Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

O‘ZBEKISTON SANOAT CHIQINDILARI PORTLANDSEMENT KLINKERI XOMASHYOSI SIFATIDA

Kayumova Shaxnoza Rashid qizi
Olmaliq davlat texnika instituti
assistenti, Olmaliq shahri
shaxnozarashidovna1@gmail.com
Xoshimxanova Muhayyo Abralovna
Olmaliq davlat texnika instituti professor v.b.
xoshimxanovamuhayyo@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.24110898

ANNOTATSIYA. Maqolada O‘zbekistonning energetika va kon-metallurgiya sanoati mineral chiqindilaridan portlandsement klinkeri ishlab chiqarishda muqobil xomashyo sifatida foydalanish imkoniyatlari ilmiy adabiyotlarda e’lon qilingan kimyoviy tarkib va eksperimental natijalar asosida qiyosiy baholandi. Olmaliq kon-metallurgiya kombinatining flotatsiya chiqindilari, O‘zmetkombinatning qayta ishlangan po‘lat eritish shlaklari va Angren issiqlik elektr stansiyasining kul-shlak aralashmalari tarkibidagi CaO, SiO_2, Al_2O_3 hamda Fe_2O_3 miqdorlari taqqoslandi, silikat va alyuminat modullari hisoblandi. Angren kul-shlak namunalarida SiO_2 va Al_2O_3 yig‘indisi 85,43–85,57 %, O‘zmetkombinat shlaklarida CaO va Fe_2O_3 yig‘indisi 51,88 % ni tashkil etdi. Olmaliq flotatsiya chiqindilarida SiO_2 o‘rtacha 46,26 % bo‘ldi. Natijalar Angren materiallarini alyumosilikatli komponent, O‘zmetkombinat shlaklarini esa temirli-kalsiyli korreksiyalovchi komponent sifatida baholashga asos beradi. Mahalliy chiqindilar asosida klinker olishga oid chop etilgan tajribalar kimyoviy tahlil bilan bog‘liq holda muhokama qilindi. Uch komponentli hisobiy aralashmalar KH = 0,90 da chiqindilar xomashyo aralashmasining 23–33 % ini tashkil etishi mumkinligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: portlandsement klinkeri, sanoat chiqindilari, Angren IES, Olmaliq flotatsiya chiqindilari, metallurgiya shlaki, kul-shlak aralashmasi, oksid tarkibi, silikat moduli, alyuminat moduli.

АННОТАЦИЯ В статье на основе опубликованных в научной литературе данных о химическом составе и экспериментальных результатов проведена сравнительная оценка возможности использования минеральных отходов энергетической и горно-металлургической промышленности Узбекистана в качестве альтернативного сырья для производства портландцементного клинкера. Сопоставлено содержание CaO, SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3 во флотационных отходах Алмалыкского горно-металлургического комбината, переработанных сталеплавильных шлаках АО «Узметкомбинат» и золошлаковых смесях Ангренской тепловой электростанции, рассчитаны силикатный и глинозёмный модули. В пробах золошлаковых смесей Ангренской ТЭС суммарное содержание SiO_2 и Al_2O_3 составило 85,43–85,57 %, в шлаках Узметкомбината суммарное содержание CaO и Fe_2O_3 – 51,88 %. Среднее содержание SiO_2 во флотационных отходах Алмалыка составило 46,26 %. Полученные результаты дают основание рассматривать ангренские материалы как алюмосиликатный компонент, а шлаки Узметкомбината – как железисто-кальциевый корректирующий компонент сырьевой смеси. Опубликованные

экспериментальные данные по получению клинкера на основе местных отходов обсуждены во взаимосвязи с результатами химического анализа. Расчёт трёхкомпонентных сырьевых смесей показал, что при КН = 0,90 доля отходов в сырьевой смеси может составлять 23–33 %.

Ключевые слова: портландцементный клинкер, промышленные отходы, Ангренская ТЭС, флотационные отходы Алмалыка, металлургический шлак, золошлаковая смесь, оксидный состав, силикатный модуль, глинозёмный модуль.

ABSTRACT. This article presents a comparative assessment of the potential use of mineral wastes from the energy and mining-metallurgical industries of Uzbekistan as alternative raw materials for Portland cement clinker production. The assessment is based on chemical composition data and experimental results published in the scientific literature. The contents of CaO, SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 in the flotation tailings of the Almalyk Mining and Metallurgical Combine, the processed steelmaking slags of JSC Uzmetkombinat, and the ash-slag mixtures of the Angren Thermal Power Plant were compared, and the silica and alumina moduli were calculated. In the Angren ash-slag samples, the combined SiO_2 and Al_2O_3 content was 85.43–85.57 %, while in the Uzmetkombinat slags the combined CaO and Fe_2O_3 content was 51.88 %. The average SiO_2 content of the Almalyk flotation tailings was 46.26 %. The results provide grounds for considering the Angren materials as an aluminosilicate component and the Uzmetkombinat slags as an iron-calcium corrective component of the raw mix. Published experiments on clinker production from local wastes are discussed in relation to the chemical analysis data. Calculation of three-component raw mixes showed that, at a saturation coefficient (KH) of 0.90, the wastes can account for 23–33 % of the raw mix.

Keywords: Portland cement clinker, industrial wastes, Angren TPP, Almalyk flotation tailings, metallurgical slag, ash-slag mixture, oxide composition, silica modulus, alumina modulus.

1. KIRISH

Sement sanoatini barqaror rivojlantirish tabiiy xomashyo sarfini kamaytirish, energiya tejamkorlikni oshirish va ishlab chiqarishning ekologik ta’sirini cheklash bilan uzviy bog‘liq. Sement ishlab chiqarish dunyo miqyosidagi antropogen CO_2 chiqindilarining taxminan 5–8 % ini beradi; bu chiqindilarning yarmidan ko‘prog‘i ohaktoshning dekarbonatlanishi, qolgan qismi esa klinker pishirishda yoqilg‘i yonishi bilan bog‘liq [1, 2]. Shu bois asosiy mineral oksidlarga ega ikkilamchi xomashyoni tabiiy komponentlarning bir qismini almashtirish uchun qo‘llash dolzarb ilmiy-texnologik yo‘nalish hisoblanadi [2, 3].

Bu yo‘nalishda ikki asosiy yondashuv shakllangan. Birinchisi — tayyor sementda klinker ulushini kul, shlak va boshqa puzzolan qo‘shimchalar hisobiga kamaytirish [4]; ikkinchisi — klinker xomashyo aralashmasidagi tabiiy gil, temirli korreksiyalovchi qo‘shimcha va qisman karbonatli komponentni sanoat chiqindilari bilan almashtirish [3]. Po‘lat eritish shlakini xomashyo aralashmasiga 10,5 % miqdorda kiritish klinkerning mineralogik tarkibi va sement sifatini yomonlashtirmagani [5], mis shlakini flotatsiyalash chiqindisi temir oksidli korreksiyalovchi komponent sifatida sanoat miqyosida muvaffaqiyatli sinalgani [6] ko‘rsatilgan. Temir rudasini boyitish chiqindilari alyumosilikatli komponent sifatida gilni to‘liq almashtirib, xomashyo aralashmasining pishuvchanligini yaxshilagan [7]. Ko‘mir kuli va kul-shlak aralashmalaridan foydalanish tajribasi keng umumlashtirilgan [8], kon-boyitish chiqindilarini qayta ishlash istiqbollari esa alohida sharhlarda tahlil qilingan [9].

Portlandsement klinkerining asosiy fazalari alit ($3CaO \cdot SiO_2$), belit ($2CaO \cdot SiO_2$), uch kalsiyli alyuminat ($3CaO \cdot Al_2O_3$) va to‘rt kalsiyli alyumoferrit ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) hisoblanadi. Ularning shakllanishida xomashyo aralashmasidagi CaO, SiO_2, Al_2O_3 va Fe_2O_3 ning mutlaq miqdori hamda o‘zaro nisbatlari hal qiluvchi ahamiyatga ega [10, 11]. Biroq oksid tarkibining o‘zi materialning yaroqliligini to‘liq belgilab bermaydi: mineral fazalar, qizdirishdagi o‘zgarishlar, qo‘shimcha aralashmalar va zarrachalar o‘lchami ham muhim ahamiyatga ega.

O‘zbekistondagi energetika, metallurgiya va kon-boyitish korxonalarida hosil bo‘ladigan mineral chiqindilar tarkibi bir xil emas. Angren IES kul-shlak aralashmalari asosan alyumosilikatli komponentlarga boy bo‘lsa, O‘zmetkombinatning ayrim shlaklarida kalsiy va temir oksidlari ustun, Olmaliq flotatsiya chiqindilari esa ko‘p komponentli xususiyatga ega. Olmaliq KMK ning qo‘rg‘oshin, mis va flyuorit boyitish fabrikalari flotatsiya chiqindilari xomashyo aralashmasining gilli komponenti sifatida ishlatilganda alit miqdori 50–60 % bo‘lgan klinker va mustahkamligi bo‘yicha 500 markali zavod sementlaridan qolishmaydigan sement olingan [12]. Kon-metallurgiya chiqindilaridan klinker pishirish imkoniyati keyinchalik ham eksperimental o‘rganilgan [13]. Olmaliq KMK flotatsiya chiqindilari tayyor sementga faol mineral qo‘shimcha sifatida kiritilganda sulfatbardoshlikni sezilarli oshirishi aniqlangan [14, 15]. Angren kul-shlak aralashmalari va O‘zmetkombinat shlaklarining kompozitsion sementlarda qo‘llanilishi esa bir qator tadqiqotlarda yoritilgan [16–18]. Ushbu ikki qo‘llash yo‘nalishi — klinker xomashyosi va tayyor sementga qo‘shimcha — bir-biridan qat’iy farqlanishi lozim.

Shunga qaramay, nomi ko‘rsatilgan O‘zbekiston chiqindilarining oksid tarkibini yagona hisobiy mezonlar bo‘yicha qiyoslash, ularning klinker xomashyo aralashmasidagi potensial funksional vazifalarini farqlash va manbalarda qayd qilingan klinker hosil bo‘lish natijalari bilan bog‘lash zarurati mavjud. Ushbu maqolaning maqsadi — mahalliy sanoat chiqindilarining nashr etilgan kimyoviy tarkibini qiyosiy tahlil qilish, asosiy oksidlar nisbatini hisoblash va ularning portlandsement klinkeri xomashyosi sifatidagi imkoniyatlari hamda cheklovlarini ilmiy asoslash.

2. MA’LUMOTLAR MANBALARI VA TAHLIL USLUBI

Sharhda O‘zbekiston korxonalarida hosil bo‘ladigan uch turdagi mineral chiqindi ko‘rib chiqildi: Olmaliq kon-metallurgiya kombinatida qo‘rg‘oshin-rux rudalarini boyitishda hosil bo‘ladigan flotatsiya chiqindisi, O‘zmetkombinatning qoldiq temirli birikmalari ajratib olingan po‘lat eritish shlaki va Angren IES kul-shlak aralashmasi. Karbonatli komponent bilan taqqoslash uchun Shovozsoy ohaktoshining kimyoviy tarkibi jalb qilindi. Manbalarni tanlashda uchta mezonga amal qilindi: materialning muayyan O‘zbekiston korxonasiga tegishliligi, oksid tarkibining nashrda to‘liq keltirilganligi hamda materialning sement ishlab chiqarishda qo‘llanishi bo‘yicha eksperimental ma’lumot mavjudligi [13, 16–18].

2.1. Ma’lumotlarni umumlashtirish tartibi

Olmaliq flotatsiya chiqindisi, O‘zmetkombinat shlaki va Shovozsoy ohaktoshi uchun Usmanov va hammualliflar [13] har bir material bo‘yicha uchtadan namunaning kimyoviy tarkibini keltirgan; jadvallarda ularning arifmetik o‘rtacha qiymatlari berildi. Angren IES kul-shlak aralashmasi bo‘yicha ikki mustaqil tadqiqotda [16, 18] e’lon qilingan tarkiblar o‘rtachalashtirilmadi va mos ravishda A va B namunalar sifatida alohida ko‘rib chiqildi, chunki ular turli vaqtda va turli maqsadda tanlangan namunalarga tegishli. Barcha qiymatlar massa ulushida (%) ifodalandi va ikki kasr xonasigacha yaxlitlandi; yig‘indilar va modullar yaxlitlanmagan o‘rtacha qiymatlardan hisoblandi.

Asosiy oksidlar bilan bir qatorda manbalarda keltirilgan MgO, SO_3, ishqoriy oksidlar miqdori va qizdirishdagi yo‘qotish (q.y.) ham hisobga olindi, chunki bu ko‘rsatkichlar klinker pishirish jarayoni va sement sifatini cheklovchi omillar hisoblanadi.

2.2. Hisoblash mezonlari

Materiallar CaO, SiO_2, Al_2O_3 va Fe_2O_3 ning miqdori va o‘zaro nisbati bo‘yicha qiyoslandi. Ushbu to‘rt oksid yig‘indisi $\Sigma O = CaO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ sifatida olindi; silikat (SM) va alyuminat (AM) modullari quyidagi ifodalar bo‘yicha hisoblandi:

$SM = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$, (1)

$AM = Al_2O_3 / Fe_2O_3$. (2)

Xomashyo aralashmasi va klinker tarkibini baholashda O‘zbekiston va MDH mamlakatlari sement sanoatida qabul qilingan to‘yinish koeffitsiyenti (KH, V.A. Kind bo‘yicha) qo‘llaniladi:

$KH = (CaO - 1{,}65Al_2O_3 - 0{,}35Fe_2O_3) / (2{,}8SiO_2)$. (3)

KH kremnezyomni to‘liq uch kalsiyli silikatga bog‘lash uchun nazariy zarur bo‘lgan CaO miqdorining qanday qismi haqiqatda mavjudligini tavsiflaydi. Uning xorijiy adabiyotdagi muqobili — ohak bilan to‘yinish omili (LSF) — boshqa koeffitsiyentlar asosida hisoblanadi, shu sababli KH va LSF ning son qiymatlarini bevosita taqqoslab bo‘lmaydi. KH, SM va AM texnologik ma’noga faqat xomashyo aralashmasi yoki klinker uchun ega; alohida chiqindi uchun hisoblangan SM va AM esa uning tarkibiy xususiyatini tavsiflovchi qiyosiy ko‘rsatkich sifatida ishlatildi. Aniq xomashyo aralashmasini loyihalashda barcha komponentlarning massa ulushi, qizdirishdagi yo‘qotishlari va qo‘shimcha oksidlar alohida hisobga olinishi lozim.

2.3. Eksperimental natijalarni talqin qilish chegaralari

Klinker hosil bo‘lishiga oid bevosita dalil sifatida faqat Usmanov va hammualliflarning [13] pishirish tajribalari olindi. Ushbu manbada alit, belit, uch kalsiyli alyuminat va to‘rt kalsiyli alyumoferrit ulushlari hisoblash yo‘li bilan aniqlangan, rentgenfazaviy va petrografik tahlil esa fazalarning mavjudligini faqat sifat jihatidan tasdiqlagan. Shu sababli bu qiymatlar o‘lchangan fazaviy tarkib emas, balki hisobiy mineralogik tarkib sifatida talqin qilindi. Angren IES kul-shlak aralashmasi manbalarda [16–18] tayyor sementga mineral qo‘shimcha sifatida o‘rganilgan; bu natijalar klinker xomashyosi sifatidagi yaroqlilikning isboti emas, balki materialning kimyoviy tarkibi va faolligi haqidagi qo‘shimcha ma’lumot sifatida baholandi.

3. TAHLIL VA MUHOKAMA

3.1. Oksid tarkibining miqdoriy farqlari

Tanlangan materiallar tarkibidagi asosiy klinker hosil qiluvchi oksidlar 1-jadvalda umumlashtirildi. Jadvalda Angren kul-shlak aralashmalarining alyumosilikatli xususiyati va O‘zmetkombinat shlaklarining temir-kalsiy komponentlariga boyligi yaqqol ko‘rinadi.

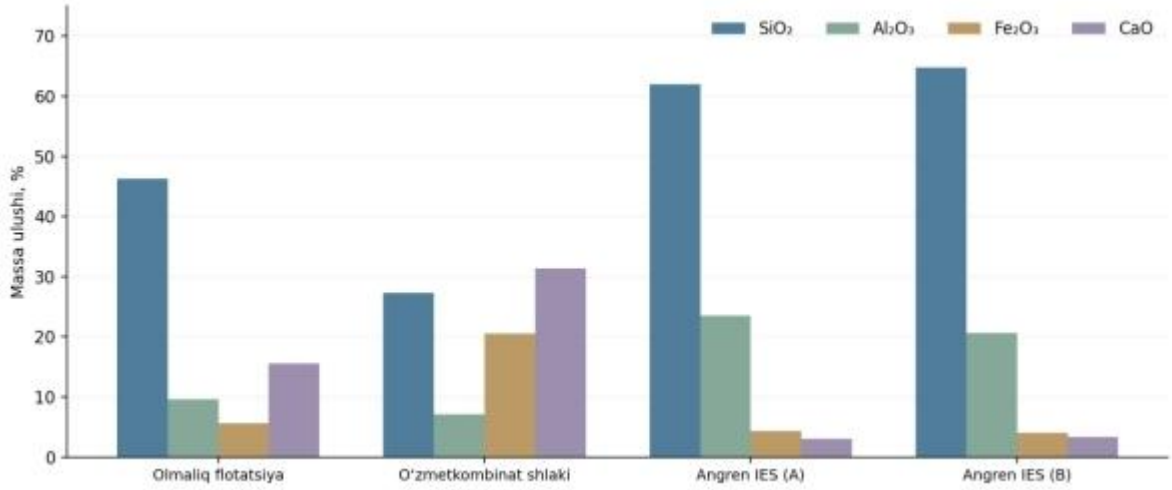
1-jadval.

Sanoat chiqindilari va qiyosiy ohaktoshning asosiy oksid tarkibi, massa % [13, 16, 18].

Material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO
Olmaliq flotatsiya chiqindisi	46,26	9,62	5,64	15,59
O‘zmetkombinat shlaki	27,24	7,15	20,55	31,33

Material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO
Angren IES, A namuna	62,02	23,55	4,32	3,00
Angren IES, B namuna	64,79	20,64	3,99	3,36
Shovozsoy ohaktoshi	1,56	0,59	0,10	54,23

Angren IES ning A va B namunalarida $SiO_2 + Al_2O_3$ yig‘indisi mos ravishda 85,57 va 85,43 % ni tashkil etdi. Bu materiallarni tabiiy gilning potensial o‘rnini bosuvchi alyumosilikatli komponent sifatida baholashga kimyoviy asos beradi. O‘zmetkombinat shlaklarida $CaO + Fe_2O_3$ yig‘indisi 51,88 % bo‘lib, ularni temirli korreksiyalovchi va qisman kalsiyli komponent sifatida ko‘rib chiqish mumkin. Olmaliq flotatsiya chiqindilarida SiO_2 o‘rtacha 46,26 %, CaO esa 15,59 % ni tashkil etishi ularning ko‘p komponentli xarakterini ko‘rsatadi.



1-rasm. O‘zbekiston sanoat chiqindilarining asosiy oksid tarkibi bo‘yicha qiyosiy diagrammasi

1-rasmdagi farqlar chiqindilarni yagona retsept bo‘yicha emas, balki kimyoviy tarkibiga mos vazifa asosida tanlash zarurligini ko‘rsatadi. Ayniqsa, Angren kulining yuqori SiO_2 ulushi bilan O‘zmetkombinat shlaklaridagi Fe_2O_3 ulushining farqlanishi xomashyo aralashmasini muvozanatlashtirish uchun turli komponentlar talab etilishini asoslaydi.

3.2. Modullar bo‘yicha qiyosiy hisobiy tahlil

2-jadval.

Asosiy oksidlar yig‘indisi va alohida komponentlarning hisobiy modullari (1-jadval ma’lumotlari asosida)

Material	ΣO, %	SM	AM
Olmaliq flotatsiya	77,11	3,03	1,71
O‘zmetkombinat shlaki	86,28	0,98	0,35
Angren IES (A)	92,89	2,23	5,45
Angren IES (B)	92,78	2,63	5,17
Shovozsoy ohaktoshi	56,48	2,27	5,87

Angren A va B namunalarining SM qiymatlari mos ravishda 2,23 va 2,63; AM qiymatlari 5,45 va 5,17 ni tashkil etdi. O‘zmetkombinat shlaklarida SM = 0,98 va AM = 0,35 bo‘lib, temirli komponentlarning nisbatan yuqori ulushini aks ettiradi. Olmaliq flotatsiya chiqindisi SM = 3,03 va AM

= 1,71 ko‘rsatkichlari bilan alohida o‘rin tutadi. Ushbu hisoblar tayyor klinker aralashmasining sifat ko‘rsatkichi emas, balki uning komponentlarini tanlashga xizmat qiluvchi dastlabki tavsifdir.

Shovozsoy ohaktoshidagi CaO ning o‘rtacha ulushi 54,23 % bo‘lishi uning karbonatli asosiy komponent sifatidagi vazifasini tasdiqlaydi. Biroq uning SM va AM qiymatlari juda kam miqdordagi kremniy, alyuminiy va temir oksidlarining o‘zaro nisbatidan kelib chiqadi; shu sababli ular ohaktoshning amaliy qiymatini baholovchi mustaqil me’yor sifatida ishlatilmaydi. Ohaktoshda ΣO ning atigi 56,48 % ni tashkil etishi qizdirishdagi yo‘qotishning yuqoriligi (o‘rtacha 41,97 % [13]) bilan izohlanadi.

3.3. Klinker hosil bo‘lishi bo‘yicha nashr etilgan tajribalar

Kimyoviy tarkib bo‘yicha aniqlangan farqlarni texnologik natija bilan bog‘lash maqsadida [13] manbadagi xomashyo aralashmalarining pishirish natijalari qiyoslandi. Tajribada to‘yinish koeffitsiyenti (KH) 0,85 va 0,91, ikkala tarkibda silikat moduli esa 2,1 bo‘lgan. Pishirish 1350–1450 °C oralig‘ida o‘rganilgan; 1380–1400 °C da 30 daqiqalik ushlab turish sharoitida CaO ning to‘liq o‘zlashtirilishi qayd etilgan [13].

3-jadval.

Kon-metallurgiya chiqindilaridan olingan klinkerning manbada hisoblangan mineralogik tarkibi [13].

Ko‘rsatkich	1-tarkib	2-tarkib
To‘yinish koeffitsiyenti	0,85	0,91
Silikat moduli	2,10	2,10
Alit (C_3S), %	62,01	63,21
Belit (C_2S), %	16,27	16,36
Uch kalsiyli alyuminat (C_3A), %	3,48	3,51
To‘rt kalsiyli alyumoferrit (C_4AF), %	16,20	16,81

3-jadvalga ko‘ra alitning hisoblangan miqdori birinchi tarkibda 62,01 %, ikkinchi tarkibda 63,21 % bo‘lib, farq 1,20 foiz punktni tashkil etadi. Natija xomashyo aralashmasining tarkibiy muvozanati klinkerning hisobiy faza ulushlariga ta’sir qilishini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, Bogue usulidagi (4) ifodaga (3.4-bo‘lim) ko‘ra SM o‘zgarmagan holda KH ning 0,85 dan 0,91 gacha oshishi alit ulushini taxminan 14 foiz punktga oshirishi va belit ulushini mos ravishda kamaytirishi kerak edi. Manbada keltirilgan 1,20 foiz punktlik farq, belit ulushining deyarli o‘zgarmagani hamda KH = 0,85 da 62 % alit hosil bo‘lishi bu bog‘liqlikka to‘liq mos kelmaydi. Manbada hisoblash usuli va xomashyo aralashmalarining oksid tarkibi keltirilmaganligi sababli ushbu qiymatlarni ehtiyotkorlik bilan talqin qilish lozim. Keltirilgan ma’lumotlar klinkerning tajribada olingan mineral tarkibi hisobiy qiymatlardan bir oz farqlanganini ham qayd etadi [13].

3.4. Uch komponentli hisobiy xomashyo aralashmalari

Chiqindilarning xomashyo aralashmasidagi funksional vazifasini miqdoriy baholash maqsadida Shovozsoy ohaktoshi asosida uchta hisobiy aralashma tuzildi (4-jadval). I va II variantlarda alyumosilikatli komponent sifatida Angren IES kul-shlak aralashmasining B namunasi olindi, chunki uning uchun [18] manbada qizdirishdagi yo‘qotish, MgO, SO_3 va ishqoriy oksidlar miqdori ham to‘liq keltirilgan. Temirli korreksiyalovchi komponent sifatida O‘zmetkombinat shlaki ishlatildi. III variantda

kul-shlak o‘rniga Olmaliq flotatsiya chiqindisi olindi. Barcha variantlarda KH = 0,90 qabul qilindi, SM I va III variantlarda 2,20 ga, II variantda 2,00 ga tenglashtirildi.

Komponentlar ulushi berilgan KH va SM qiymatlari hamda komponentlar yig‘indisi 100 % ga tengligi shartidan iborat tenglamalar sistemasini yechish orqali topildi. Hisob quruq xomashyo bo‘yicha bajarildi; klinker tarkibi qizdirishdagi yo‘qotishni chiqarib tashlash yo‘li bilan aniqlandi, klinkerning hisobiy mineralogik tarkibi esa quyidagi ifodalar bo‘yicha hisoblandi:

$C_3S = 3{,}8SiO_2(3KH - 2)$, (4)

$C_2S = 8{,}6SiO_2(1 - KH)$, (5)

$C_3A = 2{,}65(Al_2O_3 - 0{,}64Fe_2O_3)$, (6)

$C_4AF = 3{,}04Fe_2O_3$. (7)

4-jadval.

Uch komponentli hisobiy xomashyo aralashmalarining tarkibi va klinkerning hisobiy ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	I	II	III
Xomashyo aralashmasi tarkibi (quruq holatda), massa %			
Shovozsoy ohaktoshi, %	76,6	74,5	67,3
Angren IES kul-shlaki (B), %	17,7	16,1	—
Olmaliq flotatsiya chiqindisi, %	—	—	23,7
O‘zmetkombinat shlaki, %	5,7	9,4	9,0
Klinkerning kimyoviy tarkibi, massa %			
SiO_2, %	21,00	20,65	20,79
Al_2O_3, %	6,66	6,47	4,77
Fe_2O_3, %	2,88	3,86	4,68
CaO, %	64,91	64,05	61,90
MgO, %	1,30	1,68	3,79
SO_3, %	0,66	0,67	1,14
R_2O (Na_2O ga qayta hisobda), %	1,08	0,97	n/m
Modullar			
KH	0,90	0,90	0,90
SM	2,20	2,00	2,20
AM	2,31	1,68	1,02
Hisobiy mineralogik tarkib, massa %			
C_3S, %	55,9	54,9	55,3
C_2S, %	18,1	17,8	17,9
C_3A, %	12,8	10,6	4,7
C_4AF, %	8,8	11,7	14,2

Hisob natijalari Angren kul-shlak aralashmasi xomashyo aralashmasida tabiiy gilni to‘liq almashtira olishini ko‘rsatadi: I variantda kul-shlak ulushi 17,7 %, shlak ulushi 5,7 % bo‘lib, chiqindilar birgalikda xomashyo aralashmasining 23,4 % ini tashkil etadi. Biroq kul-shlak tarkibida Al_2O_3 ning yuqoriligi sababli bu variantda AM = 2,31 bo‘lib, C_3A ning hisobiy miqdori 12,8 % ga yetadi. O‘zmetkombinat shlaki ulushini 9,4 % gacha oshirish (II variant) AM ni 1,68 gacha, C_3A miqdorini esa 10,6 % gacha kamaytiradi. Bu natija shlakning temirli korreksiyalovchi komponent sifatidagi vazifasini miqdoriy jihatdan tasdiqlaydi va po‘lat eritish hamda mis shlaklari bo‘yicha xorijiy tajriba [5, 6] bilan mos keladi.

Olmaliq flotatsiya chiqindisi asosidagi III variantda chiqindilarning umumiy ulushi 32,7 % ga yetadi, AM = 1,02, C_3A miqdori esa 4,7 % ni tashkil etadi. Bunday past alyuminatli tarkib sulfatbardosh sement klinkeri olish nuqtayi nazaridan qiziqarli (ushbu chiqindilarning qo‘shimcha sifatida sulfatbardoshlikni oshirishi [14, 15] da ham qayd etilgan), ammo klinkerdagi MgO miqdori (3,79 %) 5 % lik chegaraga yaqinlashadi. III variant [13] dagi tajribalarda qo‘llanilgan chiqindilar asosida tuzilgan bo‘lib, KH = 0,90 va SM = 2,20 da alitning hisobiy ulushi 55,3 % ni tashkil etadi. Bu qiymat [13] da KH = 0,91 va SM = 2,10 uchun keltirilgan 63,21 % dan sezilarli darajada past, ammo Olmaliq flotatsiya chiqindilari asosidagi klinkerlar uchun ilgari qayd etilgan 50–60 % alit [12] bilan mos keladi va 3.3-bo‘limda qayd etilgan nomuvofiqlikni tasdiqlaydi.

I va II variantlarda klinkerdagi ishqoriy oksidlar miqdori (Na_2O ga qayta hisobda) 0,97–1,08 % ni tashkil etadi va asosan kul-shlak hisobiga kiradi. Bu qiymat kam ishqorli sementlar uchun qabul qilingan 0,6 % lik chegaradan yuqori bo‘lib, pech tizimidagi ishqorlar aylanishini nazorat qilishni talab etadi. Keltirilgan hisoblar faqat asosiy oksidlar balansiga asoslanganini va laboratoriya pishirish sinovlari bilan tasdiqlanishi zarurligini ta’kidlash lozim.

3.5. Texnologik cheklovlar va ekologik mazmun

Sanoat chiqindilarining asosiy oksid tarkibi ularni xomashyo komponenti sifatida dastlabki tanlash uchun yetarli, ammo joriy etish uchun yetarli emas. Angrenning B namunasi bo‘yicha e’lon qilingan tadqiqotda SO_3 1,64 %, ishqoriy oksidlar (Na_2O ga qayta hisobda) 4,12 % ekanligi ko‘rsatilgan [18]. Bu komponentlar pechdagi uchuvchan moddalarning aylanishi va tayyor klinker sifati nuqtayi nazaridan alohida nazoratni talab qiladi. Bundan tashqari, [13] ma’lumotlariga ko‘ra MgO miqdori O‘zmetkombinat shlaklarida o‘rtacha 8,06 %, Olmaliq flotatsiya chiqindilarida 7,03 % ni tashkil etadi; flotatsiya chiqindilarida SO_3 o‘rtacha 2,58 %, qizdirishdagi yo‘qotish esa 9,06 % ga yetadi. Klinkerda MgO miqdori 5 % dan oshmasligi talab etilishini hisobga olsak, ushbu chiqindilarning xomashyo aralashmasidagi ulushi aynan MgO bo‘yicha cheklanishi mumkin. Shlaklar uchun erkin CaO, flotatsiya chiqindilari uchun esa sulfidli oltingugurt va iz metallari (Pb, Zn, Cu) qo‘shimcha tekshirilishi lozim, chunki flotatsiya chiqindilari tayyor mahsulotda xavfsiz bo‘lsa-da, o‘zi og‘ir metallar manbai bo‘lishi mumkin [6].

Karbonatli xomashyoni qisman karbonatsiz kalsiy manbai bilan almashtirish CO_2 ning dekarbonatlanishdan kelib chiqadigan ulushini kamaytirishi mumkin. $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ reaksiyasi bo‘yicha 100 kg sof kalsiy karbonat parchalanganda nazariy jihatdan taxminan 44 kg CO_2 ajraladi. Biroq muqobil chiqindidan foydalanishning sof ekologik samarasi tashish, quritish, maydalash, pishirish va chiqindidagi kalsiyning haqiqiy mineral shakllariga bog‘liq.

Angren IES kul-shlak aralashmasining sementdagi mineral qo‘shimcha sifatidagi natijalari [16–18] materialning qurilish materiallari texnologiyasi uchun qiziqarli ekanini ko‘rsatadi. Lekin ularda qayd etilgan siqilishdagi mustahkamlik o‘zgarishini kul-shlak qo‘shilgan xomashyo aralashmasidan klinker pishirishning bevosita natijasi sifatida talqin qilib bo‘lmaydi.

3.6. Umumiy ilmiy talqin

Qiyosiy tahlil natijalarini ketma-ket bog‘laganda quyidagi mazmuniy tizim shakllanadi: chiqindi manbasining xususiyati uning oksid tarkibini belgilaydi; oksidlarning massa ulushi va modullari materialning xomashyo aralashmasidagi ehtimoliy rolini ko‘rsatadi; yakuniy yaroqlilik esa aralashmaning to‘liq kimyoviy balansi, klinker pishirish jarayoni va olingan fazalar bo‘yicha eksperimental tekshirilishi

kerak. Hozircha Angren kul-shlaki uchun aynan klinker pishirishda optimal ulush aniqlangani haqida asosli xulosa chiqarish mumkin emas. Mazkur tahlil shu kabi tajribalarni maqsadli rejalashtirish uchun dastlabki ilmiy asos yaratadi.

4. XULOSA

Adabiyotlarda e'lon qilingan ma'lumotlar asosida bajarilgan kimyoviy-texnologik qiyoslash O'zbekistonning o'rganilgan mineral chiqindilari portlandsement klinkeri xomashyo aralashmasida turlicha funksional vazifalarni bajarishi mumkinligini ko'rsatdi. Angren IES kul-shlak aralashmalarida $SiO_2 + Al_2O_3$ yig'indisi 85,43–85,57 % bo'lib, ularni alyumosilikatli komponent sifatida o'rganish maqsadga muvofiq. O'zmetkombinat shlaklarida $CaO + Fe_2O_3$ ulushining 51,88 % bo'lishi ularni temirli va qisman kalsiyli korreksiyalovchi komponent sifatida baholashga asos beradi. Olmaliq flotatsiya chiqindilaridagi SiO_2 ning o'rtacha 46,26 % va CaO ning 15,59 % miqdori materialning ko'p komponentli xususiyatini ko'rsatadi.

Alohida komponentlar bo'yicha hisoblangan silikat moduli Olmaliq chiqindisida 3,03, O'zmetkombinat shlaklarida 0,98, Angren kul-shlak namunalarida 2,23–2,63 ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar chiqindilarni tarkibiy vazifasiga ko'ra tanlash uchun ma'lumot beradi, ammo tayyor klinker retsepturasi uchun optimal nisbatlarni o'z-o'zidan aniqlamaydi. Mahalliy kon-metallurgiya chiqindilariga oid nashr etilgan tajribalar mineral fazalar hosil qilish mumkinligini ko'rsatadi; ularni Angren kul-shlak aralashmasiga bevosita ko'chirish mumkin emas.

Uch komponentli hisobiy aralashmalar KH = 0,90 da Angren kul-shlaki va O'zmetkombinat shlaki birgalikda xomashyo aralashmasining 23,4–25,5 % ini, Olmaliq flotatsiya chiqindisi va shlak esa 32,7 % ini tashkil etishi mumkinligini ko'rsatdi. Angren kul-shlakli aralashmalarda alyuminat modulini maqbul darajaga keltirish uchun temirli komponent ulushini oshirish talab etiladi, Olmaliq chiqindisi asosidagi aralashma esa past alyuminatli ($C_3A < 5$ %) klinker olish imkonini beradi.

Demak, O'zbekiston sanoat chiqindilaridan portlandsement klinkeri xomashyosi sifatida foydalanishda differensial kimyoviy tanlash, to'liq massa balansi va mineralogik cheklovlar tahlilini birgalikda qo'llash zarur. Keyingi bosqichda hisobiy aralashmalarni MgO, SO_3, ishqoriy oksidlar va iz metallarning ta'siri bo'yicha aniqlashtirish, so'ng laboratoriya pishirish sinovlari bilan texnologik yaroqlilikni tasdiqlash lozim.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Schneider M., Romer M., Tschudin M., Bolio H. Sustainable cement production — present and future // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41, No. 7. P. 642–650. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.019.
2. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 114. P. 2–26. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.03.015.
3. Gartner E., Hirao H. A review of alternative approaches to the reduction of CO_2 emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete // Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 78. P. 126–142. DOI: 10.1016/j.cemconres.2015.04.012.
4. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. Supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41, No. 12. P. 1244–1256. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.12.001.

5. Tsakiridis P.E., Papadimitriou G.D., Tsivilis S., Koroneos C. Utilization of steel slag for Portland cement clinker production // Journal of Hazardous Materials. 2008. Vol. 152, No. 2. P. 805–811. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.093.
6. Alp İ., Deveci H., Süngün H. Utilization of flotation wastes of copper slag as raw material in cement production // Journal of Hazardous Materials. 2008. Vol. 159, No. 2–3. P. 390–395. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.02.056.
7. Luo L., Zhang Y., Bao S., Chen T. Utilization of iron ore tailings as raw material for Portland cement clinker production // Advances in Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 2016. Art. 1596047. DOI: 10.1155/2016/1596047.
8. Ahmaruzzaman M. A review on the utilization of fly ash // Progress in Energy and Combustion Science. 2010. Vol. 36, No. 3. P. 327–363. DOI: 10.1016/j.pecs.2009.11.003.
9. Kinnunen P., Ismailov A., Solismaa S., Sreenivasan H., Räisänen M.-L., Levänen E., Illikainen M. Recycling mine tailings in chemically bonded ceramics – A review // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 174. P. 634–649. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.280.
10. Hewlett P.C., Liska M. (eds.) Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2019. ISBN 978-0-08-100773-0.
11. Mamatqulov N.N., Xoshimxanova M.A. Bog'lovchi moddalar texnologiyasi. Toshkent, 2020.
12. Nimchik A.G., Usmanov H.L., Kadyrova Z.R. Properties of clinkers and cements, obtained on the basis of flotation of waste of mining processing enterprises // European Science Review. 2018. No. 9–10-1. P. 264–268.
13. Usmanov Kh.L., Kadyrova Z.R., Niyazova Sh.M., Khomidov F.G., Najimov J.B. Production of Portland Cement Clinker in Raw Mixtures Based on Mining and Metallurgical Production Wastes // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2025. Vol. 60, No. 3. P. 465–470. DOI: 10.59957/jctm.v60.i3.2025.12.
14. Мухамедбаева З.А., Эшмуратова Р.Р., Алиева Р.А., Каримов М.А. Сульфатостойкий цемент, модифицированный отходами горно-обогатительного комбината // Universum: технические науки. 2024. № 11(128). DOI: 10.32743/UniTech.2024.128.11.18625.
15. Mukhamedbaeva Z.A., Eshmuratova R.R., Aliyeva R.A., Turdikulov I. On the possibility of using flotation waste from AGMK copper in the role of an active additive to Portland cement // Universum: технические науки. 2025. № 12(141). DOI: 10.32743/UniTech.2025.141.12.21471.
16. Намазов Ш.С., Искандарова М.И., Мухитдинов Д.Д., Ахмедова Д.У. Использование техногенных отходов АО «Узметкомбинат» и Ангренской ТЭС для получения «зеленых» цементных композитов // Universum: технические науки. 2024. № 10(127). DOI: 10.32743/UniTech.2024.127.10.18467.
17. Iskandarova M., Begjanova G., Mukhitdinov D., Yakubzhanova Z., Botirov B. Technological foundations for solving problem of metallurgy and TPP waste utilization for development of "Green" technology for composite cements production // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 365. Art. 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/202336501001.
18. Атабаев Ф.Б., Турсунова Г.Р., Турсунов З.Р., Адилматова М.М. Добавочный портландцемент с модифицированной активной золошлаковой добавкой ТЭС // Universum: технические науки. 2025. № 7(136). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20510.