

Texnika fanlari (ixtisoslik shifri):05.05.04

UDC (UO‘K): 662.66:621.182.2:66.047

ANGREN QO‘NG‘IR KO‘MIRINI QURITISH VA BOYITISH JARAYONLARI ORQALI
ISSIQLIK SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Kurbanbaeva Miyasar Shirazadinovna

Qoraqalpoq davlat universiteti “Energetika muhandisligi” kafedrasida dotsent.v.b, PhD,

<https://orcid.org/0009-0002-1586-3936>

miyassar516@gmail.com, tel: +998970959501

Sharibaev Aydos Daribayevich

*Qoraqalpoq davlat universiteti “Enektir muhandisligi va metrologiya” kafedrasida stajyor-
o‘qituvchisi*

sharibaev2303@gmail.com, tel: +998907032320

Tursinbaev Alisher Polatbay o‘g‘li

Qoraqalpoq davlat universiteti “Energetika muhandisligi” kafedra talabasi

tursinbaevalisher2@gmail.com, tel: +998990290828

Annotatsiya: Ushbu maqolada Angren qo‘ng‘ir ko‘mirining yuqori namlik va kul tarkibi tufayli issiqlik berish qobiliyatining pasayishi hamda bu holatning issiqlik elektr stansiyalarida energiya ishlab chiqarish samaradorligiga ko‘rsatadigan salbiy ta‘siri har tomonlama tahlil qilingan. Mavjud adabiyotlar va amaliy ma‘lumotlar asosida ko‘mir sifatining yomonlashuvi qozon agregatlarining ish rejimiga, yoqilg‘i sarfiga va ekspluatatsion xarajatlarga ta‘siri baholangan. Tadqiqot doirasida ko‘mirni quritish va boyitish orqali uning sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilash, quyi yonish issiqligini oshirish va energetik hamda iqtisodiy samaradorlikka erishish imkoniyatlari ilmiy asosda o‘rganildi. Tadqiqot jarayonida mavhum qaynash qatlamiga asoslangan maxsus quritish-boyitish qurilmasi ishlab chiqildi va Angren issiqlik elektr stansiyasi sharoitida tajribaviy sinovdan o‘tkazildi. Olingan natijalar B2 markali ko‘mirning kaloriyaliligi 2200 kkal/kg dan 3900 kkal/kg gacha oshganini, yoqilg‘i sarfining kamayganini hamda elektr energiya ishlab chiqarish xarajatlari sezilarli darajada optimallashtirilganini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Ko‘mirni boyitish, ko‘mirni quritish mavhum qaynash qatlam, yoqilg‘i samaradorligi.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ И ОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ АНГАРЕНСКОГО БУРОГО
УГЛЯ

Курбанбаева Миясар Ширазадиновна

Каракалпакский государственный университет.- PhD., и.о доцент, кафедры “Инженерия

энергетики”, <https://orcid.org/0009-0002-1586-3936>

miyassar516@gmail.com, тел: +998970959501

Шарибаев Айдош Дарибаевич

Каракалпакский государственный университет- стажёр-преподаватель кафедры

“Электрическая инженерия и метрология”

sharibaev2303@gmail.com, тел: +998907032320

Турсинбаев Алишер Пулатбай угли

Каракалпакский государственный университет- студент, кафедры “Электрическая инженерия и метрология”

tursinbaevalisher2@gmail.com, tel: +998990290828

Аннотация: В данной статье проведён комплексный анализ влияния высокой влажности и зольности ангаренского бурого угля на его теплотворную способность и эффективность выработки энергии на теплоэлектростанциях. Показано, что повышенное содержание влаги и минеральных примесей приводит к снижению удельной теплоты сгорания, увеличению расхода топлива, загрязнению теплообменных поверхностей котлов и росту эксплуатационных затрат. На основе анализа отечественных и зарубежных научных источников обоснована целесообразность предварительной подготовки угля путём его сушки и обогащения.

В рамках исследования разработано специальное устройство на основе псевдооживленного слоя, обеспечивающее одновременное протекание процессов сушки и обогащения угля. Экспериментальные исследования были проведены в условиях Ангреновской теплоэлектростанции. Полученные результаты показали, что теплотворная способность угля марки В2 увеличилась с 2200 до 3900 ккал/кг, при этом существенно снизились удельный расход топлива и затраты на производство электроэнергии. Расчёты экономической эффективности подтвердили высокую рентабельность предложенной технологии.

Ключевые слова: *обогащение угля, сушка угля, , псевдооживленный слой, энергетическая эффективность.*

INNOVATIVE DRYING AND BENEFICIATION TECHNOLOGIES FOR ENHANCING THE CALORIFIC VALUE OF ANGREN LIGNITE COAL

Kurbanbaeva Miyasar Shirazadinovna

Acting Associate Professor, PhD., Department of Energy Engineering, Karakalpak State University,

<https://orcid.org/0009-0002-1586-3936>

miyassar516@gmail.com, tel: +998970959501

Sharibaev Aidos Daribaevich

Trainee-teacher of the Department of Electrical Engineering and Metrology of Karakalpak State University

sharibaev2303@gmail.com, tel: +998907032320

Tursinbaev Alisher Polatbay o'g'li

Student of the Department of "Energy Engineering" at Karakalpak State University

tursinbaevalisher2@gmail.com, tel: +998990290828

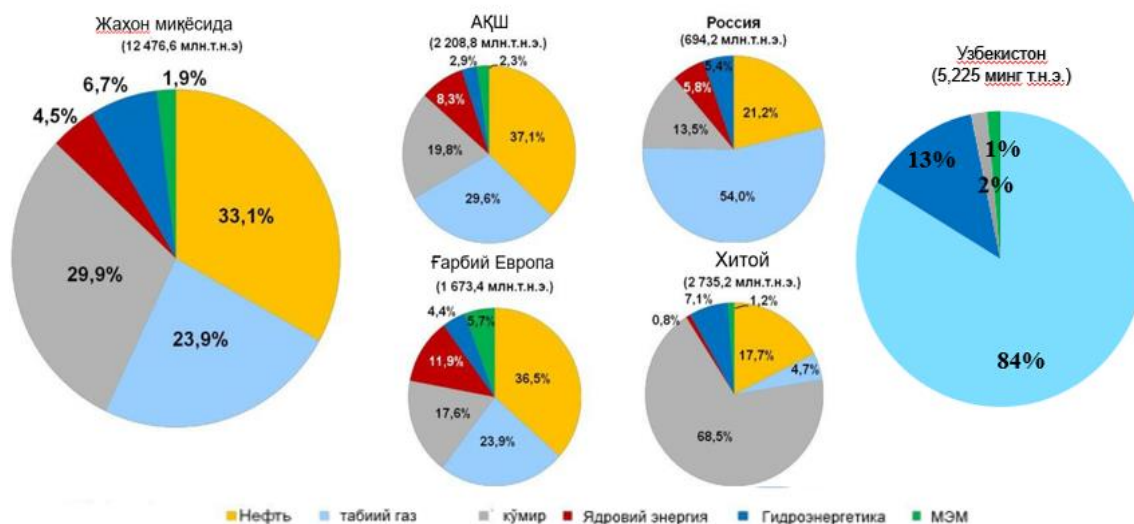
Abstract: This article presents a comprehensive analysis of the impact of high moisture and ash content of Angren lignite coal on its calorific value and the efficiency of energy generation at thermal power plants. High levels of moisture and mineral impurities are shown to reduce the lower heating value of coal, increase fuel consumption, intensify fouling of boiler heat-exchange surfaces, and

raise operational costs. Based on a review of domestic and international studies, the feasibility of improving coal quality through preliminary drying and beneficiation is scientifically substantiated. Within the framework of the study, a special fluidized-bed-based device was developed to enable the simultaneous implementation of coal drying and beneficiation processes. Experimental investigations were carried out under the operating conditions of the Angren Thermal Power Plant. The results demonstrated that the calorific value of B2-grade coal increased from 2200 to 3900 kcal/kg, accompanied by a significant reduction in specific fuel consumption and electricity generation costs. Economic efficiency calculations confirmed the high effectiveness and profitability of the proposed technology.

Keywords: coal beneficiation, coal drying, fluidized bed, energy efficiency.

Kirish

Jahonda yiliga 12.5 mlrd t.n.e to'g'ri keladigan yoqilg'i yoqilsa, shundan 30% ga yaqini ko'mir hissasiga to'g'ri keladi. Bu ko'rsatkich AQSH da 19.7% ni Rossiyada 17.3% ni tashkil qiladi. eng ko'p ko'mir hissasi Xitoyga to'g'ri keladi, ya'ni umumiy yoqilg'i resurslarining 68.5 % ni tashkil qiladi. O'zbekistonda elektr energiya ishlab chiqarish uchun umumiy yoqilg'ining 84% ga yaqini gaz yoqilg'isiga, 13 % gidroenergetika hissasiga, 2 % ko'mirga va 1% alternativ energiya manbalari hissasiga to'g'ri keladi (1 - rasm). Albatta energiya ishlab chiqarishning ishonchliligini oshirish maqsadida yoqilg'ilarning miqdorini tenglashtirish va ko'mir yoqilg'isining miqdorini oshirish maqsadga muvofiqdir. Shu o'rinda ko'mirni qazib olish va sifatini yaxshilash bo'yicha ko'plab ishlar olib borish lozim [1].



1-rasm. Dunyoda energiya resurslarining taqsimlanishi¹

Mamlakatimizda yiliga o'rtacha 4 mln tonna ko'mir qazib olinadigan bo'lsa, yillik iste'mol miqdori 4.5 mln tonna atrofida baholangan. Bu ko'rsatkichlar yildan yilga oshib bormoqda buni quyidagi diagrammadan ko'rish mumkin (2- rasm) [2].

Energetika barqarorligini ta'minlash maqsadida ko'plab olimlar ko'mirni quritish, boyitish, namlikni kamaytirish va yonmaydigan zarrachalardan tozalashga qaratilgan texnologiyalarni taklif etgan. Xususan, Park Soung, Liu va boshqalar tomonidan fmvavhum qaynash qatlamda zarrachalar

¹ https://ru.theglobaleconomy.com/Uzbekistan/coal_consumption

harakati, issiqlik almashinuvi intensivligi va quritish jarayonining kinetikasi chuqur o'rganilgan. Ularning tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, mavhum qaynash qatlamida quritish jarayoni yuqori issiqlik uzatish koeffitsientiga ega bo'lib, yuqori namlikka ega qo'ng'ir ko'mirni samarali qayta ishlash imkonini beradi [1;2].

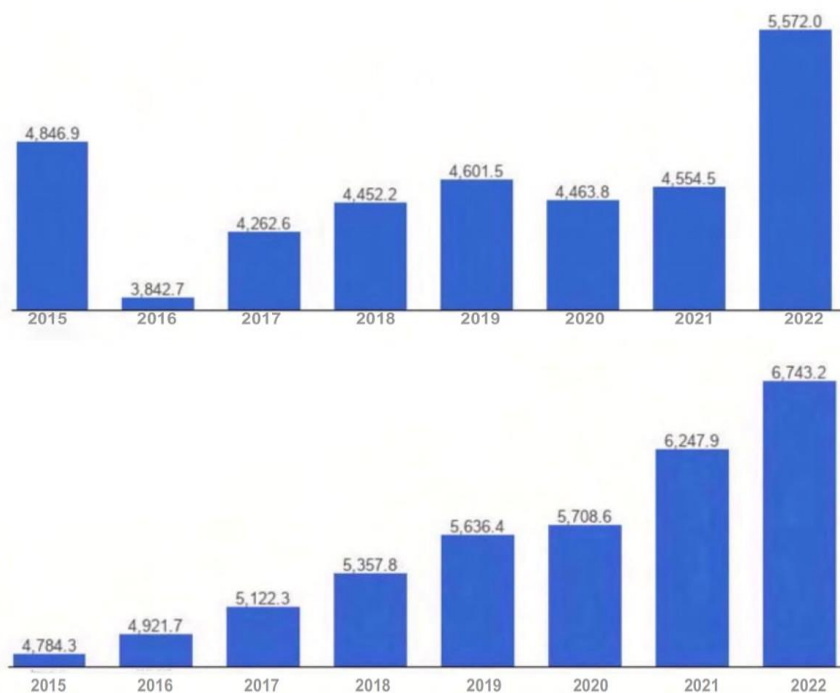
Bir qator adabiyotlarda Angren qo'ng'ir ko'mirining tarkibi yuqori namlik (30–35 %), katta kul miqdori (21–38 %) va past yonish issiqligi ($Q_{qu} = 9,2–10,4$ MJ/kg) bilan ajralib turishi qayd etilgan [3–5]. Bu xususiyatlar ko'mirni to'g'ridan-to'g'ri yoqish jarayonida energiya samaradorligini pasaytiradi, qozonlarning tez ifloslanishiga va shlaklanishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun ko'plab tadqiqotlar ko'mirni boyitish, namlikni kamaytirish, minerallar va balast zarrachalarini ajratish orqali uning issiqlik berish qobiliyatini oshirishga qaratilgan.

Material va metodlar

Yuqoridagi muammolarga yechim sifatida ko'mir yoqilg'isining issiqlik berish qobiliyatini oshirish metodlarini qo'llash maqsadga muvofiqdir. Bular asosan quyidagilar:

1. Ko'mir tarkibiga yonish issiqligini oshiruvchi moddalar qo'shib aralashma holatiga keltirib yoqishga tayyorlash.
2. Ko'mir tarkibidagi yonmaydigan moddalarni ajratib olib tashlash orqali issiqlik berish qobiliyatini oshirib yoqishga tayyorlash.

Dastlabki metodda ko'plab ishlar qilingan bo'lib, bularga misol tariqasida quyidagilarni: suv-ko'mir aralashmali yoqilg'I [8], kompozitsion suyuq yoqilg'I, oksid magniyli ko'mir aralashmasi va suspenziyalarni keltirish mumkin. Angren ko'mirida bu usul hozircha qo'llanilmaydi, chunki u yoqish texnologiyasini o'zgartirishni va shunga mos ravishda elektr stansiyalarimizdagi qozonxonalarni qayta jihozlashni talab qiladi.



2-rasm. Mamlakatimizda ko'mirga bo'lgan talabning ortishi²

² https://ru.theglobaleconomy.com/Uzbekistan/coal_consumption

Ikkinchi turdagi usuldan foydalanishda asosan ko'mir tarkibidagi issiqlik ajratib chiqarmaydigan moddalar, ya'ni namlik va kul tarkibiga o'tuvchi zarrachalardan ajratish tushuniladi. Buning uchun boyitish va quritish jarayonlaridan ko'mirni o'tkazish zarur.

Energetika sohasida ko'mirning namligi va kulliligi asosiy ko'rsatkichlar hisoblanadi, shuning uchun ham ko'mirni qayta ishlash jarayonida qattiq yoqilg'i kerakli sifatga erishishida juda muhim omil hisoblanadi.

Stansiya qozonxonalarida 2 BOMSSH B-1, 2 BOMSSH B-2, 2BR markali ko'mirlar ishlatiladi. Adabiyotlar va IES dagi laboratoriyalardan olingan Angren qo'ng'ir ko'mirining xarakteristikalarini bo'yicha ma'lumotlarning qisqacha mazmuni 1.jadvalda keltirilgan [3].

1-jadval

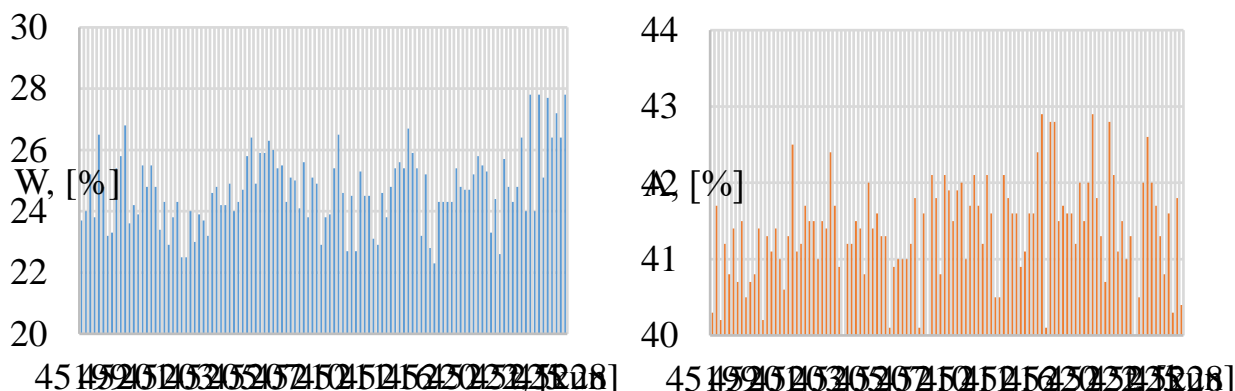
Angren qo'ng'ir ko'mirining ma'lum bir markalarining xarakteristikalarini

Ko'rsatkichlarning nomi		BOMSSH B-1,	BOMSSH B-2,	2BR
Yiriklik ko'rsatkichi orqali ko'mirning markalanishi, mm	d_{9k}	0-50	0-50	300,00
Ishchi holatdagi quyi yonish issiqligi, MDJ/kg	Q_{qu}	10,40	9,2	16,24
Ishchi holatda umumiy namlikning massaviy ulushi %	W	30,0	35,0	32,70
Uglerod miqdori, quruq, kulsiz holat, %	C^H	71	65	73,44
Yonmaydigan zarrachalarning o'lchami, %	D_{yo}	0-50	0-50	0,00-300,00
Yonmaydigan zarrachalarning massaviy ulushi, %	A^H	30	38	21
Juda ko'p bo'lmagan mineral aralashmalarining massa ulushi, %	A	1.8	2.1	2

Kulning kimyoviy tarkibida quyidagi elementlar mavjud: (SiO_2 - 32,5%, Al_2O_3 - 21,5%, Fe_2O_3 - 15%, CaO - 24%, MgO - 3,5%, (K_2O+Na_2O) - 3,5%). Ko'mir tarkibi minerallar, yonishidan keyin hosil bo'lgan kul moddalarini (2-50 m_{as} %) yuqori miqdorda 95-97% Al, Fe, Ca, Mg, Na, Si, K oksidlari, P, Mn, Ba, Ti, Sb boshqa birikmalar va nodir elementlardan iborat [4;5].

Tadqiqot natijalari

Angren IES ga keltirilgan ko'mir sifatini aniqlash uchun tadqiqotlar o'tkazildi va 1 oy davomidagi ko'mirning namlik va kul miqdori bo'yicha olingan ma'lumotlarni tahlili 3-rasmda keltirildi.



3-rasm. Stansiyaga bir oy davomida keltirilgan ko‘mirning sifat ko‘rsatkichi

Angren ko‘mirining ko‘rsatilgan xususiyatlari bilan bog‘liq holda uni boyitish - uni balastdan tozalash va qo‘shimcha hollarda quritish zarurati tug‘iladi.

Umumiy kul miqdorining ko‘payishi IES uskunasining mutanosib eskirishiga olib keladi. Bundan tashqari, kul miqdorining ko‘payishi qozonlarning konvektiv isitish sirtlari ifloslanishini va tutun gazining agressivligini oshiradi.

Kul tarkibining ko‘payishi kul yig‘uvchilarning ishlashini qiyinlashtiradi, issiqlik elektr stansiyalarining ekologik ko‘rsatkichlarini yomonlashtiradi va uskunalarning jiddiy eskirishiga olib keladi. Namlik esa yoqilg‘ining chala yonishiga, chiquvchi zararli gazlarning ko‘payishiga va issiqlik berish qobiliyatining pasayishiga olib keladi. Buning oldini olish uchun ko‘mir quritiladi va boyitiladi. Yuqorida ta‘kidlab o‘tilganidek, Angren ko‘mirining tarkibida ballast moddalarning ko‘pligi tufayli ikkinchi metod ya‘ni quritish va boyitish orqali issiqlik berish qobiliyatini oshirish jarayonini tadqiq qilish bilan shug‘ullanildi. Ko‘mirni quritish va boyitish usullari tahlil qilingan bo‘lib, ulardan optimal usulni tanlash orqali Angren ko‘mirining issiqlik berish qobiliyatini oshirish jarayonini organilgan.

Tadqiqot natijalari tahlili

Boyitish va quritish usullarining tahlili shuni ko‘rsatadiki, mavjud texnologiyalarning qo‘llanishi ko‘mirning fizik-kimyoviy va texnologik xususiyatlari bilan chambarchas bog‘liq. Shu bois, ko‘mirning kaloriya miqdorini oshirish maqsadida boyitish va quritish jarayonlarini uning sifat ko‘rsatkichlaridan kelib chiqqan holda, ma‘lum bir marka ko‘mirga moslashtirilgan holda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

Ushbu masalalarni chuqur o‘rgangan holda quyidagi ilmiy-amaliy vazifalar bajarildi:

- Angren ko‘mirini quruq holda boyitish va uning namligini samarali kamaytirish usullarini ishlab chiqish;
- umumiy quritish va boyitish jarayonlarini birlashtirgan kompleks texnologiyani yaratish;
- mazkur jarayonlar bir vaqtda kechadigan mavhum qaynash qatlamli maxsus qurilmani loyihalash va unda tajribaviy tadqiqotlar o‘tkazish;
- qurilmada quritish va boyitish jarayonlarining kinetikasi va samaradorligini baholash, energiya sarfi hamda issiqlik samaradorligini tahlil qilish;
- ishlab chiqilgan qurilmani sanoat amaliyotiga joriy etish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqish.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida Angren IES sharoitida o'rnatilgan mavhum qaynash qatlamli quritish-boyitish qurilmasidan foydalanish orqali erishilgan iqtisodiy va energetik samaradorlik ko'rsatkichlari quyidagi jadvalda keltiriladi.

2-jadval.

Angren IES da qurilmani o'rnatish orqali olingan iqtisodiy samaradorlik.

No	Aniqlangan ko'rsatkichlarning nomi	Ko'mirni daslabki holatida	Qurilmada ishlov berilgandan keyin
1.	B2 markali ko'mirning kaloriyasi, Q, kkal/kg	2200	3900
2.	1 kVt*soat uchun 0.355 kg/ sh.y ishlatiladi. $B_{sh.yo} = B \frac{Q_q^i}{Q_{sh.yo}}$; B ko'mir sarfi kg/ kVt*soat	$0,355 * \frac{7000}{2200} = 1,129$	$0,355 * \frac{7000}{3900} = 0,637$
3.	1 kg ko'mir narxi, Ck so'm	300	300
4.	1 mln kVt uchun sarflanadigan xarajat, Emln = 1 000 000 · B · Ck, so'm	339 000 000	189 000 000
5.	1 kg ko'mirni quritish va boyitishda havoni haydash uchun E = 200 Vt*soat energiya sarflanadi va unga ketadigan xarajatlar Evin = 1 000 000*E* Ce.e so'm.		1000000 *0,2 *295 = 59 000 000
6.	Ko'mirni boyitish jarayonida massa yo'qotilishi mavjud, yani 1 kg uchun 20 %, $B_{um} = B+0,2B=1,2B$	-	1,2 * 0,637 = 0.7875
7.	Massa yo'qotilishi inobatga olganda sarflangan xarajatlar $E_{20\%} = 1000000 \cdot B_{um} \cdot Ck$, so'm	-	236 250 000
8.	Umumiy yo'qotishlar yig'indisi sarf-xarajat ko'rinishida $E_{um} = E_{20\%} + E_{vin}$, so'm	-	236 250 000 + 59 000 000 = 295 250 000
9.	1 mln kVt ishlab chiqarishda olinadigan sof foyda Efoy = Emln – Eum, so'm	339 000 000 - 295 250 000	43 750 000
10.	Angren IES yiliga o'rtacha 7000 soat ishlasa 1074 mln kVt *saot ishlab chiqaradi, bunda yillik iqtisodiy samara, so'm	1074 *43750000 000	46 987 500 000

Xulosalar

O'tkazilgan tadqiqotlar Angren qo'ng'ir ko'mirining yuqori namlik va kul tarkibi uning issiqlik berish qobiliyatiga sezilarli darajada salbiy ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi. Bu esa issiqlik elektr stansiyalarida yoqilg'i sarfining ortishiga, qozon agregatlarining tez ifloslanishiga va ekspluatatsion xarajatlarning ko'payishiga olib keladi. Shu sababli ko'mirni oldindan quritish va boyitish jarayonlarini joriy etish energetik samaradorlikni oshirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Tadqiqot jarayonida ishlab chiqilgan mavhum qaynash qatlamiga asoslangan quritish-boyitish qurilmasi Angren IES sharoitida sinovdan muvaffaqiyatli o'tkazildi. Tajriba natijalari B2 markali ko'mirning quyi yonish issiqligi 2200 kkal/kg dan 3900 kkal/kg gacha oshganini, yoqilg'i sarfi

sezilarli kamayganini va ishlab chiqarish xarajatlarining optimallashtirilganini ko'rsatdi. Hisob-kitoblarga ko'ra, qurilmadan foydalanish yillik miqyosda 46,9 mlrd so'mgacha iqtisodiy samara beradi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan texnologiya ko'mirning sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash barobarida, issiqlik elektr stansiyalarining umumiy samaradorligini oshiradi, ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytiradi hamda yoqilg'i resurslaridan oqilona foydalanish imkonini yaratadi. Ushbu texnologiyaning Angren IES misolida o'zini oqlagani uni boshqa issiqlik elektr stansiyalarida, mahalliy qozonxonalarda va past sifatli qo'ng'ir ko'mirni qayta ishlashga ixtisoslashgan korxonalarda joriy etish istiqbolini yanada kengaytiradi.

REFERENCES

1. Park Soung. Energy dissipation rate and pressure fluctuations in a three phase fluidized bed with a large column diameter // Korean Journal of Chemical Engineering. 21. (2004). doi.org 1066-1071. 10.1007/BF02705594.
2. Runjia. Liu, Xiao. R, Ye Mao Liu Zhongmin. Analysis of particle rotation in fluidized bed by use of discrete particle model // Advanced Powder Technology. 29. (2018). doi.org 10.1016/j.appt.2018.03.03.
3. Babakhodjaev Rakhimjan, Tashbaev Nazim, Mirzaev Jonreed, Karimov Abdumalik. Study of elementary composition and structural characteristics of high-ash brown coal of angren deposit. V. 216. 01122. (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601122>
4. Babakhodjaev Rakhimjan, Pulatova Dilnoza, Mirzaev Jonrid, Kurbanbaeva Zeynep. Aerodynamics of the solid particle in the ascending stream of the intensified fluidized bed. AIP Conference Proceedings. V 2552. 050025. (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0112010>.
5. Runjia. Liu, Xiao. R, , Ye Mao Liu Zhongmin. (2018). Analysis of particle rotation in fluidized bed by use of discrete particle model.// Advanced Powder Technology. 29. 2018.
6. Бабаходжаев Р. П., Ташбаев Н. Т., Мирзаев Д. А., Эшкуватов Л. М., Курбанбаева М. Ш., Кавкатбеков М.М, Курбанбаева З.Х., Каримов И.Б., Абдуллаев М.А., Полидисперс материалларни иссиқлик билан ишлов бериш ва ёқиш учун қурилма // ЎзРес. ИМА. Ихтиро патенти № IAP 07280 . 2022.
7. Kurbanbaeva M.Sh., R. P. Babakhodjaev, M.M. Kavkatbekov. Increasing the calorific value of Angren lignite coal by an upgraded device. E3S Web of Conferences 434, 01013 (2023) ICECAE 2023 doi.org/10.1051/e3sconf/202343401013
8. Babakhodjaev R.P., et al. *Improved method of coal drying and separation from solid minerals*. AIP Conference Proceedings, Vol. 3152, 050010, 2024.
9. Babakhodjaev R.P. et al. *Device for thermal treatment and combustion of polydisperse materials*. Patent of the Republic of Uzbekistan, IAP 07280, 2022.
10. Mizonov, V.E, Mitrofanov, Andrey, Tannous, Katia, Sizova, O.V. Influence of gas flow oscillation on the efficiency of particulate solids treatment in a circulating fluidized bed. Vestnik IGEU. (2019). <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2019.6.060-066>.
11. Рахманов Х.Г., Тиллоев Л.И., Хаитов Р.Р. Определение физико-механических свойств и химического состава угли Ангрэнского месторождение // Универсум: технические науки. 11(80). 2020. 5-8 p.

12. А.В. Митрофанов, В.Е.Мизонов, К. Tannous, Л.Н.Овчинников. Теоретическое исследование кинетики гранулирования в периодическом кипящем слое // Изв.вузов. Химия и хим.технология.. Т. 60. Вып. 5. 2017.82-87с.
13. А.В. Митрофанов, В.Е.Мизонов, К. Tannous, Л.Н.Овчинников. Теоретическое исследование кинетики гранулирования в периодическом кипящем слое // Химия и хим.технология. Т. 60. Вып. 5. 2017. 82-87с.
14. Luo, Z., Fan, M., Zhao, Y., Tao, X., Chen, Q. , Chen, Z. 2008. Density-dependent separation of dry fine coal in a vibrated fluidized bed. Powder Technology, 187. 2010.119-123 p.
15. Ma Jiliang, Chen Xiaoping, Liu Daoyin. Minimum fluidization velocity of particles with wide size distribution at high temperatures, powder technology 235 (2013) 271–278 p.
16. Jan J. Hycnar. Y, Inżynieria M. Methods of Increasing the Calorific Value of Fine Coal Waste // Journal of the polish mineral engineering society. 33-55 p.
17. Zbigniew Plutecki, Paweł Sattler, Krystian Ryszczuk, Anna Duczkowska and Stanisław Anweiler. Thermokinetics of brown coal during a fluidized energies 2020, 13, 684; <https://doi.org/10.3390/en13030684>./journal/energies.
18. Haifeng Wang, Xuejie Bai, Zhen Peng, Xiaolu Zhao, Jinshan Yang, Shuai Wang, Yaqun He. Enrichment effect of coal and quartz particles in gas-solid fluidized bed with applied electrical field // Powder Technology, Volume 354, 2019., <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.06.046>.
19. R. R. Sharapov, E. V. Kharlamov, V. V. Yadykina. The fluidized bed separator // ICMEMSCE IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 324 (2018) <https://doi.org/10.1088/1757-899X/324/1/012052>.
20. В.П. Шилаев. Основы обогащения и переработки полезных ископаемых: Учебное пособие; - Т.: «Наука и техника», 2019. 216 с
- 21.