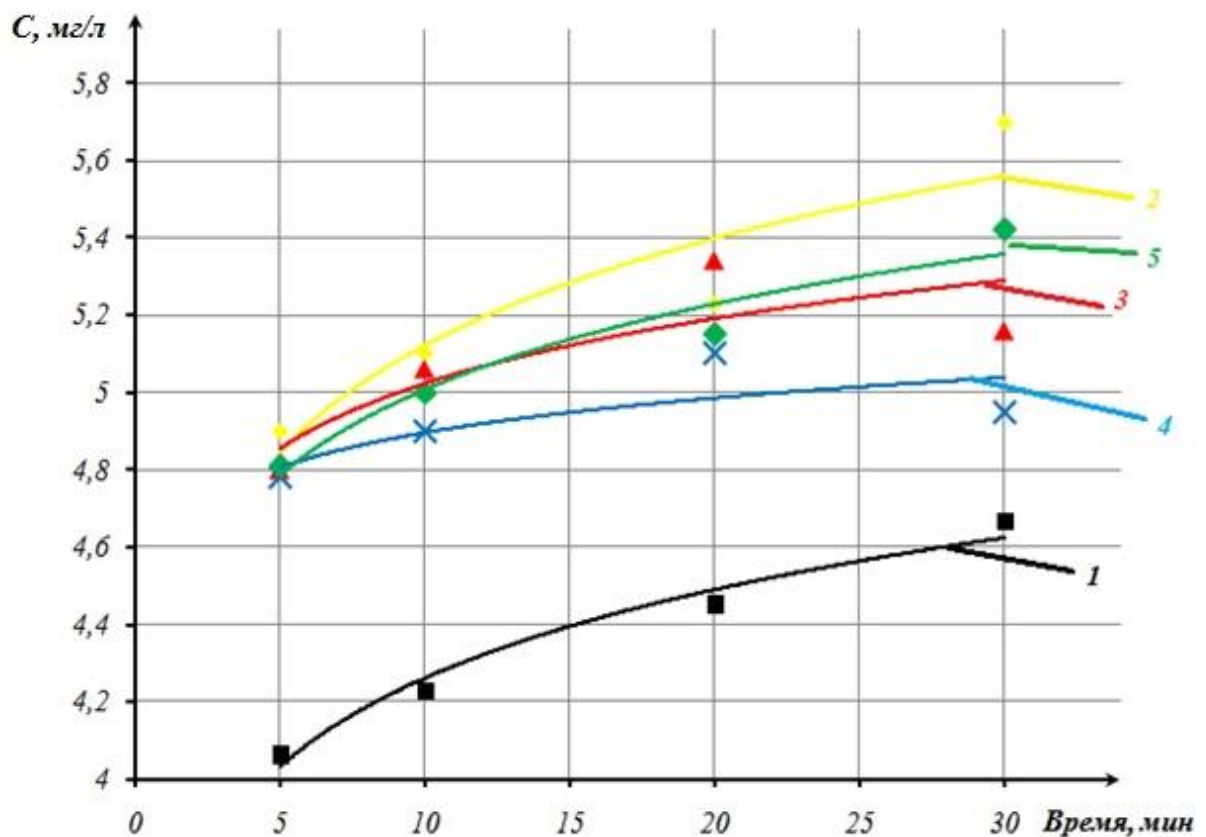


1 – ерітіндінің бастапқы күйі (өңдеуге дейін); 2 - өңдеуден кейін;  
3 - өңдеуден соң 2 сағаттан кейін; 4 - 24 сағаттан кейін; 5 - 30 күннен кейін

2 сурет - Өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің реакция уақытына және ерітіндіні белсендіргішпен 3 минут өңдегеннен кейінгі ұстау уақытына байланысты өзгеруі

Талдаудан ерітіндідегі уран құрамындағы ең үлкен өзгерістер шаймалау уақыты 5 минут (17%) кезінде байқалады, содан кейін бұл айырмашылық төмендейді. Уақытта ұстаудан кейін ерітіндінің белсенділігінің айтарлықтай төмендеуі болған жоқ. Белсендірілгеннен кейін ерітіндінің ұстау уақыты 30 күнге дейін артқанда, өнімді ерітіндідегі уран мөлшері аздап төмендейді, яғни ерітіндінің белсенділігі сақталады.

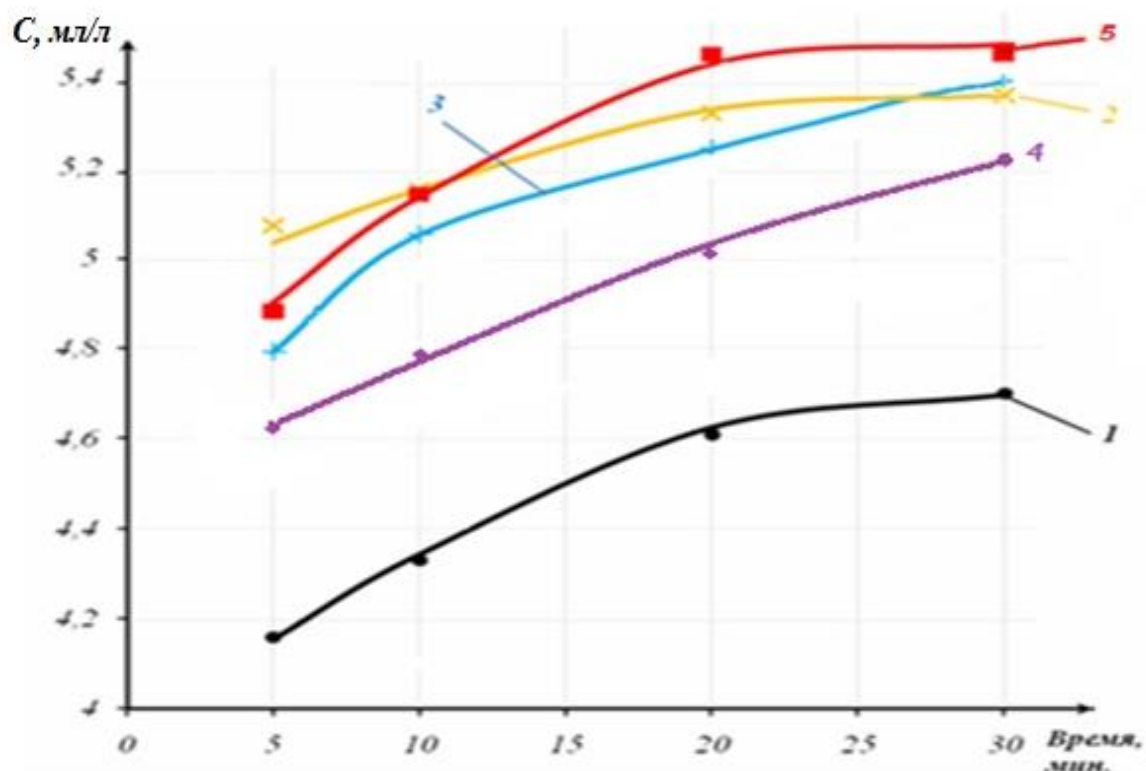




1 – ерітіндінің бастапқы күйі (өңдеуге дейін); 2-өңдеуден кейін;  
3-өңдеуден соң 2 сағаттан кейін; 4 – 24 сағаттан кейін; 5-30 күннен кейін.

3 сурет - Белсендіргішпен 5 минут бойы өңдеуден кейін ерітіндінің реакция уақыты мен ұстау уақытына байланысты өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің өзгеруі

Зерттеулер көрсеткендей, бастапқыда ерітіндінің белсенділігі 5 минуттық шаймалау кезінде 20,5% - ға, ал 10 минуттан кейін 21% - ға өсті. Сонымен қатар, уақыт өте келе 30 күнге дейін белсендірілгеннен кейін ерітіндінің белсенділігінің аздап төмендеуі байқалады. Жалпы, электролитті белсендіргішпен бірден өңдегеннен кейін, бастапқы белсенділік 30 күн бойы тұрақты болып қалады деп болжауға болады.



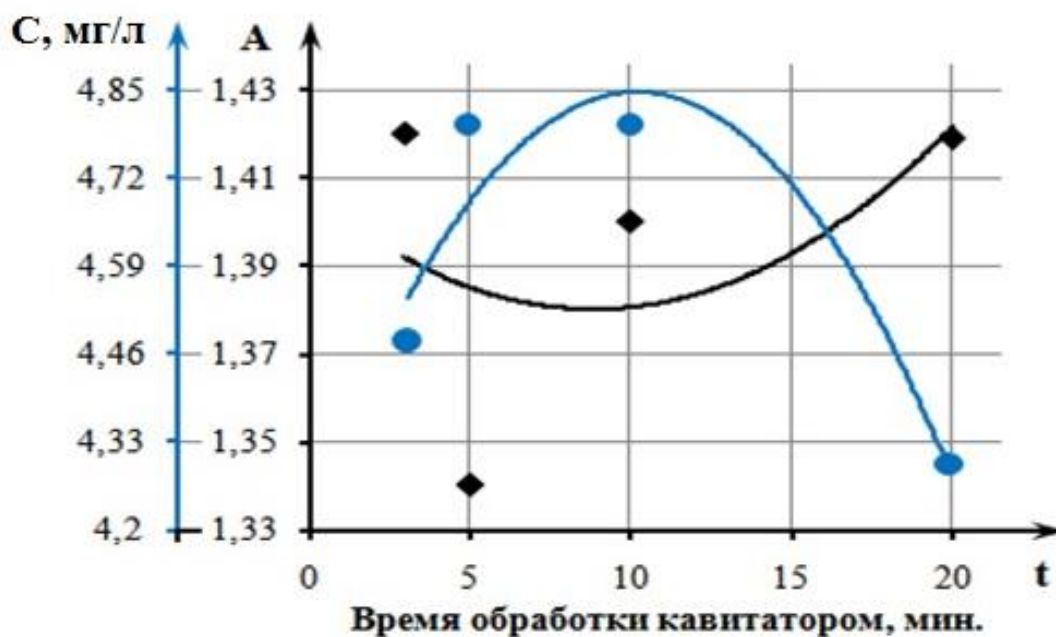
1 – ерітіндінің бастапқы күйі (өңдеуге дейін); 2-өңдеуден кейін;  
3 - өңдеуден соң 2 сағат өткен кейін; 4 - 24 сағаттан кейін; 5 - 30 күннен кейін

4 сурет - Белсендіргішпен 10 минут бойы өңдеуден кейін ерітіндінің реакция уақыты мен ұстау уақытына байланысты өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің өзгеруі

Ерітіндіні өңдеу уақытының 10 минутқа дейін артуы шаймалау реакциясын жүргізудің 5 минутында белсенділіктің 25% - ға өсуіне әкелді. Ерітіндіні өңдеу кезінде күкірт газының айтарлықтай бөлінуі орын алды. Бұл күкірт қышқылының айтарлықтай булануына байланысты емес. 2 сағат ішінде ерітіндінің белсенділігі 8,0%-ға дейін төмендеді және ұзақ уақыт бойы осы күйде қалды.

Зерттеулер белсендіру әсерін пайдалану өнімді ерітіндідегі пайдалы компоненттің жоғарылауына әкелетінін анықтады. Алайда, жүргізілген зерттеулер барысында белсендіру уақыты артқан сайын өнімді ерітіндінің тығыздығы артуына алып келетіні анықталды, бұл ерітіндінің гравитациялық түсінуіне ықпалын тигізеді. Осы зерттеуді өңдеу арқылы өнімді ерітіндідегі шартты металдың тығыздығы мен құрамының өзгеру графигі алынды.

Ерітіндіні белсендіргішпен 3 минут бойы өңдеген кезде ерітіндінің тығыздығы 1,42 м<sup>3</sup>/т құрайды, активтендіру уақыты 5 минутқа дейін өскен кезде тығыздықтың 1,34 м<sup>3</sup>/т дейін төмендеуіне, ал белсендіру уақытының 10 – 20 минутқа дейін одан әрі артуы ерітіндінің тығыздығын 1,42 м<sup>3</sup>/т дейін арттыруға әкелді.



4 сурет - Реакция уақыты 5 мин болғанда өнімді ерітіндідегі (С, мг/л) уран тығыздығының (А) және мөлшерінің өзгеру графигі.

Белсенді емес ерітіндімен және белсендірілген ерітіндімен 5 минут ішінде және реакция уақыты 5 минут бойына зерттеулер жүргізген кезде шаймалау ерітіндісінің тығыздығы тиісінше,  $1,32 \text{ м}^3/\text{т}$  және  $1,34 \text{ м}^3/\text{т}$  құрайды, ал өнімді ерітіндідегі пайдалы компоненттің мөлшері тиісінше  $4,06 \text{ мг/л}$  және  $4,48 \text{ мг/л}$  құрайды. Реакция уақыты 10 минут болғанда, белсенді ерітіндідегі пайдалы компоненттің мөлшері 19% - ға жоғары.

## Қорытынды

1. Жерасты ұңғымалармен шаймалау шикізаттың көп мөлшерін өңдеумен байланысты, шаймалау реагенттерінің құны түпкілікті өнімнің өзіндік құнына айтарлықтай әсер етеді. Реагент шығынын азайту үшін әртүрлі технологиялық шешімдер қолданылады, олар қымбат және оларды қолдану технологиялық қиындықтарымен ерекшеленеді.

2. Жұмыс ерітіндісін механикалық белсендіру технологиясы жасалды, бұл оның химиялық белсенділігін арттыруға мүмкіндік береді және төмен күрделі және пайдалану шығындарымен сипатталады.

3. Шаймалау ерітіндісін белсендіру үшін өнім беретін ерітіндіні қуаттандырудан бұрын, тек күкірт қышқылын өңдеуді жүргізу ұсынылады. Ерітінділердегі уран мөлшерін өлшеу нәтижелерін салыстыру, тек су мен күкірт қышқылын белсендіру кезінде белсенділік 14% - ға артқанын көрсетті. Сондықтан, өнеркәсіптік жағдайда барлық сілтілендіретін ерітіндіні механикалық белсендірудің қажеті жоқ, тек қуаттандырушы концентрацияланған күкірт қышқылын белсендірумен шектелу қажет. Осылайша, өңделген ерітіндінің көлемі және белсендіргішті жасау және пайдалану шығындары азаяды.

4. Өнімді ерітіндідегі уран мөлшерінің жұмыс ерітіндісінің белсену дәрежесіне және белсендірілгеннен кейінгі уақытқа тәуелділігі алынды, бұл ерітіндінің белсену дәрежесін оны тасымалдау қашықтығына байланысты реттеуге мүмкіндік береді. Мысалы, ерітіндінің белсенуі өнімді ерітіндідегі пайдалы компоненттің құрамының 18-ден 26% - ға дейін артуына әкеледі және оның белсенділігі ұзақ уақыт (30 күнге дейін) сақталады.

5. Белсендірілмеген ерітіндімен және белсендірілген ерітіндімен зерттеулер жүргізген кезде, сілтілеу ерітіндінің тығыздығы айтарлықтай өзгермейді, өнімді ерітіндінің гравитациялық түсуіне көп әсер етпейді.

6. Бұл технологияны өндірістік жағдайда қолдану үшін белсендіргіш қондырғы жасалады, ол қондырғы «Орталық Мыңқұдық» кенорнының 8-9-3 блогына орнатылған. Өнімді ерітіндідегі уран мөлшері 8% нақты өсуді көрсетті.

7. Күтілетін экономикалық тиімділік сілтілеу ерітіндіні белсендіру технологиясын қолдану жағдайында блок қорларын өңдеу мерзімін қысқарту есебінен және күкірт қышқылы мен электр энергиясы шығынын азайтуды ескере отырып есептелген. 278,7 тонна уран қоры бар бір технологиялық блокқа 24 831 364 теңгені әсерді құрайды.

