Код МРНТИ 52.13.15

А. М. Габитова[1], *З. Ж. Абдрашева[1], З. К. Тунгушбаева[2], Е. А. Абеуов[3]

[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан),

[2]РМК «ҚР МШКӨ ҰО» «ШҒЗТКМИтүстімет» (Өскемен қ.,Қазақстан),

[3]Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

БАЙЫТУ ҚАЛДЫҚТАРЫН ЖОҒАРЫ ТЫҒЫЗДЫҚТА ДАЙЫНДАУ ЖӘНЕ ҚАЗЫЛҒАН КЕҢІСТІКТІ ТОЛТЫРУҒА ҚОЛДАНУДЫ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕУ

Аңдатпа. Жұмыста байыту қалдықтарын жоғары тығыздықта дайындау және оларды қазылған кеңістікті толтыруда қолдану технологиясы негізделді. Зерттеудің мақсаты – қоюландыру, гранулометриялық құрам, реологиялық қасиеттер, байланыстырғыш шығыны және жасанды массивтің нормативтік беріктігі арасындағы өзара байланысты анықтау. Салыстырмалы, құрылымдық-технологиялық және параметрлік талдау әдістері, сондай-ақ цементті және цемент-күлді қоспалардың зертханалық сынақ нәтижелері пайдаланылды. Жоғары тығыздықтағы толтырма цемент шығынын 15–35%-ға дейін азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды. Артемьев кеніші үшін тығыздығы 1860–1963 кг/м³, беріктігі 1–4 МПа болатын базалық толтырма құрамдары талданды. Жұмыстың жаңалығы – қоюландыру, реологияны реттеу, байланыстырғышты мөлшерлеу, тасымалдау және жасанды массивті қалыптастыру кезеңдерін бірыңғай технологиялық сұлбаға біріктіру.

Түйінді сөздер: *байыту қалдықтары, жоғары тығыздықтағы толтырма, пасталық толтырма, қазылған кеңістік, қоюландыру, реология, цемент-күлді байланыстырғыш, құбыржолдық тасымалдау, жасанды массивтің беріктігі.*

Scientific and technical justification of high-density mineral tailings preparation for mine backfill

Abstract. The study substantiates a technology for preparing and applying high-density mineral processing tailings for backfilling mined-out areas. The aim is to establish relationships among thickening parameters, particle-size distribution, rheological properties, binder consumption, and the required strength of the artificial backfill mass. Comparative, structural-technological, and parametric analyses were applied using laboratory data on cement and cement-fly ash backfill mixtures. High-density backfill was shown to reduce cement consumption by 15–35%. For the Artemyevsky mine, baseline backfill mixtures with densities of 1860–1963 kg/m³ and strengths of 1–4 MPa were analyzed. The novelty lies in integrating thickening, rheology control, binder dosing, transportation, and artificial backfill mass formation into a unified technological scheme.

Keywords: *mineral processing tailings, high-density backfill, paste backfill, mined-out area, thickening, rheology, cement-fly ash binder, pipeline transport, strength of the artificial backfill mass.*

Научно-техническое обоснование подготовки и применения высокоплотных хвостов обогащения для закладки выработанного пространства

Аннотация. В работе обоснована технология подготовки и применения высокоплотных хвостов обогащения для закладки выработанного пространства. Цель исследования — установить взаимосвязь параметров сгущения, гранулометрического состава, реологических свойств, расхода вяжущего и нормативной прочности искусственного массива. Применены сравнительный, структурно-технологический и параметрический методы анализа, а также результаты лабораторных испытаний цементных и цементно-зольных закладочных смесей. Установлено, что применение высокоплотной закладки позволяет снизить расход цемента на 15–35%. Для Артемьевского рудника проанализированы базовые составы плотностью 1860–1963 кг/м³ и прочностью 1–4 МПа. Научная новизна состоит в объединении стадий сгущения, регулирования реологии, дозирования вяжущего, транспортирования и формирования искусственного массива в единую технологическую схему.

Ключевые слова: *хвосты обогащения, высокоплотная закладка, пастовая закладка, выработанное пространство, сгущение, реология, цементно-зольное вяжущее, трубопроводный транспорт, прочность искусственного массива.*

Кіріспе

Полиметалл кен орындарын қазылған кеңістікті толтыру жүйелерімен игеру геомеханикалық және экологиялық міндеттерді бір мезгілде шешуге мүмкіндік береді. Байыту қалдықтарын жинақтау және олармен байланысты техногендік объектілерді басқару тау-кен өндірісіндегі маңызды технологиялық міндеттердің бірі болып табылады [1]. Сонымен қатар, толтыру жұмыстары материалдық және еңбек ресурстарын көп қажет ететін үдерістер қатарына жатады. ШҒЗТКМИтүстімет деректері бойынша, толтыру жұмыстарына 1 т кен өндіруге жұмсалатын жалпы еңбек шығындарының 30%-ына дейінгі бөлігі тиесілі болуы мүмкін, ал цементке жұмсалатын шығындар 1 м³ толтырма қоспасын дайындаудың өзіндік құнының 60–70%-ын құрайды [2]. Осыған байланысты толтырма қоспасының тасымалданғыштығы мен нормативтік беріктігін қамтамасыз ете отырып, байланыстырғыш материал шығынын азайту толтыру технологияларын жетілдірудің негізгі міндеттерінің бірі болып табылады.

Байыту қалдықтарын басқарудың заманауи тәсілі сұйылтылған пульпалардан қоюландырылған және паста тәрізді жүйелерге көшуді көздейді. Паста тәрізді толтырма жүйелері қатты фазаның жоғары мөлшерімен, судың шектеулі бөлінуімен және сегрегацияға тұрақтылығымен сипатталады; олардың ағындық қасиеттері қоюландыру дәрежесіне және гранулометриялық құрамға тәуелді. Жерасты қазбаларын толтыру үшін мұндай көшу ерекше маңызға ие, өйткені бұл жағдайда байыту қалдықтары тек өндірістік қалдық ретінде ғана емес, сонымен қатар жасанды массивтің негізгі минералдық құрамдас бөлігі ретінде де пайдаланылады.

Зерттеудің мақсаты — байыту қалдықтарын қоюландыру және олардың реологиялық қасиеттері жөніндегі деректерді Қазақстанның жерасты кеніштеріне арналған жоғары тығыздықтағы қатайғыш толтырма қоспаларының құрамдарын зерттеу нәтижелерімен біріктіру арқылы қазылған кеңістікті толтыру үшін жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтарын дайындау және қолданудың технологиялық реттілігін негіздеу.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеудің ақпараттық және тәжірибелік базасы ретінде жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтарын дайындау, қоюландыру, тасымалдау және реологиялық қасиеттерін зерттеуге арналған ғылыми еңбектер мен ШҒЗТКМИтүстіметтің қорытынды ғылыми-зерттеу есебіндегі зертханалық-технологиялық деректер пайдаланылды [3]. Жаңа зертханалық сынақтар жүргізілген жоқ; есептегі экспери-

менттік нәтижелер салыстырмалы, құрылымдық-технологиялық және параметрлік талдаудың бастапқы деректері ретінде қабылданды.

ШҒЗТКМИтүстімет зерттеулерінде М400 портландцементі, байыту қалдықтары, байыту фабрикасының жеңіл фракциясы, ұсақталған тау жынысы, құм және технологиялық су қолданылған. Қоспаның жылжымалылығы СтройЦНИИЛ конусымен, тығыздығы стандартты әдістермен, шекті ығысу кернеуі Штренберг аспабымен анықталған, ал беріктігі 70 × 70 × 70 мм текше үлгілерде бағаланған.

Талдауда беріктігі арттырылған, пасталық және сусыздандырылған жоғары тығыздықтағы толтыру нұсқалары қарастырылды. Салыстырылатын негізгі параметрлер: ылғалдылық, тығыздық, цемент шығыны, гранулометриялық құрам, реологиялық қасиеттер, тасымалданғыштық және жасанды массивтің беріктігі. Артемьев кеніші үшін цементті және цемент-күлді құрамдардың шығындары, тығыздығы және 28 және 90 тәуліктегі беріктік көрсеткіштері салыстырылды. Паста тәрізді жүйелердің ағындық қасиеттерін сипаттау үшін Гершель-Балкли реологиялық моделі пайдаланылды [3]:

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n, \qquad (1)$$

мұндағы τ — ығысу кернеуі, Па;

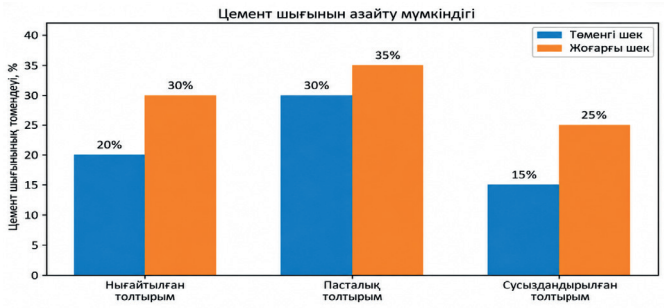
τ_0 — бастапқы ығысу кернеуі, Па;

k — консистенция коэффициенті, Па·с^n;

$\dot{\gamma}$ —ығысу жылдамдығы, с$^{-1}$;

n — ағын индексі.

(1) теңдеуге сәйкес, паста тәрізді қоспаның реологиялық мінез-құлқы бастапқы ығысу кернеуі, консистенция коэффициенті және ағын индексі арқылы сипатталады. Бұл параметрлер қоспаның жылжымалылығын, құбыржол арқылы айдалу қабілетін және тасымалдау кезіндегі гидравликалық кедергілерді бағалау кезінде ескеріледі.



Сурет 1. Зерттеу нәтижелері бойынша цемент шығынын азайту мүмкіндігін салыстыру [2].
Figure 1. Comparison of the potential for reducing cement consumption based on the research results [2].
Рис. 1. Сопоставление потенциала снижения расхода цемента по данным исследований [2].

Зерттеу нәтижелері

Паста тәрізді күйдің параметрлері және байыту қалдықтарын дайындау

Зерттеу есебінің деректері бойынша пасталық толтырым 18–22% ылғалдылықпен және толтырғыш массасына шаққанда 4–10% цемент мөлшерімен сипатталады. Толтырғыш ретінде 0–0,5 мм ұсақ флотациялық қалдықтар немесе олардың 3–30 мм ірі толтырғышпен қоспасы қарастырылған. Қоспаның қажетті иілімділігін қамтамасыз ететін шамамен 20 мкм бөлшектердің үлесі қатты фазаның 15–20%-ын құрайды. Ұсақ дисперсті материал мен қатты фаза мөлшері қоспаның су бөлуіне, сегрегацияға тұрақтылығына және реологиялық қасиеттеріне елеулі әсер етеді [4].

Практикалық талдау Артемьев кенішінің екінші кезегіне арналған қоспа құрамдарына негізделген. Төмен бағытта қабаттап қазу жүйесінде өңделген кеңістік аралығы 4 м болғанда қалыңдығы 1,5 м көтергіш қабаттың норма-

Кесте 1

Жоғары тығыздықтағы толтырудың технологиялық нұсқаларының салыстырмалы сипаттамасы [3]

Table 1

Comparative characteristics of high-density backfill technology options [3]

Таблица 1

Сравнительная характеристика технологических вариантов высокоплотной закладки [3]

Нұсқа	Негізгі сипаттамасы	Тығыздық/ылғалдылық көрсеткіші	Цемент шығынына әсері	Тасымалдау ерекшеліктері
Нығайтылған	Құйма қатайғыш қоспа + ірі толтырғыш	Су-цемент қатынасының төмен мәні (С/Ц)	200 → 140–160 кг/м³	Өздігінен ағатын/аралас тасымалдау
Пасталық	0–0,5 мм фракциялы ұсақ байыту қалдықтары, ірі толтырғышпен бірге қолданылуы мүмкін	Ылғалдылығы18–22%	30–35%-ға төмендету	Мәжбүрлі құбыржолдық тасымалдау
Сусыздандырылған	Төсеу алдында судың бір бөлігін шығару	Жылжымалылығы > 15 см орнына 10–12 см	15–25%-ке төмендету	Өздігінен ағу арқылы тасымалдау сақталады

тивтік беріктігі кемінде 4–4,5 МПа, ал тік ашылым биіктігі 4–5 м болатын төмендетілген беріктіктегі қабат үшін 0,7–1,0 МПа деп қабылданған [2]. Бұл толтырма құрамын жасанды массив қабатының функционалдық мақсатына қарай саралап таңдаудың қажеттілігін көрсетеді.

2-кесте деректерін салыстыру Ақсу ЖЭО және Екібастұз ГРЭС-1 ұшпа күлдері қолданылған толтырма қоспаларында цемент пен күл шығыны бірдей болғанымен, су мен тау жынысының мөлшеріне байланысты қоспа тығыздығында айырмашылықтар қалыптасатынын көрсетеді. Қабаттап өрлеу жүйесіне арналған негізгі толтырымда Ақсу ЖЭО күлі қолданылған қоспаның тығыздығы 1920 кг/м³, ал Екібастұз ГРЭС-1 күлі қолданылған нұсқада 1860 кг/м³ құрайды. Қабатаралық-камералық жүйедегі көтергіш қабат үшін екі құрамның көрсеткіштері іс жүзінде бірдей: тиісінше 1962 және 1963 кг/м³. Негізгі толтырым үшін Ақсу ЖЭО күлі негізіндегі құрамның тығыздығы 1960 кг/м³, ал Екібастұз ГРЭС-1 күлі қолданылған құрамда 1943 кг/м³ болды. Барлық қарастырылған нұсқаларда қабаттың функционалдық мақсатына сәйкес 1–4 МПа деңгейіндегі нормативтік беріктік қамтамасыз етіледі.

Кесте 2

Артемьев кенішіне арналған Ақсу ЖЭО және Екібастұз ГРЭС-1 ұшпа күлдері негізіндегі толтырма қоспалары құрамдарының салыстырмалы сипаттамасы [4]

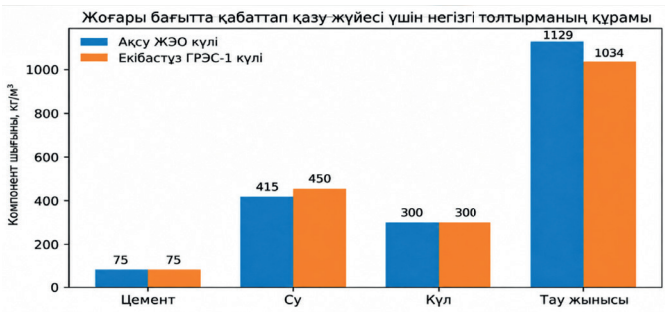
Table 2

Comparative characteristics of backfill mixture compositions based on fly ash from the Aksu TPP and Ekibastuz GRES-1 for the Artemyevsky mine [4]

Таблица 2

Сравнительная характеристика составов закладочных смесей на основе золы-уноса Аксуской ТЭС и Экибастузской ГРЭС-1 для Артемьевского рудника [4]

Қазымдау жүйесі	Тағайындау	Ұшпа күл көзі	Цемент, кг/м³	Су, кг/м³	Күл, кг/м³	Жыныс, кг/м³	Тығыздық, кг/м³	Беріктік
Қабаттап өрлеу	Негізгі толтырым	Ақсу ЖЭО	75	415	300	1129	1920	R28 = 1 МПа
		Екібастұз ГРЭС-1	75	450	300	1034	1860	R28 = 1 МПа
Қабатаралық-камералық	Көтергіш қабат	Ақсу ЖЭО	200	415	200	1147	1962	R90 = 4 МПа
		Екібастұз ГРЭС-1	200	415	200	1148	1963	R90 = 4 МПа
Қабатаралық-камералық	Негізгі толтырым	Ақсу ЖЭО	100	410	200	1250	1960	R90 = 2 МПа
		Екібастұз ГРЭС-1	100	420	200	1223	1943	R90 = 2 МПа
Қабаттық төмендеме	Көтергіш қабат	Ақсу ЖЭО	200	415	200	1147	1962	R90 = 4 МПа
		Екібастұз ГРЭС-1	200	415	200	1148	1963	R90 = 4 МПа
Қабаттық төмендеме	Қосымша құю	Ақсу ЖЭО	75	415	300	1129	1920	R28 = 1 МПа
		Екібастұз ГРЭС-1	75	415	300	1034	1860	R28 = 1 МПа



Сурет 2. Ақсу ЖЭО және Екібастұз ГРЭС-1 күлдерін қолданған негізгі толтырма компоненттері шығынының салыстырмасы.
Figure 2. Comparison of component consumption in the main backfill using ash from the Aksu TPP and Ekibastuz GRES-1.
Рис. 2. Сравнение расхода компонентов основной закладки с золой Аксуской ТЭС и Экибастузской ГРЭС-1.

Гранулометриялық құрамы және тасымалданғыштығы

Қоспаның тасымалданғыштығын және нормативтік беріктігін қамтамасыз ету мақсатында зерттеулерде шынайы тығыздығы 2,7 г/см³, шаңды және сазды бөлшектерінің мөлшері 3%-дан аспайтын Камышин карьерінің ұсақталған тау жынысы пайдаланылды. Тау жынысы ұсақталып, –15+2,5 мм және –2,5+0 мм фракциялары алынды [5]. Қоспаның тығыз қаңқасын қалыптастыру және цемент қамырына қажеттілікті азайту үшін оның гранулометриялық құрамын реттеу маңызды болып табылады.

Жүргізілген талдау жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтарын қолдану технологиясын өзара байланысты біртұтас жүйе ретінде қарастыру қажеттігін көрсетті. Алдымен қалдықтардың минералогиялық және гранулометриялық сипаттамалары анықталып, қатты фазаның қажетті мөлшеріне дейін қоюландыру немесе сусыздандыру жүргізіледі [6].

Кесте 3

Жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтарын толтырма қоспасына енгізу кезінде оңтайландырылатын негізгі параметрлер

Table 3

Key parameters to be optimized when incorporating high-density mineral processing tailings into the backfill mixture

Таблица 3

Основные параметры, подлежащие оптимизации при введении высокоплотных хвостов обогащения в состав закладочной смеси

Параметр	Базалық құрамдағы рөлі	Байыту қалдықтарын енгізген кезде ескерілетін фактор	Оңтайландыру критерийі
Байыту қалдықтарының гранулометриялық құрамы	Қоспаның түйіршіктік құрылымын қалыптастыру	Ұсақ дисперсті фракциялардың үлесі және түйіршіктердің таралуы	Тығыз және тұрақты құрылым қалыптастыру
Қатты фазаның мөлшері	Қоспаның тығыздығына әсер етеді	Қоюландыру дәрежесіне байланысты өзгереді	Тұрақты паста тәрізді күй
Су мөлшері	Қоспаның жылжымалылығын қамтамасыз етеді	Қоюландырылған қалдықтардың бастапқы ылғалдылығына байланысты түзетіледі	Сегрегациясыз тасымалдану
Цемент шығыны	Жасанды массивтің беріктігін қамтамасыз етеді	Қалдықтардың минералогиялық құрамына байланысты оңтайландырылады	Нормативтік беріктікті қамтамасыз ететін ең төменгі шығын
Үшпа күл	Қосымша минералдық компонент және цемент-күлді байланыстырғыштың құрамдас бөлігі	Байыту қалдықтарымен бірлескен әсері ескеріледі	Беріктік пен экономикалық тиімділіктің оңтайлы арақатынасы
Реологиялық қасиеттер	Құбыржол арқылы тасымалдауды анықтайды	Қатты фазаның мөлшері мен ұсақ бөлшектер үлесіне тәуелді	Рұқсат етілетін қысым жоғалуы және тұрақты ағын
Қоспа тығыздығы	Толтырманың құрылымдық сипаттамасын көрсетеді	Қалдықтардың концентрациясына байланысты өзгереді	Тасымалданғыштық пен беріктіктің оңтайлы үйлесімі
Беріктік	Толтырма массивінің қызметтік қабілетін анықтайды	Қоспа құрамы мен қатаю мерзіміне тәуелді	Қабаттың мақсатына сәйкес 28 және 90 тәуліктегі нормативтік беріктік

Кесте 4

Камышин карьерінің ұсақталған тау жынысының гранулометриялық құрамы [5]

Table 4

Particle size distribution of crushed rock from the Kamyshin quarry [5]

Таблица 4

Гранулометрический состав дробленой породы Камышинского карьера [5]

Материал/ қалдық	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	-0,071
–15+0 мм, жеке қалдық	44.7	21	9.9	9.1	5.1	3.7	2.4	2.5	1.6
–15+0 мм, толық қалдық	–	65.7	75.6	84.7	89.8	93.5	95.9	98.4	100
–2,5+0,071 мм, жеке қалдық	–	–	–	29.2	24.6	18.2	11.2	11.2	5.6
–2,5+0,071 мм, толық қалдық	–	–	–	–	53.8	72	83.2	94.4	100

Келесі кезеңде қоспа гомогенизацияланып, оның реологиялық қасиеттері реттеледі; қатты фазаның концентрациясы, жылжымалылық, аққыштық шегі және сегрегацияға тұрақтылығы бақыланады. Байланыстырғыш пен минералдық қоспалар мөлшері жасанды массивтің функционалдық мақсаты мен талап етілетін беріктігіне сәйкес белгіленеді.

Құбыржол арқылы тасымалдауда шығын, қысым, қашықтық және биіктік айырмасы ескеріледі, ал реологиялық параметрлер қоспаның тұрақты тасымалдануын қамтамасыз етуі тиіс. Соңғы кезеңде қазылған кеңістік толтырылып, жасанды массивтің 28 және 90 тәуліктегі беріктігі бақыланады [7].

Артемьев кеніші жағдайында бастапқы технологиялық регламент бойынша қоспаны тік бағытта тасымалдау тереңдігі шамамен 200 м, ал жалпы тасымалдау ұзындығы шамамен 500 м деп қабылданған. Толтырма қоспасын өндірудің жылдық көлемі шамамен 90 мың м³ құрайды [8]. Бұл көрсеткіштер жоғары тығыздықтағы қоспаның құрамын таңдауды тек беріктік талаптарымен ғана емес, құбыржол көлігінің гидравликалық параметрлерімен де өзара байланыстыру қажеттігін көрсетеді.



Сурет 3. Жоғары тығыздықтағы қалдықтарды дайындау және толтырма массивін қалыптастырудың ұсынылған интеграцияланған технологиялық сұлбасы.
Figure 3. Proposed integrated technological scheme for high-density tailings preparation and backfill mass formation.
Рис. 3. Предлагаемая интегрированная технологическая схема подготовки высокоплотных хвостов и формирования закладочного массива.

Жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтарын қолданған жағдайда қатты фазаның мөлшерін арттыру қоспаның тығыздығын жоғарылатумен қатар, оның реологиялық кедергісінің өсуіне әкелуі мүмкін . Сондықтан қоспа құрамын оңтайландыру кезінде тығыздық — реология — тасымалданғыштық – беріктік көрсеткіштері бір мезгілде ескерілуі тиіс.

Нәтижелерді талқылау

Алынған нәтижелер жоғары тығыздықтағы толтырманың тиімділігі өзара байланысты бірнеше параметрмен анықталатынын көрсетті. Байыту қалдықтарын қоюландыру бос судың мөлшерін азайтып, оларды қазылған кеңістікті толтыруға пайдалану мүмкіндігін арттырады. Алайда қатты фазаның концентрациясы өскен сайын қоспаның аққыштық шегі мен тұтқырлығы артып, құбыржол арқылы тасымалдауға кедергі жоғарылауы мүмкін.

Гранулометриялық құрамды оңтайландыру, су мөлшерін азайту және цемент-күлді байланыстырғышты қолдану қажетті беріктікті сақтай отырып, цемент шығынын төмендетуге мүмкіндік береді. Беріктігі арттырылған толтырмада цемент шығыны 200-ден 140–160 кг/м³-ке дейін, пасталық технологияда 30–35%, ал сусыздандырылған толтырмада 15–25% төмендеуі мүмкін [9].

Артемьев кеніші үшін базалық құрамдардың тығыздығы 1860–1963 кг/м³, ал беріктігі қабаттың функционалдық мақсатына байланысты 1–4 МПа құрайды. Бұл көрсеткіштер жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтары негізіндегі құрамдарды әзірлеу үшін салыстырмалы база ретінде пайдаланылуы мүмкін, ал қалдықтардың нақты мөлшері олардың минералогиялық және гранулометриялық ерекшеліктерін ескере отырып тәжірибелік жолмен анықталуы тиіс [10].

Ғылыми жаңалығы және практикалық маңыздылығы

Жүргізілген аналитикалық зерттеудің ғылыми нәтижесі жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтарын дайындау параметрлерін, қоспаның реологиялық және тасымалдау қасиеттерін, байланыстырғыш шығынын және қалыптастырылатын жасанды массивтің нормативтік беріктігін біртұтас технологиялық жүйе шеңберінде өзара байланыстыра қарастыру болып табылады.

Қорытынды

Жүргізілген кешенді талдау қоюландырылған байыту қалдықтарын жоғары тығыздықтағы толтырма қоспаларын дайындауда қолданудың технологиялық мүмкіндігін және оларды қазылған кеңістікті толтыру жүйесіне енгізудің перспективалылығын көрсетті.

Паста тәрізді толтырма 18–22% ылғалдылықпен, толтырғыш массасына шаққанда 4–10% цемент мөлшерімен және қоспаның қажетті пластикалығы мен тұрақтылығын қамтамасыз ететін ірілігі шамамен 20 мкм ұсақ дисперсті бөлшектердің қатты фазадағы 15–20% үлесімен сипатталады.

Талданған зертханалық деректер қоспаның тығыздығын арттыру, су мөлшерін азайту, гранулометриялық құрамын оңтайландыру және реологиялық қасиеттерін реттеу байланыстырғыш шығынын төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Цемент шығыны беріктігі арттырылған толтырмада 200-ден 140–160 кг/м³-ке дейін, пасталық толтырмада 30–35%, ал сусыздандырылған толтырмада 15–25% төмендеуі мүмкін. Бұл ретте қоспаның тұрақтылығы, айдалу қабілеті және жасанды массивтің нормативтік беріктігі сақталуы тиіс.

Артемьев кеніші үшін Ақсу ЖЭО және Екібастұз ГРЭС-1 ұшпа күлдері негізіндегі базалық құрамдардың тығыздығы 1860–1963 кг/м³, ал беріктігі 1–4 МПа құрайды. Бұл құрамдар жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтары негізіндегі толтырма қоспаларын одан әрі әзірлеу мен оңтайландыру үшін салыстырмалы база ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Ұсынылған технологиялық реттілік мынадай кезеңдерді қамтиды: байыту қалдықтарының қасиеттерін анықтау → қоюландыру/сусыздандыру → гомогенизациялау және реологияны реттеу → байланыстырғыш пен қоспаларды мөлшерлеу → құбыржол арқылы тасымалдау → жасанды массивті қалыптастыру және беріктігін бақылау.

Одан әрі тәжірибелік зерттеулер нақты байыту қалдықтарының қасиеттерін, тасымалдау жағдайларын және нормативтік беріктік талаптарын ескере отырып, қатты фазаның оңтайлы мөлшерін, реологиялық параметрлердің жұмыс диапазонын және байланыстырғыштың тиімді шығынын анықтауға бағытталуы тиіс.

Алынған нәтижелер жоғары тығыздықтағы байыту қалдықтары негізіндегі толтырма технологиясының параметрлерін одан әрі тәжірибелік оңтайландыруға және қазылған кеңістікті толтырудың тиімді технологиялық шешімдерін әзірлеуге ғылыми-әдістемелік негіз болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Шершнев А. А. Байыту қалдықтарын жинақтау кезінде аршынды тау жыныстары үйінділерін қалыптастыру технологиясын негіздеу: техн. ғыл. канд. … дис. – Красноярск: Сібір федералдық университеті, 2016. – 147 б. (орыс тілінде)*
2. *ВНИИцветмет. Қазақстан Республикасының жерасты кеніштері үшін жоғары тығыздықтағы толтыру технологиясын әзірлеу: ғылыми-зерттеу жұмысы бойынша қорытынды есеп, мемлекеттік*

тіркеу № 0112 РК 02466. – Өскемен, 2014. – 35 б. (орыс тілінде)
3. *Qi C., Fourie A. Минералдық шикізатты байыту қалдықтарын басқаруға арналған цементтелген пасталық толтырма: шолу және даму перспективалары // Minerals Engineering. – 2019. – Т. 144. –106025 (ағылшын тілінде)*
4. *Niroshan N., Sivakugan N., Veenstra R. L. Цементтелген пасталық толтырманың ағу сипаттамалары // Geotechnical and Geological Engineering. – 2018. – Т. 36. – Б. 2261–2272 (ағылшын тілінде)*
5. *Цементтелген пасталық толтырма үшін гравитациялық қоюландырылған қалдықтарды ығысу әсерімен өңдеу арқылы суды қайтару дәрежесін арттыру / H. Jiao [және т. б.] // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Т. 245. – 118882 (ағылшын тілінде)*
6. *Жіктелмеген қалдықтар негізіндегі пасталық толтырманың реологиясын зерттеудің қазіргі жағдайы мен даму перспективалары (2-бөлім): реологиялық өлшеулер және перспективалар / A.Wu [және т. б.] // Chinese Journal of Engineering. – 2021. – Т. 43. – № 4. – Б. 451–459 (ағылшын тілінде)*
7. *Жаңа дайындалған цементтелген пасталық толтырманың реологиялық өлшемдерін, ағу механизмін және құрылымдық эволюциясын түсіндіруге қосқан үлес / Z. Guo [және т. б.] // Cement and Concrete Composites. – 2023. – Т. 143. – 105221 (ағылшын тілінде)*
8. *Реологиялық қоспалардың цементтелген пасталық толтырманың жаңа дайындалған және қатайған күйдегі қасиеттеріне әсері / J. Jin [және т. б.] // Materials. – 2022. – Т. 15. – № 9. – 3006 (ағылшын тілінде)*
9. *Ультрадыбыстық толқын әсері жағдайындағы аса ұсақ қалдықтар негізіндегі цементтелген пасталық толтырманың реологиялық қасиеттері W. Ren [және т. б.] // Minerals. – 2021. – Т. 11. – № 7. – 718 (ағылшын тілінде)*
10. *Dikonda R. K., Mbonimpa M., Belem T. Цементтелген пасталық толтырманы араластырудың меншікті энергиясы. II бөлім: реологиялық және механикалық қасиеттеріне әсері және практикалық қолданылуы // Minerals. – 2021. – Т. 11. – № 11. – 1159 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Shershnev A. A. Obosnovanie tekhnologii otsypki otvalov skal'nykh vskryshnykh porod pri skladirovanii otkhodov obogashcheniya [Justification of the Technology for Constructing Rock Overburden Dumps during Mineral Processing Waste Storage]: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Krasnoyarsk: Sibirskii federal'nyi universitet, 2016. – 147 p. (in Russian)*
2. *VNIItsvetmet. Razrabotka tekhnologii zakladki vysokoi plotnosti dlya podzemnykh rudnikov Respubliki Kazakhstan [Development of High-Density Backfill Technology for Underground Mines of the Republic of Kazakhstan]: final research report, State Registration No. 0112 RK 02466. – Ust-Kamenogorsk, 2014. – 35 p. (in Russian)*
3. *Qi C., Fourie A. Cemented paste backfill for mineral tailings management: Review and future perspectives // Minerals Engineering. – 2019. – Vol. 144. – Article 106025 (in English)*
4. *Niroshan N., Sivakugan N., Veenstra R. L. Flow characteristics of cemented paste backfill // Geotechnical and Geological Engineering. – 2018. – Vol. 36. – P. 2261–2272 (in English)*
5. *Water recovery improvement by shearing of gravity-thickened tailings for cemented paste backfill / H. Jiao et al. // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 245. – Article 118882 (in English)*
6. *Status and prospects of research on the rheology of paste backfill using unclassified tailings (Part 2): rheological measurement and prospects / A. Wu et al. // Chinese Journal of Engineering. – 2021. – Vol. 43. – No. 4. – P. 451–459 (in English)*
7. *A contribution to understanding the rheological measurement, yielding mechanism and structural evolution of fresh cemented paste backfill / Z. Guo et al. // Cement and Concrete Composites. – 2023. – Vol. 143. – Article 105221 (in English)*
8. *The Role of Rheological Additives on Fresh and Hardened Properties of Cemented Paste Backfill / J. Jin et al. // Materials. – 2022. – Vol. 15. – No. 9. – Article 3006 (in English)*
9. *Rheological Properties of Ultra-Fine Tailings Cemented Paste Backfill under Ultrasonic Wave Action / W. Ren et al. // Minerals. – 2021. – Vol. 11. – No. 7. – Article 718 (in English)*
10. *Dikonda R. K., Mbonimpa M., Belem T. Specific Mixing Energy of Cemented Paste Backfill, Part II: Influence on the Rheological and Mechanical Properties and Practical Applications // Minerals. – 2021. – Vol. 11. – No. 11. – Article 1159 (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Шершнев А. А. Обоснование технологии отсыпки отвалов скальных вскрышных пород при складировании отходов обогащения: дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2016. – 147 с. (на русском языке)*
2. *ВНИИцветмет. Разработка технологии закладки высокой плотности для подземных рудников Республики Казахстан: заключительный отчет о НИР, № гос. регистрации 0112 РК 02466. – Усть-Каменогорск, 2014. – 35 с. (на русском языке)*

3. *Qi C., Fourie A. Цементированный пастовый твердеющий материал для управления хвостами обогащения: обзор и перспективы развития // Minerals Engineering. – 2019. – Т. 144. – Ст. 106025 (на английском языке)*
4. *Niroshan N., Sivakugan N., Veenstra R. L. Характеристики течения цементированного пастового твердеющего материала // Geotechnical and Geological Engineering. – 2018. – Т. 36. – С. 2261–2272 (на английском языке)*
5. *Повышение степени возврата воды путем сдвигового воздействия на гравитационно сгущенные хвосты для цементированного пастового твердеющего материала / H. Jiao [и др.] // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Т. 245. – Ст. 118882 (на английском языке)*
6. *Современное состояние и перспективы исследований реологии пастового твердеющего материала на основе неклассифицированных хвостов (часть 2): реологические измерения и перспективы / A.Wu [и др.] // Chinese Journal of Engineering. – 2021. – Т. 43. – № 4. – С. 451–459 (на английском языке)*
7. *Исследование реологических измерений, механизма текучести и структурной эволюции свежеприготовленного цементированного пастового твердеющего материала / Z. Guo [и др.] // Cement and Concrete Composites. – 2023. – Т. 143. – Ст. 105221 (на английском языке)*
8. *Влияние реологических добавок на свойства цементированного пастового твердеющего материала в свежеприготовленном и затвердевшем состоянии / J. Jin [и др.] // Materials. – 2022. – Т. 15. – № 9. – Ст. 3006 (на английском языке)*
9. *Реологические свойства цементированного пастового твердеющего материала на основе ультратонких хвостов при воздействии ультразвуковых волн / W. Ren [и др.] // Minerals. – 2021. – Т. 11. – № 7. – Ст. 718 (на английском языке)*
10. *Dikonda R. K., Mbonimpa M., Belem T. Удельная энергия перемешивания цементированного пастового твердеющего материала. Часть II: влияние на реологические и механические свойства и практическое применение // Minerals. – 2021. – Т. 11. – № 11. – Ст. 1159 (на английском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:
Габитова А. М., техника ғылымдарының магистрі, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан), *ayauzhan.gabitova@mail.ru;* https://orcid.org/0009-0000-7279-0433
Абдрашева З. Ж., техника ғылымдарының магистрі, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан), *zamira91189@mail.ru;* https://orcid.org/0009-0007-8916-1845
Тунгушбаева З. К., техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «ҚР Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу Ұлттық орталығы» «ШҒЗТКМИтүстімет», РМК филиалының ғылыми хатшысы (Өскемен қ., Қазақстан), *zuhratungushbaeva@gmail.com;* https://orcid.org/0000-0002-1366-1196
Абеуов Е. А., техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан), *erkebulan69@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0002-6420-565X

Information about the authors:
Gabitova A. M., Master's degree, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)
Abdrasheva Z. Zh., Master's degree, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)
Tungushbayeva Z. K., Cand. of tech. sc., docent, Scientific Secretary of filial agency of the National Center for Complex Processing of Mineral Raw Materials, VNIItsvetmet (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)
Abeuov Ye. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Информация об авторах:
Габитова А. М., магистр технических наук, старший преподаватель Школы наук о Земле, НАО Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)
Абдрашева З. Ж., магистр технических наук, ст. преподаватель Школы наук о Земле, НАО Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)
Тунгушбаева З. К., к. т. н., доцент, ученый секретарь филиала РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья РК» ВНИИцветмет (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)
Абеуов Е. А., кандидат технических наук, доцент, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)