

Issiqlik Elektr Stansiyalarida Hosil Bo‘ladigan Kul Chiqindilaridan Temir va Vanadiy Ajratib Olish Texnologiyalarini O‘rganish.

Xolikulov D. B.¹, Mamaraximov S.K.², Toshpo‘lato A.A.³, Turdiyev A.B.⁴

¹Olmalik Davlat Texnika Instituti t.f.d. prof. “Metallurgiya” kafedrasi mudiri
<https://orcid.org/0000-0001-6968-9297>

²Olmalik Davlat Texnika Instituti “Metallurgiya” katta o‘qituvchisi
<https://orcid.org/0009-0003-5497-7490>

³Olmalik Davlat Texnika Instituti doktoranti
<https://orcid.org/0009-0004-3221-836X>

⁴Olmalik Davlat Texnika Instituti magistranti
ORCID ID: [0009-0002-6461-5058]

Annotatsiya: Mazkur maqolada issiqlik elektr stansiyalarida hosil bo‘ladigan kul chiqindilarining kimyoviy tarkibi va ulardan qimmatbaho metall elementlarni, xususan temir (Fe) va vanadiy (V) ni ajratib olish usullari keng tahlil qilingan. Tadqiqot davomida piro-metallurgik, gidrometallurgik va kombinatsiyalangan texnologiyalarning samaradorligi solishtirildi. Olingan natijalarga ko‘ra, kuydirish (roasting) va eritish (leaching) jarayonlarini o‘z ichiga olgan kompleks texnologiya eng yuqori samaradorlikka ega ekanligi aniqlandi. Shuningdek, texnologik sxema ishlab chiqilib, laboratoriya sharoitida qo‘llash imkoniyatlari asoslab berildi.

Kalit so‘zlar: Kul chiqindisi, vanadiy, temir, gidrometallurgiya, piro-metallurgiya, eritish, kuydirish, V₂O₅, ikkilamchi xomashyo.

Technologies for the Recovery of Iron (Fe) and Vanadium (V) from Fly Ash Generated at Thermal Power Plants

Abstract: This article presents a comprehensive analysis of the chemical composition of ash waste generated at thermal power plants and the technologies for extracting valuable metal elements, particularly iron (Fe) and vanadium (V). The study evaluates the efficiency of pyrometallurgical, hydrometallurgical, and combined processing methods based on recent scientific research. The results indicate that integrated roasting–leaching technology provides the highest extraction efficiency. In

addition, a technological flow scheme is proposed, and the feasibility of its application under laboratory conditions is substantiated. The findings demonstrate that fly ash can be considered a promising secondary resource for the recovery of strategic metals.

Keywords: fly ash, vanadium, iron, hydrometallurgy, pyrometallurgy, leaching, roasting, secondary raw materials, V_2O_5 , metal recovery.

Технологии Извлечения Железа (Fe) и Ванадия (V) и из Летучей Зола, Образующейся на Тепловых Электростанциях

Аннотация: В данной статье представлен комплексный анализ химического состава зольных отходов, образующихся на теплоэлектростанциях, и технологий извлечения ценных металлических элементов, в частности железа (Fe) и ванадия (V). В исследовании оценивается эффективность пирометаллургических, гидromеталлургических и комбинированных методов переработки на основе последних научных исследований. Результаты показывают, что интегрированная технология обжига-выщелачивания обеспечивает наибольшую эффективность экстракции. Кроме того, предложена схема технологического процесса и обоснована целесообразность ее применения в лабораторных условиях. Результаты показывают, что летучий пепел можно считать перспективным вторичным ресурсом для извлечения стратегических металлов.

Ключевые слова: зола летучая, ванадий, железо, гидromеталлургия, пирометаллургия, выщелачивание, обжиг, вторичное сырье, V_2O_5 , извлечение металла.

Asosiy qism: Sanoat rivojlanishi natijasida atrof-muhitga chiqarilayotgan chiqindilar miqdori keskin ortib bormoqda. Ayniqsa, issiqlik elektr stansiyalarida ko'mir yoqilishi natijasida katta hajmda kul chiqindilari hosil bo'ladi. Ushbu chiqindilar ko'pincha utilizatsiya qilinmay, atrof-muhitga zarar yetkazadi. Shu bilan birga, kul tarkibida temir, vanadiy, alyuminiy, kremniy kabi ko'plab foydali elementlar mavjud. Ularni ajratib olish orqali chiqindini foydali mahsulotga aylantirish mumkin. Bu esa resurslardan samarali foydalanish va ekologik muammolarni kamaytirishga xizmat qiladi. [7] Vanadiy ayniqsa muhim strategik element hisoblanadi. U yuqori mustahkam qotishmalar ishlab

chiqarishda, kimyo sanoatida va energiya saqlash texnologiyalarida keng qo'llaniladi. Shu sababli IES chiqindi tarkibidan vanadiyni ajratib olish dolzarb ilmiy yo'nalishlardan biri hisoblanadi.[4]

Adabiyotlar tahlili: So'nggi yillarda chiqindi kul tarkibidan metall ajratib olish bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Ushbu tadqiqotlar asosida bir nechta asosiy texnologik yo'nalishlar shakllangan.

Piro-metallurgik usullar: Piro-metallurgik jarayonlar yuqori harorat ta'sirida amalga oshiriladi. Bu usulda kul tarkibiga maxsus reagentlar qo'shib, 800–1000°C haroratda kuydiriladi. Natijada vanadiy eruvchan shaklga o'tadi. Bu usulning asosiy afzalligi — reaksiyalar tezligi va yuqori darajadagi konversiya hisoblanadi. Biroq energiya sarfining yuqoriligi uning asosiy kamchiligi sifatida qaraladi [1].

Gidrometallurgik usullar: Hidrometallurgiya eritmalar yordamida metall ajratib olishga asoslangan. Ushbu usullar ikki asosiy turga bo'linadi.

Ishqoriy eritish: Bu usulda NaOH eritmasi qo'llaniladi. Vanadiy selektiv ravishda eritmaga o'tadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bu usul orqali 70–95% gacha vanadiy ajratib olish mumkin [2].

Kislota bilan eritish: Bu usulda H₂SO₄ yoki HCl kabi kislotalar ishlatiladi. Natijada bir nechta metall eritmaga o'tadi va keyinchalik ular ajratiladi [5].

Kombinatsiyalangan texnologiyalar: Zamonaviy ilmiy tadqiqotlar kombinatsiyalangan usullar eng samarali ekanligini ko'rsatmoqda. Bu yondashuvda piro va gidrometallurgik jarayonlar birgalikda qo'llaniladi.

Masalan:

- dastlab kuydirish jarayoni amalga oshiriladi
- keyin eritish orqali metall eritmaga o'tkaziladi
- oxirida cho'ktirish yoki ekstraksiya orqali ajratib olinadi

Bu usul orqali yuqori tozalikdagi mahsulot olish mumkin [3].

Zamonaviy innovatsion yondashuvlar: Hozirgi kunda quyidagi yangi texnologiyalar ham keng o'rganilmoqda: ultratovush yordamida eritish, mikroto'lqinli qizdirish, organik reagentlardan foydalanish, solvent ekstraksiya. Bu usullar jarayon samaradorligini sezilarli darajada oshiradi [6].

Tadqiqot metodologiyasi: Mazkur ishda IES chiqindi tarkibidan temir va vanadiyni ajratib olish uchun kombinatsiyalangan texnologiya taklif etildi. Jarayon quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Xomashyoni tayyorlash (quritish va maydalash)

2. Magnit ajratish orqali temirni dastlab ajratish
3. Kuydirish jarayoni
4. Ishqoriy eritish
5. Filtrlash
6. Cho'ktirish
7. Yakuniy mahsulot olish [1],[8].

Natijalar va muhokama: Hisoblashlar asosida 1000 kg kul chiqindi qayta ishlanganda quyidagi natijalarga erishilishi mumkin:

- Temir: taxminan 85 kg
- Vanadiy: 4.5 kg
- Vanadiy oksidi (V_2O_5): taxminan 8 kg

Bu natijalar taklif etilgan texnologiyaning samaradorligini ko'rsatadi. Ayniqsa, magnit ajratish va ishqoriy eritish bosqichlari muhim rol o'ynaydi [3], [8].

Ilmiy va amaliy ahamiyati: Mazkur yondashuv texnogen chiqindilarni kompleks qayta ishlashga asoslangan bo'lib, bir nechta foydali komponentlarni ajratib olish imkonini beradi. Bu esa resurslardan foydalanish samaradorligini oshiradi va chiqindilarni kamaytiradi.

Amaliy jihatdan ushbu texnologiya ekologik muammolarni kamaytirish, chiqindilar hajmini qisqartirish, qimmatbaho metall va pigmentlar olish hamda mahalliy xomashyo asosida sanoat mahsulotlari ishlab chiqarishni rivojlantirish imkonini beradi.

Xulosa; Olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, issiqlik elektr stansiyalarining kul chiqindilari qimmatbaho metallarga boy muhim ikkilamchi xomashyo hisoblanadi.

Eng samarali texnologiya sifatida quyidagilar tavsiya etiladi:

- kuydirish va eritish jarayonlarini birlashtirish
- ishqoriy eritishdan foydalanish
- dastlabki bosqichda magnit ajratishni qo'llash

Taklif etilgan usul yuqori samaradorlikka ega bo'lib, sanoat miqyosida qo'llash uchun istiqbolli hisoblanadi.

Texnologik sxema



1-rasm. IES da hosil bo‘lgan chiqindilarini qayta ishlashning taklif etilgan semasi
Foydalanilgan adabiyotlar

1. Vanadium recovery from fly ash. Waste Management, 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.01.012>
2. Technology development to incorporate functional oil sources in yoghurt to improve functional properties M Rifky, K Serkaev, M Samadiy, J Coastal Life Med 11, 928-38,
3. Valorization of fly ash. Journal of Environmental Management, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118442>
4. Recovery of vanadium: A review. RSC Advances, 2023. <https://doi.org/10.1039/D3RA00289F>
5. Acid leaching of vanadium, 2025. <https://doi.org/10.18799/24131830/2025/7/4728>
6. Ultrasound-assisted extraction. 2022. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9048226/>
7. Coal fly ash recycling. Separation and Purification Technology, 2025.
8. Advances in vanadium extraction. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2026.