ISSN:3030-332X
Impact factor: 9,493
International journal of scientific researchers

SEMENT XOMASHYOSIGA YO‘NALTIRILGAN SANOAT CHIQINDILARINING EKOLOGIK XAVFSIZLIGI. OG‘IR METALLAR VA RADIONUKLIDLAR.

Xoshimxanova Muhayyo Abralovna
Olmaliq davlat texnika instituti professor v.b.
xoshixanovamuhayyo@gmail.com
Ochilov Mansur
Olmaliq davlat texnika instituti katta o‘qituvchisi
mansurochilov2003@gmail.com
Jo'raqulov Muslimbek Mahsud o'g'li
Olmaliq davlat texnika intituti dotsenti (vb)
mus94lim95mus94lim95@gmail.com
Kayumova Shaxnoza Rashid qizi
Olmaliq davlat texnika instituti assistenti
shaxnozarashidovna1@gmail.com
Сайдуллаева Зиёда Абдурашид қизи,
Olmaliq davlat texnika instituti talabasi
Дарханова Севинч Абдувохид қизи
Olmaliq davlat texnika instituti talabasi
https://doi.org/10.5281/zenodo.24419772

ANNOTATSIYA. Mazkur ishda sement klinkeri ishlab chiqarishda muqobil xomashyo sifatida qo‘llanishi mumkin bo‘lgan sanoat chiqindilarining ekologik xavfsizligi ilmiy adabiyotlar va me’yoriy hujjatlar asosida ko‘rib chiqildi. Issiqlik elektr stansiyalari kuli, kul-shlak aralashmalari va metallurgiya shlaklari misolida og‘ir metallar hamda tabiiy radionuklidlar bilan bog‘liq xavflar bir-birini to‘ldiruvchi baholash yo‘nalishlari sifatida tahlil qilindi. Dastlab chiqindi tarkibidagi xavfli komponentlarni aniqlash, keyin ularning kuydirish jarayonida klinker va gaz-chang oqimlari o‘rtasida taqsimlanishini hisobga olish, yakunda esa tayyor mahsulotdagi yuvilish va radiologik ko‘rsatkichlarni tekshirish zarurligi asoslandi. Ra-226, Th-232 va K-40 bo‘yicha faollik konsentratsiyasi indeksining imkoniyatlari hamda cheklovlari yoritildi. Natijada xomashyo manbasidan yakuniy mahsulotgacha bo‘lgan bosqichlarni qamrab oluvchi izchil ekologik baholash tartibi taklif etildi.
Kalit so‘zlar: sement klinkeri, sanoat chiqindilari, og‘ir metallar, radionuklidlar, kul-shlak aralashmalari, migratsiya, immobilizatsiya, radiatsion nazora*t.*

АННОТАЦИЯ. В данной работе на основе научной литературы и нормативных документов рассмотрена экологическая безопасность промышленных отходов, которые могут использоваться в качестве альтернативного сырья при производстве цементного клинкера. На примере золы тепловых электростанций, золошлаковых смесей и металлургических шлаков проанализированы риски, связанные с тяжёлыми металлами и природными радионуклидами, как взаимодополняющие направления оценки экологической безопасности. Обоснована необходимость первоначального определения опасных компонентов в составе отходов, последующего учёта их распределения между клинкером и газопылевыми потоками в процессе обжига, а также заключительной проверки показателей выщелачивания и радиологических характеристик готовой продукции. Рассмотрены возможности и ограничения применения индекса концентрации активности природных радионуклидов Ra-226, Th-232 и K-40. В результате предложена последовательная процедура экологической оценки, охватывающая все этапы — от источника сырья до получения конечной продукции.

Ключевые слова: цементный клинкер, промышленные отходы, тяжёлые металлы, радионуклиды, золошлаковые смеси, миграция, иммобилизация, радиационный контроль.

ABSTRACT. This study examines the environmental safety of industrial wastes that may be used as alternative raw materials in cement clinker production, based on a review of scientific literature and regulatory documents. Using fly ash from thermal power plants, ash–slag mixtures, and metallurgical slags as examples, the risks associated with heavy metals and naturally occurring radionuclides are analyzed as complementary aspects of environmental safety assessment. The study emphasizes the need to identify hazardous components in waste materials, account for their distribution between clinker and gas–dust streams during the clinker-burning process, and subsequently evaluate the leaching behavior and radiological characteristics of the final product. The applicability and limitations of the activity concentration index for Ra-226, Th-232, and K-40 are also discussed. As a result, a systematic environmental assessment procedure covering all stages, from raw material sourcing to the final product, is proposed.

Keywords: cement clinker, industrial waste, heavy metals, radionuclides, ash–slag mixtures, migration, immobilization, radiological monitoring.

Kirish

Sement sanoatida tabiiy mineral resurslarni tejash va sanoat chiqindilarini qayta ishlash bir-biri bilan uzviy bog‘liq vazifalardir. Kremniy, alyuminiy, temir va kalsiy oksidlarini saqlovchi ayrim kul hamda shlaklar portlandsement klinkeri uchun xomashyo aralashmasidagi an’anaviy komponentlarni qisman almashtirishi mumkin. Ammo kimyoviy tarkibning klinker hosil qilish uchun mosligi chiqindining ekologik jihatdan ham xavfsiz ekanini anglatmaydi. Shu sababli muqobil xomashyoni tanlashda uning texnologik yaroqliligini baholash keyingi bosqich — xavfli komponentlarning ishlab chiqarish jarayonidagi va tayyor mahsulotdagi holatini aniqlash bilan davom ettirilishi kerak.

O‘zbekiston sharoitida muqobil xomashyo manbalarini tanlash masalasi mahalliy sanoat chiqindilarining mineral tarkibi bilan bevosita bog‘liq. Kayumova va Xoshimxanova Angren IES kul-shlak aralashmalari, Olmaliq flotatsiya chiqindilari hamda O‘zmetkombinat shlaklarining asosiy oksid tarkibini qiyoslab, ularning klinker xomashyo aralashmasidagi potensial vazifalarini ko‘rsatgan [6]. Ushbu natijalar chiqindilarni texnologik jihatdan saralash uchun asos bo‘lsa-da, ekologik xavfsizlikka oid yakuniy xulosa chiqarish uchun og‘ir metallar va radionuklidlar alohida o‘rganilishi zarur.

Bunday baholash zarurati kul va shlaklarda qo‘rg‘oshin (Pb), kadmiy (Cd), xrom (Cr), mishyak (As), simob (Hg) kabi potensial xavfli elementlar va tabiiy radionuklidlar uchrashi mumkinligi bilan izohlanadi. Metallarning ekologik xavfi ularning umumiy miqdorigagina emas, balki kimyoviy shakli, uchuvchanligi hamda suvli muhitga o‘tish xususiyatiga bog‘liq; radionuklidlar uchun esa solishtirma faollik va materialdan foydalanish sharoiti muhimdir [1–4]. Mazkur farqlarni inobatga olgan holda ishning maqsadi sanoat chiqindilarining sement xomashyosi sifatidagi ekologik yaroqliligini og‘ir metallar va radionuklidlar bo‘yicha o‘zaro bog‘langan mezonlar asosida baholash tartibini tizimlashtirishdan iborat.

Tadqiqot materiallari va usullari

Ish ilmiy adabiyotlar va xalqaro me’yoriy hujjatlarni qiyosiy tahlil qilish asosida bajarildi. Tahlil issiqlik elektr stansiyalari kuli, kul-shlak aralashmalari va metallurgiya shlaklariga qaratildi. Kirishda belgilangan ikki xavf yo‘nalishini bir xil baholash zanjiriga kiritish uchun avvalo boshlang‘ich materialning tarkibi, so‘ng ishlab chiqarish jarayonidagi taqsimlanish, nihoyat tayyor mahsulotning xossalari ko‘rib chiqildi. Og‘ir metallarning umumiy miqdorini aniqlash uchun ICP-MS, ICP-OES yoki atom-absorbsion spektrometriya, ularning suvli muhitga o‘tishini baholash uchun esa materialga mos standart yuvilish sinovlari qo‘llanilishi ko’rib chiqildi. Tabiiy radionuklidlarning solishtirma faolligi gamma-spektrometriya yordamida aniqlanadi [2–4]. Ushbu maqolada keltirilgan usullar taklif etilayotgan baholash tartibining analitik asosini tashkil qiladi.

Mahalliy materiallarning asosiy oksid tarkibi bo‘yicha keltirilgan ma’lumotlar [6] ushbu sharhda xomashyoning texnologik istiqbolini izohlash uchun foydalanildi, ular og‘ir metallar migratsiyasi yoki radiologik xavfsizlikni bevosita tasdiqlovchi o‘lchovlar sifatida talqin qilindi. Shu tariqa texnologik yaroqlilik va ekologik xavfsizlik mezonlari metodologik jihatdan ajratildi.

Og‘ir metallar uchun konsentratsiya va yuvilish ko‘rsatkichlari birgalikda talqin qilinsa, radiologik xavfni dastlabki saralashda alohida integral ko‘rsatkichdan foydalaniladi. Jumladan, 2013/59/Euratom direktivasining VIII ilovasida qurilish materiallari uchun faollik konsentratsiyasi indeksi keltirilgan [3]:

$$I = C(Ra\text{-}226)/300 + C(Th\text{-}232)/200 + C(K\text{-}40)/3000$$

Bu yerda I — o‘lchovsiz faollik konsentratsiyasi indeksi; C(Ra-226), C(Th-232) va C(K-40) — baholanayotgan qurilish materialidagi tegishli radionuklidlarning solishtirma faolligi, Bq/kg. Shunday qilib, indeks uch radionuklidning tashqi gamma-nurlanishga aloqador hissalarini dastlabki baholashga xizmat qiladi, biroq og‘ir metallarning yuvilishi yoki boshqa ekologik xavflarni tavsiflamaydi.

$$I \leq 1$$

I ≤ 1 sharti dastlabki radiologik saralashda qo‘llanadigan mezondir, ammo bu natija materialning barcha yo‘nalishlar bo‘yicha xavfsizligini tasdiqlamaydi. Xuddi shuningdek, I > 1 bo‘lishi ham materialni avtomatik ravishda yaroqsiz deb topish uchun yetarli emas: bunda foydalanish sohasi, qurilish materialining qo‘llanish geometriyasi va tegishli doza bahosi e’tiborga olinadi [3]. Muhimi, xom chiqindi uchun olingan ko‘rsatkich tayyor qurilish mahsulotiga bevosita ko‘chirilmaydi, chunki chiqindining aralashmadagi ulushi va boshqa komponentlar yakuniy faollikka ta’sir qiladi. Demak, radiologik skrining og‘ir metallarning migratsiyasini baholash bilan birgalikda olib borilgandagina ekologik nazorat to‘liqroq bo‘ladi.

Natijalar va muhokama

Tanlangan baholash ketma-ketligining birinchi muhim bo‘g‘ini — xavfli metallarning kuydirish jarayonidagi holatini aniqlashdir. Adabiyotlarda ularning klinker ishlab chiqarish tizimidagi taqsimlanishi kimyoviy shakl, uchuvchanlik va pechning texnologik rejimiga bog‘liqligi ko‘rsatilgan [1, 2]. Nisbatan kam uchuvchan elementlarning bir qismi klinker mineral fazalarida bog‘lanishi mumkin, uchuvchan komponentlar, xususan simob esa gaz-chang oqimlariga o‘tish xavfi bilan ajralib turadi. Natijada xomashyo tarkibi maqbul bo‘lgan taqdirda ham pech chiqindilarini nazorat qilish zarurati saqlanadi. Bu holat yuqori haroratli ishlov berishni xavfli elementlarning to‘liq zararsizlantirilishi bilan tenglashtirish mumkin emasligini ko‘rsatadi.

Biroq xavfni faqat pech bosqichi bilan chegaralash ham yetarli emas. Klinker va undan tayyorlangan sementli materiallarda ayrim metall ionlari fizik qamrab olinishi, kam eruvchan birikmalar hosil qilishi yoki qattiq fazalar bilan kimyoviy bog‘lanishi natijasida kamroq harakatchan bo‘lishi mumkin [5]. Shu bilan birga, uzoq muddatli namlanish, karbonatlanish va muhit pH qiymatining o‘zgarishi ayrim elementlarning qayta ajralib chiqishiga ta’sir etadi. Demak, pechda ushlanib qolgan metallni avtomatik ravishda ekologik jihatdan xavfsiz deb baholab bo‘lmaydi: dastlabki umumiy konsentratsiya o‘lchovi tayyor mahsulotga mos yuvilish sinovlari bilan to‘ldirilishi lozim.

Sanoat chiqindilaridan foydalanishda ekologik nazorat zarurligini boshqa kimyoviy ishlab chiqarishlar tajribasi ham tasdiqlaydi. Xususan, Yusupova ekstraksion fosfor kislotasi ishlab chiqarishida hosil bo‘ladigan fosfogipsni qayta ishlash, aralashmalarni kamaytirish va chiqindisiz texnologik yechimlarni qo‘llash yo‘nalishlarini muhokama qilgan [7]. Mazkur ish sement klinkeri uchun og‘ir metallar yoki radionuklidlarning miqdoriy ko‘rsatkichlarini bermaydi; u chiqindini ikkilamchi xomashyoga aylantirishda oldindan tayyorlash va ekologik tekshiruvning umumiy ahamiyatini yorituvchi qo‘shimcha manba sifatida keltirilmoqda.

Og‘ir metallar uchun kuzatiladigan ushbu «xomashyo — texnologik jarayon — tayyor mahsulot» bog‘liqligi radiologik baholashda ham ahamiyatlidir. Tabiiy radionuklidlarning solishtirma faolligi chiqindining kelib chiqishi, boshlang‘ich material geokimyosi va ishlab chiqarish xususiyatlariga ko‘ra farqlanadi. Shu bois bir xil turdagi kul yoki shlak turli manbalarda bir xil ko‘rsatkichga ega bo‘lishi shart emas [3, 4]. Har bir xomashyo manbasida Ra-226, Th-232 va K-40 faolligini aniqlash, keyinchalik chiqindining aralashmadagi ulushini hisobga olib, yakuniy qurilish materialini baholash kerak. Bu yerda oldingi bo‘limda ko‘rsatilgan indeks faqat radiologik skrining vazifasini bajaradi.

Shu tariqa, og‘ir metallar va radionuklidlar bo‘yicha ko‘rib chiqilgan dalillar yagona, ammo turli o‘lchovlarga tayanuvchi nazorat ketma-ketligini asoslaydi. Birinchi bosqichda chiqindining asosiy kimyoviy tarkibi, xavfli metallar konsentratsiyasi va yuvilish xususiyati hamda radionuklidlar faolligi aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda pechning texnologik rejimiga bog‘liq ravishda elementlarning klinker va gaz-chang oqimlari o‘rtasida taqsimlanishi nazorat qilinadi. Uchinchi bosqichda tayyor sement yoki qurilish mahsuloti uchun tegishli yuvilish sinovlari va radiologik baholash o‘tkazilib, natijalar amaldagi milliy talablar bilan solishtiriladi. Bunda har bir bosqich keyingisi uchun ma’lumot beradi: xomashyo tahlili ehtimoliy xavfni ko‘rsatadi, jarayon nazorati uning qayerga o‘tishini aniqlaydi, mahsulot sinovi esa foydalanishdagi xavfni baholashga xizmat qiladi.

Xulosa

Tahlil sanoat chiqindilarining sement klinkeri xomashyosi sifatidagi istiqboli ularning faqat asosiy oksidlar tarkibiga emas, balki butun ishlab chiqarish zanjiri davomida ekologik xatti-harakatiga ham bog‘liqligini ko‘rsatdi. Og‘ir metallar bo‘yicha umumiy konsentratsiya, pechdagi taqsimlanish va tayyor mahsulotdan yuvilish ko‘rsatkichlari o‘zaro to‘ldiruvchi mezonlardir. Radionuklidlar bo‘yicha esa manbaga xos faollikni aniqlash va yakuniy mahsulotni foydalanish sharoitini hisobga olgan holda baholash talab etiladi. Faollik konsentratsiyasi indeksi radiologik saralashda foydali, biroq umumiy ekologik xavfsizlikning yakka o‘zi yetarli mezoni emas. Shu sababli taklif etilgan uch bosqichli nazorat yondashuvi muqobil xomashyo tanlovini ishlab chiqarish jarayoni va tayyor mahsulot xavfsizligi bilan izchil bog‘lashga xizmat qiladi; amaliy joriy etish bo‘yicha yakuniy qaror esa tegishli laboratoriya natijalari va milliy me’yorlar asosida qabul qilinishi zarur. Mahalliy chiqindilar bo‘yicha texnologik tadqiqotlar [6] va fosfogipsni qayta ishlashga doir yondashuvlar [7] ushbu baholashning amaliy dolzarbligini ko‘rsatsa-da, ular ekologik xavfsizlik sinovlarining o‘rnini bosa olmaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. European Commission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.
2. World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Cement and Lime Manufacturing. 2022 (Table 4 erratum, 2025). https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2022/2022-cement-lime-manufacturing-ehs-guidelines-en.pdf
3. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013. Official Journal of the European Union. 2014. L 13. P. 1–73. Annex VIII. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013L0059
4. Liu J., Wu D., Tan X., Yu P., Xu L. Review of the Interactions between Conventional Cementitious Materials and Heavy Metal Ions in Stabilization/Solidification Processing. Materials. 2023. Vol. 16, No. 9. Art. 3444. https://doi.org/10.3390/ma16093444
5. Kayumova Sh.R., Xoshimxanova M.A. O‘zbekiston sanoat chiqindilari portlandsement klinkeri xomashyosi sifatida // Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali. 2026. 14-jild, № 1. https://wosjournals.uz/index.php/ituy/article/view/4813
6. Юсупова Г.Х. Пути решений экологических проблем производства ЭФК // Вестник науки и образования. 2020. № 10-2 (88). С. 22–24. https://scientificjournal.ru/images/PDF/2020/88/VNO-10-88-II-.pdf