

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc 03/10.12.2019.T.03.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

KAVKATBEKOV MURODJON MAMITBEKOVICH

**KULLIK DARAJASI YUQORI BO‘LGAN ANGREN QO‘NG‘IR KO‘MIRI
UCHUN GAZIFIKATSIYALASH QURILMASINI ISHLAB CHIQISH VA
TADQIQ ETISH**

05.05.04 – Sanoat issiqlik energetikasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PHD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Kavkatbekov Murodjon Mamitbekovich

Kullik darajasi yuqori bo‘lgan Angren qo‘ng‘ir ko‘miri uchun
gazifikatsiyalash qurilmasini ishlab chiqish va tadqiq etish..... 5

Кавкатбеков Муроджон Мамитбекович

Разработка и исследование установки газификации для высокозольного
Ангренского бурого угля..... 21

Kavkatbekov Murodjon Mamitbekovich

Development and research of a gasification plant for high-ash Angren brown
coal..... 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works 45

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc 03/10.12.2019.T.03.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

KAVKATBEKOV MURODJON MAMITBEKOVICH

**KULLIK DARAJASI YUQORI BO‘LGAN ANGREN QO‘NG‘IR KO‘MIRI
UCHUN GAZIFIKATSIYALASH QURILMASINI ISHLAB CHIQISH VA
TADQIQ ETISH**

05.05.04 – Sanoat issiqlik energetikasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PHD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.3.PhD/T3160 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) ilmiy kengash veb-sahifasi (www.tdtu.uz) hamda "ZiyoNet" axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Babaxodjayev Raximjan Pachexanovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Uzakov Gulom Norboyevich
texnika fanlari doktori, professor

Shaislamov Alisher Shabduraxmanovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

"Issiqlikelektrloyiha" AJ

Dissertatsiya himoyasi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/10.12.2019.T.03.03 raqamli ilmiy kengashning 2025 yil " 5 " 04 soat 10:30 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 246-46-00; faks: (99871) 227-10-32, e-mail: istu_info@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (12 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent, Universitet ko'chasi, 2-uy. Tel.: (99871) 207-14-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil " 12 " 03 kuni tarqatildi.
(2025 yil " 11 " 03 dagi 4 raqamli reyestr bayonnomasi).



K.R. Allayev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor, akademik

I.U. Raxmonov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori, professor

A.M. Mirzabayev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi o'rinbosari,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (doktorlik (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzuning dolzarbligi va zarurati. Jahonda tabiiy gaz va neft kabi an'anaviy energiya manbalarining kamayishi, qattiq yoqilg'ilarni gazifikatsiyalash texnologiyalarini ishlab chiqish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Dunyoda o'zlashtirilgan ko'mir zaxiralari 200-250 yilga yetishi mumkin¹. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda elektr energiyasining deyarli 40 foizi ko'mir yoqilg'isida ishlaydigan elektr stansiyalarida ishlab chiqariladi. Bu borada, jumladan qattiq yoqilg'ini yoqishning an'anaviy usullariga nisbatan ko'mirni gazifikatsiyalash asosida ko'mirni ekologik toza qayta ishlash samaradorligini oshirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda energiya sig'imdorligi yuqori bo'lgan uzluksiz ishlab chiqarish xarakteridagi konchilik, qora va rangli metallurgiya, kimyo sanoati korxonalarini issiqlik va elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun ekologik zararsiz yoqilg'i manbalarini ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, issiqlik elektr stansiyalarda qattiq yoqilg'ilarni gazifikatsiyalash orqali hosil bo'lgan gazlardan foydalanish, atrof-muhit ifloslanishini kamaytirish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, qattiq yoqilg'ilarni gazifikatsiyalashda yoqilg'ilarning fizik-kimyoviy xususiyatlarini tahlil qilish, baholash, gazifikatsiyalash jarayoniga ta'sir qiluvchi omillarni aniqlash asosida ilmiy asoslangan ko'mirni gazifikatsiyalash vaqti, gazifikatsiyalash qurilmasining konstruktiv o'lchamlari, gazifikatsiya jarayoni harorati hamda hosil bo'ladigan gazning kimyoviy tarkibini aniqlash imkonini beruvchi dasturiy mahsulotlarni ishlab chiqish dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda iqtisodiyot tarmoqlari kesimida energiya sig'imdorligini 2030-yilga qadar bir yarim barobarga kamaytirish maqsadida yangi texnologik yechimlarni yaratish va takomillashtirish hamda joriy etishga doir keng ko'lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan, "iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlash, shuningdek, "Yashil iqtisodiyot" texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 % oshirish va atmosferaga zararli gazlar tashlamalarini 20 % kamaytirish"² vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, sanoat korxonalarida elektr energiyasi va issiqlik ishlab chiqarishning energiya sarfini kamaytirish yo'nalishida energiya resurslaridan oqilona foydalanish bo'yicha kompleks chora-tadbirlarni ishlab chiqish va joriy etish, yoqilg'i resurslari sifatini oshirish usullarini modellashtirish, elektr va issiqlik energiyasini ishlab chiqarishda shartli yoqilg'i sarfini kamaytirish, klassik va zamonaviy usullar asosida qattiq yoqilg'ilarni gazifikatsiyalash uslubiyatini ishlab chiqish masalalarini yechishga qaratilgan ilmiy- tadqiqot ishlarini olib borish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi

¹ А. И. Гайворонский, В. А. Марков, Ю. В. Илатовский. - М.: ИПЦ Газпром, 2007. - 478 с.

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-60-son 28.01.2022-yildagi "2022 - 2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

to'g'risida"gi Farmoni, 2017-yil 13-iyundagi PQ-3054-son "2017-2021-yillarda ko'mir sanoatini yanada rivojlantirish va modernizatsiya qilish dasturi to'g'risida"gi, 2023-yil 16-fevraldagi PQ-57-son "2023-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejaydigan texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2023-yil 10-apreldagi PQ-185-son "Ijtimoiy soha obyektlarining issiqlik ta'minoti tizimlarini davlat-xususiy sheriklik asosida modernizatsiya qilish to'g'risida"gi PQ-118-son qaroriga o'zgartirish va qo'shimchalar kiritish to'g'risida" gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurs-tejamkorlik" ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Dunyoning yetakchi ilmiy markazlari va oliy ta'lim muassasalarida, jumladan, Technical University Drezden (Germaniya), Czech Technical University in Prague (Chexiya), Sonitpur polytechnic (Hindiston), Nanyang Technological University (Singapur), University of Nevada-Las Vegas (AQSH), Harbin Engineering University (Xitoy), Technical University Toyohashi, Technical University Nagoya (Yaponiya), "MEI" Milliy tadqiqot universiteti, (Rossiya), Ural Federal texnika universiteti (Rossiya), Perm ko'mir ilmiy-tadqiqot instituti (Rossiya), Kuzbas davlat texnika universiteti (Rossiya), Rossiya Fanlar akademiyasining Uglerod fizikasi instituti (Rossiya), Donetsk davlat ko'mir ilmiy-tadqiqot instituti (Ukraina), Ukraina ko'mir kimyosi ilmiy-tadqiqot instituti (Ukraina) va Toshkent davlat texnika universiteti (O'zbekiston) olimlari tomonidan qattiq yoqilg'ilarni gazifikatsiyalash yo'nalishida keng ko'lamlil ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Qattiq yoqilg'ilarni yonish va gazifikatsiyalash jarayonini o'rganish, yonish va gazifikatsiyalash jarayonini jadallashtirish, texnologiya samaradorligini oshirish va qurilmalar konstruksiyasining ixchamligini oshirish, hisoblash uslubiyoti va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish kabi masalalarni hal qilishda bir qator taniqli xorijiy olimlar katta hissa qo'shganlar, jumladan, B.V. Kantorovich, V.V. Pomeransev, V.S. Altshuler, G.I. Deshalit, G.N. Delyagin, N.E. Rambush, G-D. Shilling, B. Bonn, U. Kraus, V.A. Muns, Ch. Higman, M. van der Burgt, P.R. Solomon, D.G. Hamblen, J. Feroso, B. Arias, M.G. Plaza, Peng Liang, Zhifen Vang, Zhichen Bi, J. Dolu, L. Kuddusi va boshqalar.

Polidispers materiallarga muallaq qatlamda issiqlik bilan ishlov berish, shuningdek, qattiq yoqilg'ilarning yonishi va gazifikatsiyalash jarayonlarini o'rganish, qozonxona qurilmalarining samaradorligini oshirish kabi ilmiy muammolarni hal qilishga O'zbekistonning taniqli olimlarining ilmiy ishlari bag'ishlangan. Bulardan: R.B. Axmedov, N.R. Yusupbekov, Z.S. Tolibjonov, D.N. Muxiddinov, R.P. Babaxodjayev, N.T. Tashbayev va boshqalar. Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida issiqlik va elektr energiyasini ishlab chiqish samaradorligini oshirish masalalarini yechishda salmoqli natijalarga erishildi.

Sezilarli muvaffaqiyatlarga qaramay, kullik darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir ko'mirini gazifikatsiyalash sohasidagi texnologiyalarni rivojlantirish, gazifikatsiyalash jarayonini boshqarish uslubiyatini yaratish bilan bog'liq ilmiy muammolar yetarli darajada o'rganilmagan. Mazkur dissertatsiya ishida kullik darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir ko'mirini gazifikatsiyalash sohasidagi texnologiyalarni rivojlantirish, gazifikatsiyalash jarayonini boshqarish uslubiyatini yaratishda texnologik jarayonning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda, qattiq yoqilg'ilarni gazifikatsiyalashda yoqilg'ilarning fizik-kimyoviy xususiyatlarini tahlil qilish, baholash, gazifikatsiyalash jarayoniga ta'sir qiluvchi omillarni aniqlandi. Buning asosida ilmiy asoslangan ko'mirni gazifikatsiyalash vaqti, gazifikatsiyalash qurilmasining konstruktiv o'lchamlari, gazifikatsiya jarayoni harorati hamda hosil bo'ladigan gazning kimyoviy tarkibini aniqlash imkonini beruvchi dasturiy mahsulot yaratish hamda energiya harajatlarini kamaytirish usullari taklif etilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy tadqiqot rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining "OT-A3-58 "Issiqlik ishlab chiqarishning texnologik sxemasida tutun gazidan maksimal darajada foydalanish orqali issiqlik energiyasini ishlab chiqarishning energiya samaradorligini oshirish" (2017-2018 y.y.), № OT-Atex- 2018-437 "O'rta va uzoq muddatli istiqbolda respublika energetika sektorining yoqilg'i balansini diversifikatsiya qilish bo'yicha ilmiy-texnik yechimlar majmuasini ishlab chiqish" (2018-2020 y.y.) mavzularidagi loyihalar doirasida hamda "Sanoat issiqlik energetikas" kafedrasining "Sanoat korxonalarida issiqlik energiyasi va yoqilg'idan foydalanishda samaradorlikni oshirish" mavzusida olib borilayotgan ilmiy tadqiqot yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi kullik darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir ko'mirini qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasini takomillashtirish va tadqiq qilishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

kullik darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir ko'mirining mexanik, fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'rganish;

past navli va kullik darajasi yuqori bo'lgan ko'mirlarni gazifikatsiyalash texnologiyalarini tahlil qilish va o'rganish;

ko'mirni gazifikatsiyalash jarayonining fizik va matematik modelini tuzish va sonli tajribalar o'tkazish;

qurilmani takomillashtirish va ish rejimlarini tadqiq qilish, to'g'ridan to'g'ri qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasining ratsional energiya samarador parametrlarini aniqlash, nazariy ma'lumotlarni eksperimental ma'lumotlar bilan taqqoslash;

kullik darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir ko'miri misolida texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarni hisoblash va gazifikatsiyalash qurilmasini joriy etish.

Tadqiqotning obyekti sifatida ko'mir yoqilg'isida ishlaydigan issiqlik elektr stansiyalari olingan.

Tadqiqot predmeti kullik darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir

ko‘mirini zich qatlamda gazifikatsiyalash jarayoni tashkil qiladi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida qattiq yoqilg‘ilarni gazifikatsiyalash jarayonlarining moddiy balansini tavsiflash uchun ma‘lum bo‘lgan modellarga, qatlamli yonish haqidagi nazariy tushunchalarga va shunga o‘xshash tizimlarga qo‘llaniladigan eksperimental zamonaviy usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Angren qo‘ng‘ir ko‘mirining kullik va namlik darajasining yuqoriligini hisobga olgan holda past navli ko‘mirni gazifikatsiyalash jarayonlarini tahlil qilish asosida qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasi takomillashtirilgan;

qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasiga beriladigan ko‘mirning boshlang‘ich diamerti, qatlamlarning harorati omillarining o‘zgarishini inobatga olgan holda gazifikatsiya vaqti, gazifikatsiyalash qurilmasining balandligi, gazifikatsiya jarayoni harorati hamda hosil bo‘ladigan gazning kimyoviy tarkibini aniqlash imkonini beruvchi matematik model takomillashtirilgan;

qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasining yonish zonasida havoni teng taqsimlanishini hisobga olgan holda generator gazi yonish issiqligining kul miqdori darajasi va namlikga bog‘liqligini aniqlash asosida gazifikatsiya jarayonining statsionar holatini ifodalovchi havoning ortiqchalik koeffitsiyentining ratsional qiymatlari $\alpha = 0,5-0,7$ ga, yonish zonasi balandligining qayta tiklanish zonasi balandligiga nisbati 0,5 ga, ko‘mir zarrachalarining o‘lchamlari 10-20 mmga tengligi aniqlangan;

qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasida ko‘mirining namlik, kul hamda ko‘mir zarralarining o‘zaro bog‘liqlik ko‘rsatkichlarini inobatga olgan holda gazifikatsiyalash jarayonlarning bir vaqtda sodir bo‘lishi asosida generator gazining yonish issiqligini oshirish usuli takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijasi quyidagilardan iborat:

kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘mirini gazifikatsiyalash jarayonini tadqiq qilish uchun eksperimental qurilma ishlab chiqilgan;

qatlamli gazogeneratorida generator gazining issiqlik hosil qilish qobiliyatini aniqlash, kuzatish va hisoblash imkonini beruvchi dasturiy mahsulot yaratilgan;

ko‘mirni gazifikatsiyalash jarayonida gazogenerator qurilmasiga havo uzatishning ratsional qiymatlari aniqlandi va uni hisoblash uchun dasturiy mahsulot yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi termodinamikaning asosiy qonunlari, issiqlik va massa almashinuvi nazariyasining klassik usullari, matematik va fizik qonunlari bo‘yicha bajarilgan uslubiy jihatdan asoslangan nazariy termodinamik hisob-kitoblarning amalga oshirilganligi, shuningdek, MATLAB dasturiy modulida olingan natijalarning bir-biriga mos kelishi va nazariy va amaliy tadqiqotlar natijalarining bir-biriga mos kelishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘mirini gazifikatsiyalash qurilmasini ishlab chiqish va yaratish hamda kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘miridan foydalanish samaradorligini

o'shishga hissa qo'shishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati qatlamli gazogeneratorning pastki qismiga o'rnatiladigan konstruktiv jihatdan takomillashtirilgan kolosnikli panjara, ratsional geometrik parametrlar va empirik tenglamalardan iborat bo'lib, bunday qurilmalarni loyihalash va yaratish, rekonstruksiya qilish va modernizatsiya qilishda foydalanish mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Kullik darajasi yuqori bo'lgan Angren qo'ng'ir ko'miri uchun takomillashtirilgan gazifikatsiyalash qurilmasini va gazifikatsiya jarayonining matematik modelini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasi "Angren IES" AJ da joriy qilingan ("Issiqlik elektr stansiyalari" AJ ning 2024 yil 26 dekabrda 02-06/2149 sonli ma'lumotnomasi). Natijada, qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasi yordamida qo'ng'ir ko'mirdan generator gazini olish va shu orqali atrof-muhitga chiqadigan zararli gazlarning miqdorini kamaytirish, qozon qurilmasini ishlash davrini uzaytirish imkoniyati yaratilgan;

gazifikatsiya jarayonining statsionar holatini ifodalovchi havoning ortiqchalik koeffitsiyentining ratsional qiymatlari, yonish hududi balandligining qayta tiklanish zonasi balandligiga nisbati, ko'mir zarrachalarining o'lchamlari "Angren IES" AJning TII-230-2 turidagi qozon qurilmasida joriy qilingan ("Issiqlik elektr stansiyalari" AJ ning 2024 yil 26 dekabrda 02-06/2149 sonli ma'lumotnomasi). Natijada, "Angren IES" AJ ga "Yerostigaz" AJ tomonidan yetkazib beriladigan gazning yonish issiqligiga nisbatan 8 % ga yuqori bo'lgan generator gazini olish hamda olinadigan issiqlik energiyasining tan narxi 8 % gacha kamaytirish imkoniyati yaratilgan;

generator gazining yonish issiqligini oshirish usuli "Angren IES" AJ da joriy qilingan ("Issiqlik elektr stansiyalari" AJ ning 2024 yil 26 dekabrda 02-06/2149 sonli ma'lumotnomalari). Natijada, kul miqdori darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir ko'mirini 800 t/yil miqdorida gazifikatsiyalash natijasida yillik iqtisodiy samara 151 272 000 so'mni tashkil etib, atrof-muhitga chiqarilayotgan zararli moddalar (uchuvchan kul, azot oksidi, karbonat angidrid, oltingugurt angidrid) miqdorini 33 t/yilga kamaytirish imkoniyati yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjuman va seminarlarida muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 14 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 6 ta maqolalar, jumladan 4 ta respublika va 1 ta chet el ilmiy jurnallarida hamda 1 ta Scopus bazasiga kiruvchi to'plamlarda nashr etilgan, 2 ta EHM uchun dasturga guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi jami 104 betdan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqotning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqotning obyekti va predmeti keltirilgan, O'zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi, olingan natijalari, ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan. Tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, ishning aprotatsiyasi, nashr etilgan ilmiy ishlar, shuningdek, dissertatsiya tarkibi va hajmi to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Ko'mirni qayta ishlashning texnologik jarayonlari**" deb nomlangan birinchi bobida o'rganilayotgan mavzuning zamonaviy holatini tahlil qilish asosida tadqiqot muammosi shakllantirilgan. Ushbu bobda past navli ko'mirlarni qayta ishlashning asosiy usullari, ko'mirlarni gazifikatsiyalashning zamonaviy texnologiyalari masalalari, gazogenerator qurilmalarining konstruksiyalari va ularning xususiyatlari, ko'mirni qatlamli gazifikatsiyalash jarayonining samaradorligini oshirish usullari va hisoblash masalalari, qatlamli gazogeneratorlarda qattiq yoqilg'ining mexanik kam yonishini kamaytirish usullari ko'rib chiqilgan. Ma'lum ilmiy ishlar va axborot manbalarining tahlili qatlamli gazogeneratorlarda past navli ko'mirlarni gazifikatsiyalash jarayoni to'g'risidagi ma'lumotlarning cheklanganligini ko'rsatdi. Gazogenerator kesimi bo'yicha gazlashtiruvchi agentning notekis taqsimlanishi gazifikatsiyalash jarayonini barqaror olib borishga to'sqinlik qiladi. Olimlar tomonidan past navli ko'mirlarni qatlamli gazifikatsiyalash jarayonining samaradorligini oshirishga qaratilgan tadqiqotlar olib borilmoqda, shu yoqilg'ini to'g'ridan-to'g'ri yoqishga nisbatan zararli atmosfera tashlamalari hosil bo'lishini kamaytirish maqsadida. Qo'yilgan muammoning zamonaviy holatini tahlil qilish asosida quyidagi xulosaga kelindi: past navli ko'mirlarni to'g'ridan to'g'ri ishlaydigan qatlamli gazogeneratorlarda gazifikatsiyalash jarayonini olib borishda sarf bo'yicha ratsional qiymatlarni aniqlash, shuningdek, gazlashtiruvchi agentning bir tekis taqsimlanishini tashkil etish, ishlatiladigan qattiq yoqilg'i sifati bo'yicha maqbul qiymatlarni topish orqali issiqlik-massa almashinuv, kimyoviy jarayonlarni jadallashtirish va ko'mirni qayta ishlash samaradorligini oshirish mumkin qurilmaning energiya samaradorligi.

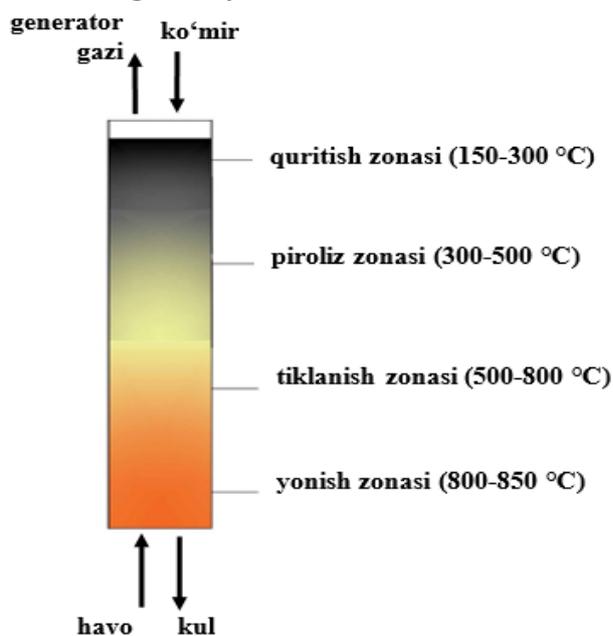
Dissertatsiyaning "**Qatlamli gazifikatsiyalash jarayonining matematik tavsifi**" deb nomlangan ikkinchi bobida gazifikatsiyalash jarayonining fizik, matematik modellari keltirilgan. Ko'mirni gazifikatsiya jarayonini tadqiq qilishga mo'ljallangan gazogenerator qurilmasining fizik modeli ko'rib chiqilgan (1-rasm).

Ko'mir gazlovchi agentga (havoga) va jarayonda hosil bo'lgan gaz aralashmasiga qarama-qarshi yo'nalishda harakatlanadi. Gazifikatsiya jarayoni to'rtta ish zonasida amalga oshiriladi: quritish, piroliz, tiklanish va yonish zonasi.

Quritish zonasi. Ko'mir quritish zonasiga tushadi, u yerda generator gazidan olingan issiqlik hisobiga ko'mirning sirdagi namligi chiqib ketadi. Bu zonada harorat 150-300 °C ni tashkil etadi.

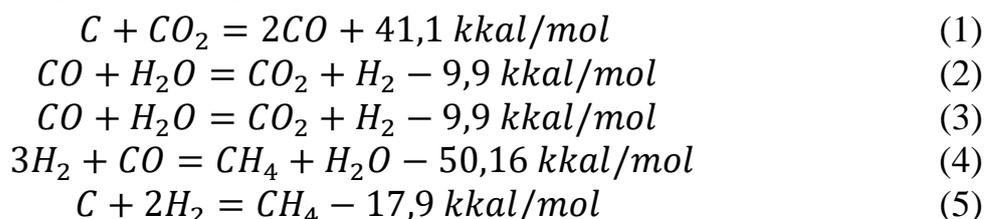
Piroliz zonasi. Quritish zonasidan so'ng ko'mir piroliz zonasiga o'tadi, bu yerda uglerod va vodorodning kislorodsiz kimyoviy o'zaro ta'siri sodir bo'ladi. Piroliz zonasida ko'pincha tiklanish va yonish zonalarida hosil bo'lgan issiqlikdan

foydalanish hisobiga metan hosil bo'lishi kuzatiladi. Piroliz zonasidagi harorat 300 dan 500 °C gacha yetadi.



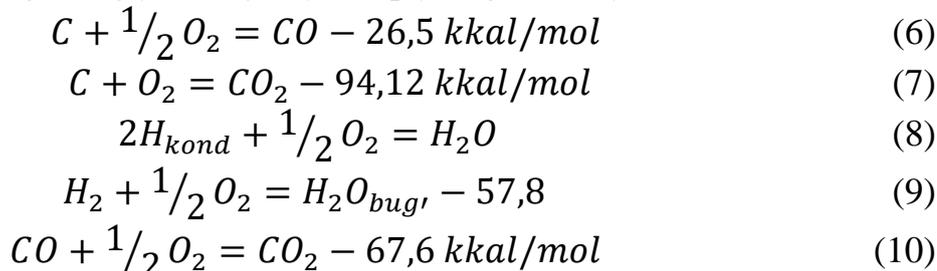
1-rasm. Qatlamli gazogeneratorning fizik modeli

Tiklanish zonasi. Tiklanish zonasida yonish zonasidan o'tgan kislorod hisobiga uglerodning to'liq yonmasligi sodir bo'ladi. Havoning ortiqchalik koeffitsiyenti $\alpha < 1$. Bu yerda uglerod, karbonat anhidrid, shuningdek, suv bug'larining kimyoviy o'zaro ta'siri kuzatiladi. Tiklanish zonasi shu bilan xarakterlanadiki, ma'lum termik sharoitlar hisobiga bu yerda generator gazining CO , H_2 va CH_4 kabi asosiy yonuvchi komponentlari hosil bo'ladi.



Tiklanish zonasida qatlamning harorati yonish zonasining issiqlikni yutishi va nurlanishi hisobiga pasayadi. (4) va (5) reaksiyalar bo'yicha metanni sezilarli tezlikda faqat gazogeneratorda yuqori bosimlarda (2-4 MPa) hosil qilish mumkin.

Yonish zonasi. Yonish zonasining asosiy vazifasi gazifikatsiyalash jarayonini samarali olib borish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdorini ta'minlashdan iborat. Qattiq yoqilg'i gazlashtiruvchi agent ta'sirida oksidlanadi. Pastdan yonish zonasiga havo kolosnikli panjara orqali beriladi. Kolosnikli panjara havo oqimining bir tekis taqsimlanishiga yordam beradi. Kul kolosnik panjaraning teshiklari orqali chiqarib yuboriladi. Koks qoldig'ining yonish jarayoni quyidagi reaksiyalar bilan kechadi:



(6) va (7) reaksiyalar uglerod qoldig'i yonganda uglerod oksidi hosil bo'lishi bilan boradi. Vodorod yonilg'isining oksidlanishi (8) va (9) reaksiyalarga muvofiq geterogen va gomogen jarayonlardan o'tadi. (6) - (10) reaksiyalar ekzotermik bo'lib, yonish zonasidagi harorat 850-900 °C gacha yetishi mumkin. Mexanik chala yonishning past darajasi uglerod qoldig'ining intensiv yuqori haroratli konversiyasi hisobiga ta'minlanadi.

Matematik modelni ishlab chiqishda ko‘mir qatlamining harakati gaz generatori silindrik qismining ichida ko‘rib chiqiladi.

Quyidagi farazlar qabul qilingan:

- Issiqlik o‘tkazuvchanligining simmetrik, shar shaklidagi quruq yakka ko‘mir zarrasining bir o‘lchovli modeli ko‘rib chiqiladi;
- Issiqlik radiatsiya va konveksiya bilan bir vaqtda o‘tkaziladi;
- Issiqlik-fizik xarakteristikalari shartli o‘zgarmas;
- Ko‘mir zarrasi termik jihatdan massiv hisoblanadi.

Harakat tenglamalarida og‘irlik kuchining gaz va ko‘mir zarralari oqimiga ta‘siri hisobga olinmaydi. Ko‘mir zarrasining harakati, yonishi va issiqlik almashinuvini tavsiflashda quyidagilar nazarda tutiladi:

zarraning fazodagi holati vaqtning har bir momentida uchta koordinata (z , r , θ) bilan belgilanadi;

ko‘mir zarralari o‘zgaruvchan diametri $\delta = \delta(t)$ bo‘lgan sferik shaklga ega; yonish reaksiyasi uglerod oksid (CO_2) hosil bo‘lishi bilan boradi; gazogeneratoridagi havoning kimyoviy tarkibi o‘zgarmay qoladi.

Ko‘mir zarrasining harakati moddiy nuqta dinamikasi tenglamasi bilan tavsiflanadi:

$$\frac{d\bar{r}}{dt} = \bar{V}_y \quad (11)$$

$$\frac{d\bar{V}_y}{dt} = c_f \frac{s_y \cdot \rho_{gaz}}{W_y \cdot \rho_y} \frac{|\bar{V}_{gaz} - \bar{V}_y|}{2} (\bar{V}_{gaz} - \bar{V}_y) \quad (12)$$

boshlang‘ich shartlar bilan:

$$\bar{r}|_{t=0} = \bar{r}_0 \quad (13)$$

$$\bar{V}_y|_{t=0} = \bar{V}_{y0} \quad (14)$$

bu yerda, \bar{r} – ko‘mir zarrasining radiusi, [m], W_y – ko‘mir zarrasining hajmi, [m³], \bar{V}_y – ko‘mir zarrasining tezligi vektori, [m/s], \bar{V}_{gaz} – gaz - gazning tezligi vektori, [m/s], c_y – ko‘mir zarrasining aerodinamik qarshilik koeffitsiyenti, δ – ko‘mir zarrasining diametri, [m], s_y – medel kesimining yuzasi, [m²], ρ_y – ko‘mir zarrasi zichligi, [kg/m³], ρ_{gaz} – gaz zichligi, [kg/m³].

$\bar{\omega} = \bar{V}_{gaz} - \bar{V}_y$, deb belgilaymiz u holda (2) ko‘mir zarrachalarining silindrik koordinatalardagi harakat qonunini yozishdan so‘ng quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\begin{cases} \frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{3}{4} c_f \frac{\rho_{gaz}}{\rho_y \delta(t)} |\bar{\omega}| W_z \\ \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{3}{4} c_y \frac{\rho_{gaz}}{\rho_y \delta(t)} |\bar{\omega}| W_r + r \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \\ \frac{d^2 \varphi}{dt^2} r = -\frac{3}{4} c_y \frac{\rho_{gaz}}{\rho_y \delta(t)} |\bar{\omega}| W_\varphi - 2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{dr}{dt} \end{cases} \quad (15)$$

(15) tenglamalar sistemasida) $z=z(t)$, $r=r(t)$, $\varphi=\varphi(t)$ t vaqt momentida harakatlanayotgan ko‘mir zarralarining koordinatalari, $\bar{\omega}$ - nisbiy tezlik vektori.

$$\begin{cases} W_z = \frac{dz}{dt} - V_z \\ W_r = \frac{dr}{dt} - V_r \\ W_\varphi = 2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} - V_\varphi \\ |W| = \sqrt{w_z^2 + w_r^2 + w_\varphi^2} \end{cases} \quad (16)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$\beta = \frac{3 \rho_{gaz}}{4 \rho_y \delta};$$

$$y_1 = z(t); \quad y_2 = \frac{dz}{dt}$$

$$y_3 = r(t); \quad y_4 = \frac{dr}{dt}$$

$$y_5 = \varphi(t); \quad y_6 = \frac{d\varphi}{dt}$$

U holda (15) tenglamalar sistemasini quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_2 \\ y_2 = -\beta c_y |W| (y_2 - V_z) \\ \frac{dy_3}{dt} = y_4 \\ y_4 = -\beta c_y |W| (y_4 - V_r) - y_3 \cdot y_6^2 \\ \frac{dy_5}{dt} = y_6 \\ y_6 = -[\beta c_y |W| (y_3 y_6 - V_\varphi) + 2y_4 y_6] / y_3 \end{cases} \quad (17)$$

Oltita birinchi tartibli differensial tenglamalar sistemasi uchun quyidagi boshlang‘ich shartlar berilishi kerak:

$$\begin{aligned} y_1(0) &= 0; & z(0) &= 0; \\ y_2(0) &= y_{20}; \\ y_3(0) &= y_{30}; \\ y_4(0) &= y_{40}; \\ y_5(0) &= 0; & \varphi(0) &= 0; \\ y_6(0) &= y_{60}. \end{aligned}$$

$\varphi(0) = 0$ shart shuni anglatadiki, ko‘mir zarrasi harakati zarrani gazogeneratorga burchak bo‘yicha yuklash joyiga bog‘liq emas. Shartlar $y_2(0) = y_{20}$, $y_4(0) = y_{40}$, $y_6(0) = y_{60}$ ni o‘zgartirish mumkin, chunki ko‘mir zarralarining boshlang‘ich tezliklari bir-biridan farq qiladi.

(17) tenglamada ko‘mir zarrasining diametri hisobga olinadi. Gazifikatsiya hisobiga ko‘mir zarrasi diametrining o‘zgarishi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{d\delta}{dt} = 2 \frac{K_s^C}{\rho_y} \quad (18)$$

boshlang‘ich shartlarda:

$$\delta|_{t=0} = \delta_0 \quad (19)$$

$$K_s^c = \beta \cdot O_2 \cdot \alpha \cdot \rho_{\text{газ}}, \quad \alpha = \frac{\alpha_k \cdot \alpha_d}{\alpha_k + \alpha_d} \quad (20)$$

$$\alpha_k = k_0 \exp(-E/RT), \quad \alpha_d = Nu_d \frac{D}{\alpha_k} k_t \quad (21)$$

bunda, Nu_d – Nusselt diffuziya soni; D – kislorodning gazdagi diffuziya koeffitsiyenti, [m/s]; K_s^c – uglerodning yonish tezligi, [kg/m²·s]; $\beta=0,35$ – stexiometrik reaksiya koeffitsiyenti; O_2 – gazdagi kislorod konsentratsiyasi; $\alpha, \alpha_k, \alpha_d$ – mos ravishda reaksiya va diffuzion issiqlik almashinuvining reaksiya tezligi koeffitsiyentlari, [J/mol]; k_0 – preeksponensial ko‘paytuvchi, [m/s²]; E – aktivlanish energiyasi, [J/mol]; $R=8,314$ – universal gaz doimiysi, [J/mol·K]; T – ko‘mir zarrasining harorati, [K].

(18) ga (19), (20) ifodalarni qo‘yib va soddalashtirib, quyidagi differensial tenglamaga ega bo‘lamiz:

$$\frac{d\delta}{dt} = -\frac{K_s}{A_k \delta + A_d} \quad (22)$$

bunda, $A_d = Nu_{\text{газ}} D k_t$,

$$A_k = k_0 \exp(-E/RT),$$

$$K_s = \frac{2\beta O_2 \rho_g}{\rho_p} \cdot \alpha, \quad \alpha = A_k \cdot A_d.$$

(15) yechim quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\delta^2 + A_{d_k} \delta - (\delta_0^2 + A_{d_k} \delta_0 - K_{s_d}) = 0 \quad (23)$$

bunda, $A_{d_k} = \frac{2A_d}{A_k}$,

$$K_{s_d} = \frac{2K_s}{A_k}.$$

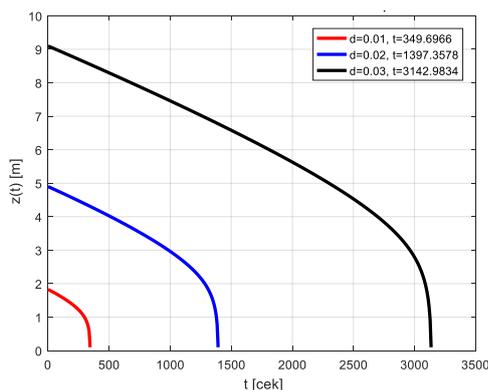
(16) kvadrat tenglamaning yechimi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\delta = -(A_{d_k} + \sqrt{d_a - K_{s_d} \cdot t})/2 = 0 \quad (24)$$

$$d_a = A_{d_k}^2 + 4(\delta_0^2 + A_{d_k} \delta_0)$$

gazifikatsiya to‘liq vaqti:

$$t = \frac{d_a - A_{d_k}^2}{K_{s_d}} \quad (25)$$

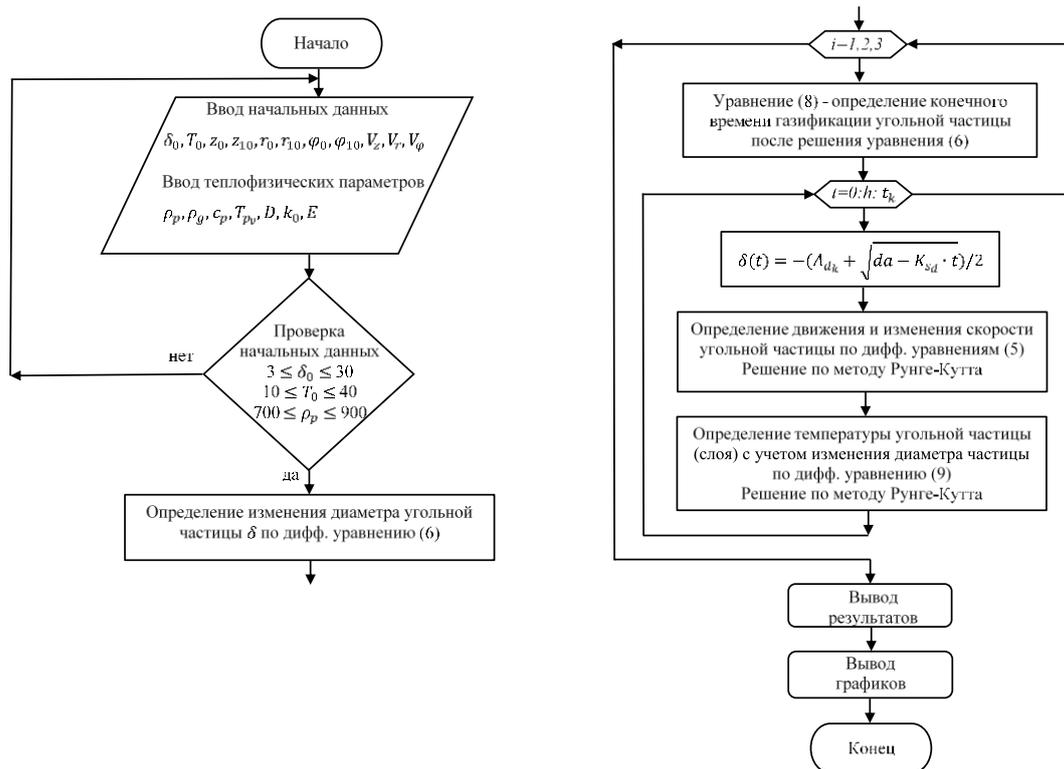


2-rasm. Silindrik koordinata tizimida ko‘mir zarrasining qatlam bo‘ylab Z o‘qi bo‘yicha harakati

yaratishda juda muhim hisoblanadi (2-rasm).

Berilgan yonilg‘i sarfining gazifikatsiya jarayonining statsionar holatini hisoblash algoritmi quyidagicha qurilgan (3-rasm). Buning uchun Runge-Kutta usuli bilan reaktorda statsionar issiqlik almashinuvining noxiziqli differensial

tenglamalar sistemasi yechiladi, bunda issiqlik manbalarining quvvati o'zgaras hisoblanadi.

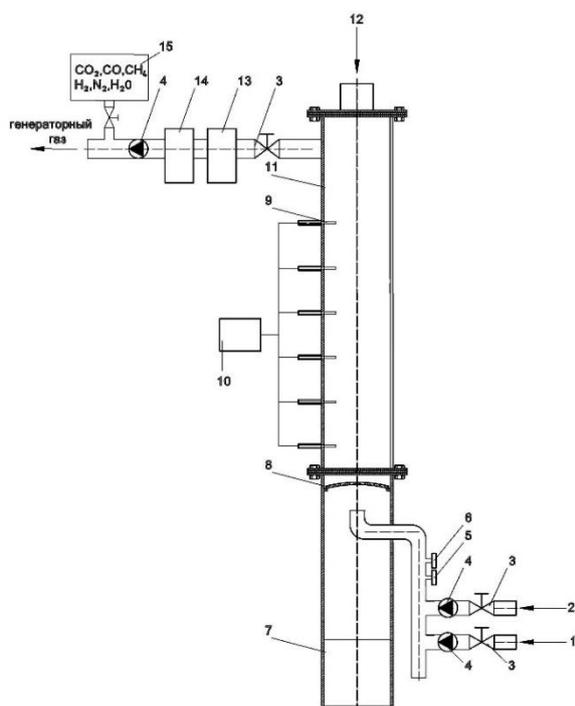


3-рasm. Ko‘mir qatlami haroratining ko‘mir zarrasi diametri (massasi) o‘zgarishini hisoblash algoritmining blok-sxemasi

Dissertatsiyaning “**Kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘miri uchun qatlamli gazogeneratorning ishlash rejimlarini tadqiq qilish**” deb nomlangan uchinchi bobida tajriba qurilmasining tavsifi, tajribalarni o‘tkazish metodikasi va tajribalardan olingan natijalar keltirilgan.

Shuningdek, sarfi 100 kg/soat kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘mirini gazifikatsiyalash qurilmasining texnik-iqtisodiy asoslari keltirilgan. Shaxta turidagi gazogeneratorda ko‘mirni gazifikatsiyalash jarayonini tadqiq qilish uchun tajriba qurilmasi ishlab chiqildi va yaratildi (4-rasm). Olingan generator gazining sifat ko‘rsatkichlari “Yerostigaz” AJ yer osti gazifikatsiyalash gazi bilan taqqoslangan.

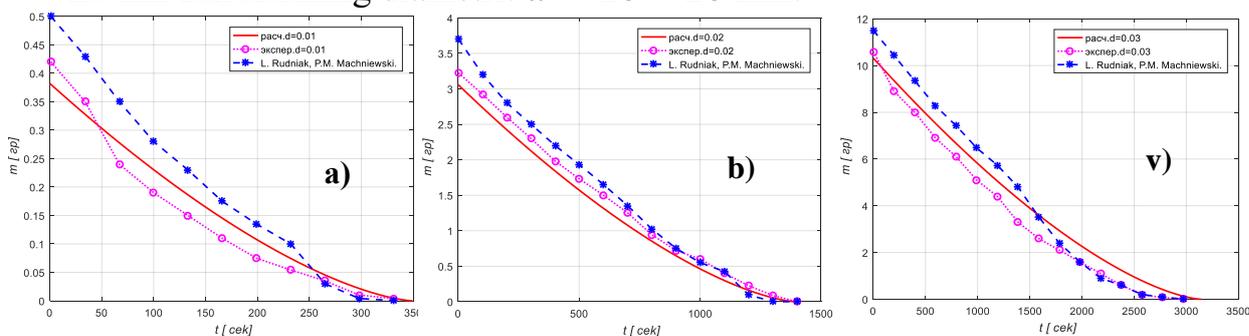
Eksperimental qurilmaning asosiy elementi mos ravishda diametri 147/159 mm bo‘lgan metall silindrik quvurdan iborat. Silindrik izolyatsiyalangan po‘lat quvur 1 ichiga ko‘mir yuklash bunker 12 orqali ko‘mir yuklanadi. Oldindan tayyorlangan qizigan ko‘mirni yuklash yordamida ko‘mir yondiriladi. Havo berish mos ravishda qulflash-rostlash jo‘mrangi 3 va sarf o‘lchagich 4 bilan rostlanadi. Gazlashtiruvchi agentning bosimi va temperaturasi manometr 5 va termometr 6 bilan aniqlanadi. Yonish zonasida havoning bir tekis taqsimlanishi kolosnikli panjara 8 hisobiga ta‘minlanadi. Termoparalar 9 bilan mos ravishda yonish, gazlanish, piroliz va quritish zonasi harorati o‘lchanadi. Haroratning t_1 , t_2 , t_3 va t_4 qiymatlari potensiometr 10 da aks ettiriladi. Siklon 13 yordamida generator gazi mexanik aralashmalardan tozalanadi, namlik ajratkichda esa suv bug‘lari ajratib olinadi. Generator gazining tarkibi (H_2 , CO , CO_2 , N_2 , H_2O) gaz analizatori 15 bilan aniqlanadi. Ko‘mir kuli kulni chiqarib tashlash uchun mo‘ljallangan kuldonda tozalanadi 7.



4-rasm. Eksperimental laboratoriya stendining prinsipial sxemasi: 1, 2-havo berish, 3-to'sib-rostlash jo'mragi, 4-sarf o'lchagich, 5-manometr, 6-termometr, 7-kuldon, 8-kolosnikli panjara (gazlashtiruvchi agent taqsimlagichi), 9-termopara, 10-potensiometr, 11-gazogenerator shaxtasi, 12-ko'mirni yuklash, 13-siklon, 14-namlikni ajratgich, 15-gaz analizator.

rasmlarda keltirilgan. 5÷7 - rasmlarda sonli va eksperimental tadqiqotlarning natijalari taqqoslangan bo'lib, o'zaro natijalarning eng kata xatoligi 4,8 % ni tashkil etdi. 8 - rasmdan ko'rinib turibdiki, generator gazining eng yuqori yonish issiqligi $\alpha = 0,5-0,7$ oralig'ida kuzatiladi. O'tkazilgan bir qator tajribalar tahlili shuni ko'rsatdiki, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini jadallashtiruvchi parametrlarning samarali qiymatlari quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

- ko'mirning ishchi namligi: $W^p = 24 \div 28 \%$;
- ko'mirning ishchi kulligi: $A^p = 28 \div 32 \%$;
- ko'mir zarralarining diametri: $d = 10 \div 20 \text{ mm}$.



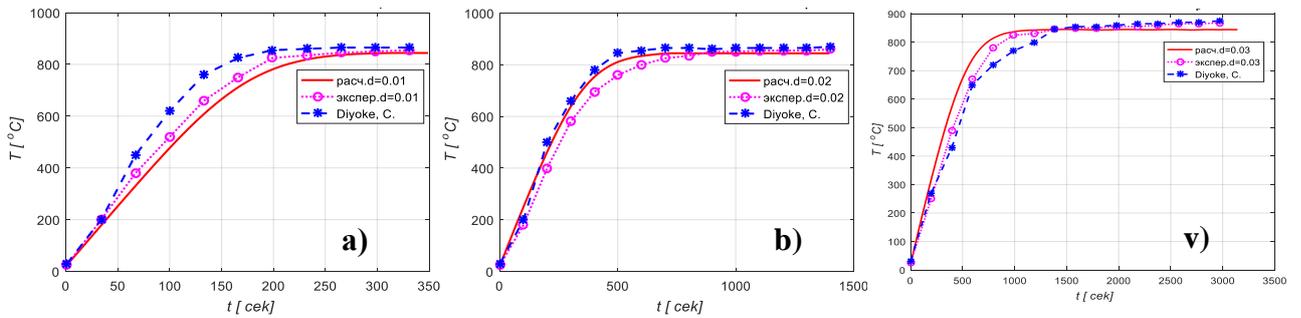
5-rasm. Gazifikatsiya jarayonida ko'mir zarrachasining massasi o'zgarishi
a) $d=10 \text{ mm}$, b) $d=20 \text{ mm}$, v) $d=30 \text{ mm}$

Laboratoriya qurilmasining faol zonalari haroratining barcha qiymatlari $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ aniqlik bilan K tipidagi termoparalar bilan o'lchandi. Generator gazidagi yonuvchi komponentlarning massa ulushi, kislorod va namlik miqdori "Xromatek-Kristall 9000" gaz xromatografida aniqlandi.

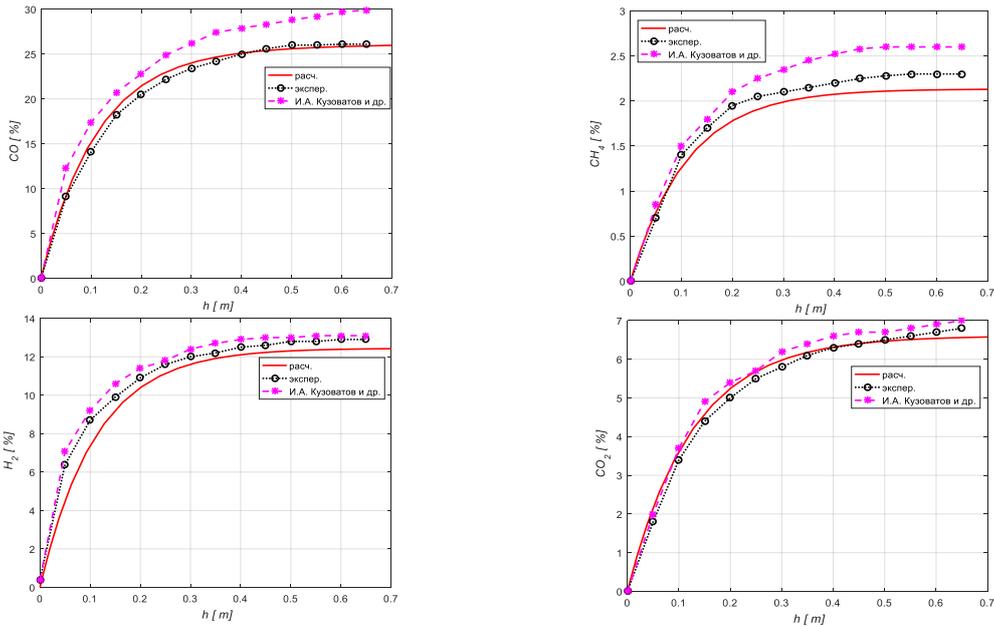
Tajribalarda parametrlar quyidagi oraliqlarda o'zgardi: $G_{ko'mir} = 4 \div 8 \text{ kg/soat}$, $G_{havo} = 4 \div 5 \text{ nm}^3/\text{soat}$, $p = 100 \text{ kPa}$, faol zonalarda harorat $t_1 = 150 \div 300 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 300 \div 500 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_3 = 500 \div 800 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_4 = 800 \div 850 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tajribalarda qo'llanilgan ishchi namlik, ishchi kul miqdori, zarrachalar diametri kabi turli boshlang'ich ko'rsatkichlarga ega bo'lgan ko'mir namunalari uchun chegaraviy shartlar o'rnatildi. Kullik darajasi yuqori bo'lgan Angren qo'ng'ir ko'mirining shlak hosil bo'lish harorati $t_{shl} = 850 \div 950 \text{ }^\circ\text{C}$ ekanligi tasdiqlandi.

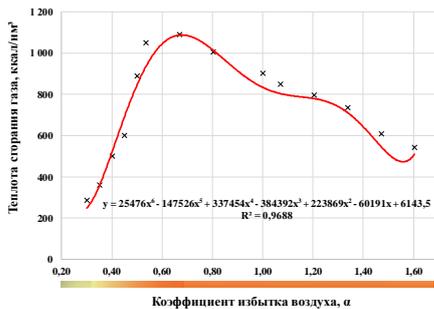
Eksperimental va sonli tadqiqotlarning ayrim umumlashtirilgan natijalari 5÷9 -



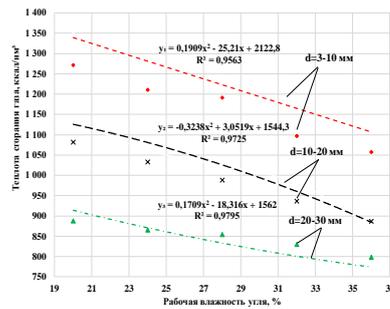
6-rasm. Gazifikatsiya jarayonida ko‘mir qatlami haroratining o‘zgarishi
a) d=10 mm, b) d=20 mm, v) d=30 mm



7-rasm. Tajriba qurilmasining balandligi bo‘yicha CO, CH₄, H₂, CO₂ gazlarining konsentratsiya o‘zgarishi



8-rasm. Generator gazining yonish issiqligining havoning ortiqchalik koeffitsiyentiga bog‘liqligi



9-rasm. Generator gazining maksimal yonish issiqligining ko‘mir ishchi namligiga bog‘liqligi

8-rasmda keltirilgan grafik asosida eng kichik kvadratlar usuli yordamida havoning ortiqchalik koeffitsiyentining turli qiymatlarida generator gazining yonish issiqligining o‘zgarishining empirik tenglamasi olingan.

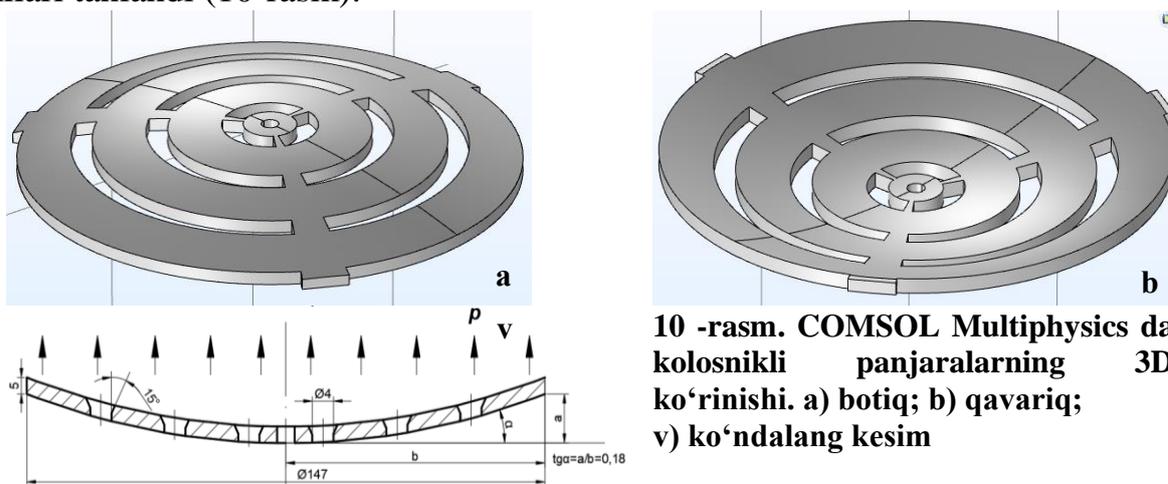
$$Q_H^{\text{gaz}} = 25476 x^6 - 14752 x^5 + 337454 x^4 - 384392 x^3 + 223869 x^2 - 60191 x + 6143,5 \quad (26)$$

Yuqorida keltirilgan usul bo‘yicha ko‘mirning turli ishchi namligida generator gazining yonish issiqligini o‘zgarishining empirik tenglamasi olindi (9-rasm):

$$Q_H^{\text{gaz}} = -0,00023x^2 + 0,0087 - 0,0043 \quad (27)$$

(26) va (27) tenglamalarning o‘rtacha nisbiy xatoligi 3,7 % ni tashkil etadi. Empirik tenglamalar va tegishli eksperimental ma’lumotlar bo‘yicha hisoblash natijalarining adekvatligi Fisher mezonini bo‘yicha baholandi. (26) tenglama uchun hisoblangan $F_p = 5,412$, jadvali $F_T = 7,54$, (27) tenglama uchun hisoblangan $F_p = 5,424$ jadvali $F_T = 7,55$, ya’ni $F_p < F_T$ bo‘lganda ishonchlilik ehtimoli 92% aniqlik bilan adekvat bo‘ladi.

Koks qoldig‘ining to‘liq yonishini tashkil etishda yonish zonasida havoning bir tekis taqsimlanishi muhim ahamiyatga ega. COMSOL Multiphysics dasturi yordamida havo oqimining bir tekis taqsimlanishiga kolosnikli panjara shakllarining ta’siri o‘rganildi. Buning uchun kolosnikli panjaralarning to‘g‘ri, botiq va qavariq shakllari tanlandi (10-rasm).



10 -rasm. COMSOL Multiphysics da kolosnikli panjaralarning 3D ko‘rinishi. a) botiq; b) qavariq; v) ko‘ndalang kesim

Matematik model va tajriba natijalari Fisher mezonini bo‘yicha adekvatlikka tekshirildi, o‘rtacha nisbiy xatolik 3,1% - 4,8% ni tashkil etdi.

Dissertatsiyaning “**Ko‘mirni qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasini joriy etishning texnik-iqtisodiy asosi**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida gazifikatsiya qurilmasini joriy etishda TII-230-2 turidagi qozon qurilmasining issiqlik, texnik-iqtisodiy samaradorligini aniqlash bo‘yicha texnologik siklning tavsifi va hisoblash natijalari keltirilgan.

1-jadvalda olingan generator gazi va “Yerostigaz” AJ ko‘mirini yer osti gazifikatsiyalash gazining sifat ko‘rsatkichlarini taqqoslash natijalari keltirilgan.

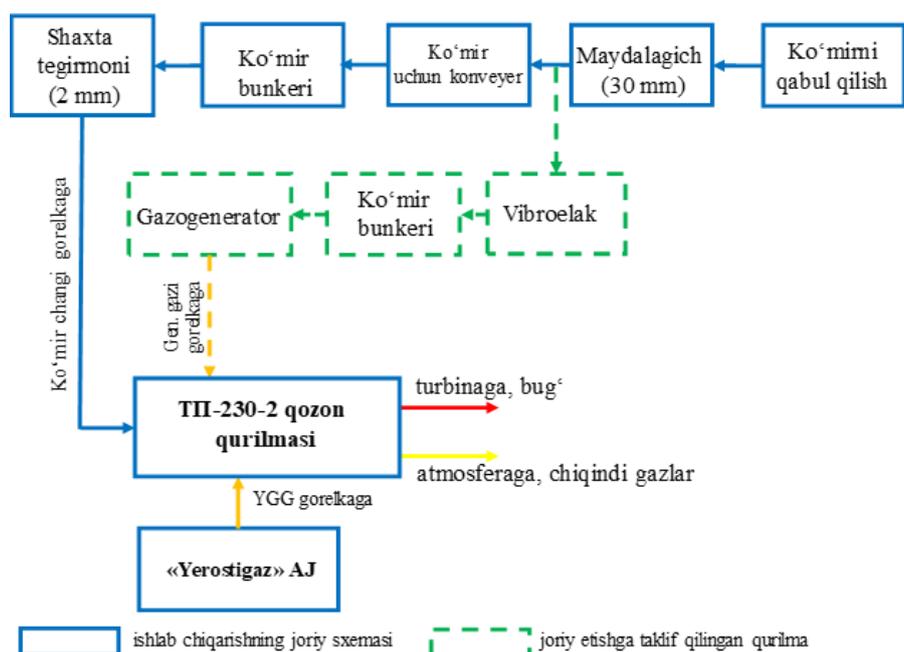
11-rasmda takomillashtirilgan gazogenerator qurilmasini asosiy texnologik ko‘rsatkichlarini o‘zgartirmagan holda amaldagi qozonxona uskunasi ga ulashning taklif etilgan sxemasi keltirilgan.

1-jadval.

Generator gazlarining sifat ko‘rsatkichlarini taqqoslash

Генераторный газ	CO, %	CO ₂ , %	CH ₄ , %	H ₂ , %	O ₂ , %	N ₂ , %	Gazning solishtirma chiqishi, nm ³ /kg	Generator gazining yonish issiqligi, Q _H ^p , kkal/nm ³
“Yerostigaz” AJ	7	23	6	20	1	50	2,2	800
Eksperimental qurilma	26	7	3	16	0,5	47	2,2 - 2,4	950 - 1000

“Angren IES” AJda ko‘mir sarfi 100 kg/soat bo‘lgan gazogenerator qurilmasini joriy etishdan kutilayotgan texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlar 2-jadvalda keltirilgan.



11-rasm. Angren IESda qozonxona uskunalarining prinsipial ishlash sxemasi

2-jadval.

Gazifikatsiyalash qurilmasining texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	TII 230-2 turidagi qozon qurilmasi	Taklif etilayotgan qurilma
Atmosfera tashlamalari miqdori, t/yil		
Uchuvchan kul	23,63	6,03
CO	23,07	8,61
NO ₂	10,1	9,14
SO ₂	0,89	0,63
Kapital qo‘yilmalar, so‘m	-	310 000 000
Yillik foydalanish xarajatlari, so‘m	570 707 520	452 000 000
Yillik issiqlik energiyasi ishlab chiqarish, Gkal/yil	1,905	1,555
Issiqlik energiyasining tannarxi, so‘m/Gkal	237 218	218 309
Iqtisodiy samara, so‘m/yil	-	151 272 000
Qoplanish muddati, yil	-	3
“Yerostigaz” AJ		
Gazning yonish issiqligi, kkal/nm ³	800	1000
Generator gazining chiqishi, nm ³ /kg	2,2	2,4
QQSni hisobga olgan holda gazning tannarxi, so‘m/nm ³	130	100

Yuqorida keltirilgan jadvaldan shuni ko‘rish mumkinki, ishlab chiqilgan takomillashtirilgan qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasi yordamida hosil bo‘lgan gazning yonish issiqligi “Yerostigaz” AJ tomonidan beriladigan gazning yonish issiqligiga nisbatan 20 % gacha yuqori bo‘lishi mumkin. Shuningdek, ishlab chiqilgan qurilmada 1 kg ko‘mirdan hosil bo‘ladigan generator gazi miqdori ham “Yerostigaz” AJga qaraganda 20 % gacha ko‘proq.

XULOSA

“Kullik darajasi yuqori bo‘lgan Angren qo‘ng‘ir ko‘miri uchun gazifikatsiyalash qurilmasini ishlab chiqish va tadqiq etish” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Kullik darajasi yuqori bo‘lgan Angren qo‘ng‘ir ko‘mirining fizik-kimyoviy xususiyatlarini o‘rganish, past navli qattiq yoqilg‘ilarni gazifikatsiyalash usullarini tahlil qilish asosida kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘mirini qatlamli gazifikatsiyalash qurilmasi ishlab chiqildi. Natijada, kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘miridan generator gazini olish imkoniyati yaratilgan.

2. Issiqlik-kimyoviy jarayonlarning fizik va matematik modellari hamda hisoblash algoritmi ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan modellar Runge-Kutta usuli bilan yechildi. Ishlab chiqilgan model gazifikatsiyalash jarayonini o‘rganish va jarayonni samarali olib borishga ta’sir etuvchi omillarni aniqlash imkonini beradi. Bundan tashqari, model yordamida ko‘mirni qatlamli gazifikatsiyalash jarayonini amalga oshirishda olinadigan generator gazining komponentlarini aniqlash mumkin.

3. Yaratilgan laboratoriya qurilmasi - qatlamli turdagi gaz generatorida eksperimental tadqiqotlar o‘tkazildi. Natijada, gazifikatsiyalash jarayoni samaradorligining ko‘mirning havo ortiqchalik koeffitsiyenti (α) ga, ishchi namligi (W^p) ga va kul miqdori (A^p) ga bog‘liqligini aniqlovchi empirik tenglamalar olindi. Nazariy hisoblar va tajriba ma’lumotlari qiymatlarining adekvatligi Fisher mezoni yordamida tekshirildi va $7,5 > 5,4$ ni tashkil etdi, bu esa tadqiqotning adekvatligini tasdiqlaydi.

4. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘mirining ishchi namligi va kulligining keng diapazoni uchun o‘tkazildi. O‘tkazilgan tajribalar natijasida ishchi namlikning ratsional qiymatlari $W^p = 20-24\%$ va ishchi kulning ratsional qiymatlari $A^p = 24-28\%$ ekanligi aniqlandi.

5. Angren IESning amaldagi TII-230-2 turidagi qozon qurilmasiga ko‘mir sarfi 100 kg/soat bo‘lgan gazogenerator uskunasi asosiy texnologik ko‘rsatkichlarni o‘zgartirmagan holda ulashning texnologik sxemasi ishlab chiqildi. Kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘miridan olingan generator gazini qo‘llash natijasida atmosferaga chiqariladigan zararli moddalar miqdorini yiliga 33 tonnaga kamaytirish, issiqlik energiyasi tannarxini 8 foizga pasaytirish imkoniyati ko‘rsatildi. Buning natijasida yillik iqtisodiy samara 151 272 000 so‘mni tashkil etdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

КАВКАТБЕКОВ МУРОДЖОН МАМИТБЕКОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ГАЗИФИКАЦИИ
ДЛЯ ВЫСОКОЗОЛЬНОГО АНГРЕНСКОГО БУРОГО УГЛЯ**

05.05.04 – Промышленная теплоэнергетика

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве Высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2022.3.PhD/T3160.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:

Бабаходжаев Рахимжан Пачеханович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Узаков Гулом Норбоевич
доктор технических наук, профессор

Шаисламов Алишер Шабдурахманович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация:

АО «Теплоэлектропроект»

Защита диссертации состоится « 5 » 04 2025 г. в 10:30 часов на заседании Научного совета DSc. 03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - 12). (Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан « 12 » 03 2025 года.
(протокол рассылки № « 4 » от « 11 » 03 2025 года).



К.Р. Аллаев

Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор, академик

И.У. Рахмонов

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

А.М. Мирзабаев

Заместитель председателя научного семинара
при научном совете по присуждению ученой степени,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется вопросам разработки технологий газификации твердого топлива в связи с сокращением традиционных источников энергии, таких как природный газ и нефть. Освоенные мировые запасы угля могут хватить на 200-250 лет³. В настоящее время в развитых странах почти 40 % мировой электроэнергии производится на электростанциях, работающих на угольном топливе. В связи с этим особое внимание уделяется повышению эффективности экологически чистой переработки угля на основе газификации угля по сравнению с традиционными методами сжигания твердого топлива.

В мире проводятся научные исследования, направленные на разработку экологически безвредных источников топлива для обеспечения тепловой и электрической энергией предприятий горнодобывающей, черной и цветной металлургии, химической промышленности с непрерывным циклом производства и высокой энергоемкостью. В этом направлении приоритетными считаются исследования по использованию газов, образующихся при газификации твердого топлива на тепловых электростанциях, а также по снижению загрязнения окружающей среды. Вместе с тем, одной из актуальных задач считается разработка научно обоснованных программных продуктов, позволяющих определить время газификации угля, конструктивные размеры газифицирующей установки, температуру процесса газификации и химический состав образующегося газа на основе анализа и оценки физико-химических свойств топлива при газификации твердых топлив, а также выявления факторов, влияющих на процесс газификации.

В Республике с целью снижения энергоемкости отраслей экономики в полтора раза к 2030 году осуществляются широкомасштабные мероприятия по усовершенствованию существующих, созданию и внедрению новых технологических решений. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы указаны задачи, в том числе «... по бесперебойному обеспечению экономики электрической энергией, а также по активному внедрению технологий «Зеленой экономики» во все отрасли, повышение энергетической эффективности экономики на 20% и снижение выбросов вредных газов в атмосферу на 20%»⁴. При осуществлении этих задач, в частности при разработке и внедрении комплекса мер по рациональному использованию энергетических ресурсов в направлении снижения энергоемкости производства электрической энергии и тепла на промышленных предприятиях, моделировании методов повышения качества топливных ресурсов, является важным проведение научных исследований, основанных на анализе классических и современных методов, направленных на снижение расхода условного топлива при производстве электрической и тепловой энергии.

³ А. И. Гайворонский, В. А. Марков, Ю. В. Илатовский. - М.: ИРЦ Газпром, 2007. - 478 с.

⁴ Указ Президента Республики Узбекистан, от 28.01.2022 г. № УП-60 “О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы”.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит решению задач, обозначенных в Указах Президента Республики Узбекистан № ПФ-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № 3054, от 13 июня 2017 года «О дальнейшем развитии угольной отрасли в 2017-2021 годах по программе развития и модернизации», Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП-57 от 16 февраля 2023 года «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году», Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП-185 от 10 апреля 2023 года «О внесении изменений и дополнений в Постановление Президента Республики Узбекистан ПП-118 о модернизации систем теплоснабжения объектов социальной сферы на основе государственно-частного партнерства» и других нормативно-правовых документов, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: II. «Энергетика, энерго - и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. В ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях, в частности в таких как, Technical University Drezden (Германия), Чешский технический университет в Праге (Чехия), Sonitpur polytechnic (Индия), Nanyang Technological University (Сингапур), University of Nevada-Las Vegas (США), Harbin Engineering University (Китай), Technical University Toyohashi, Technical University Nagoya (Япония), Национальный исследовательский университет «МЭИ», (Россия), Уральский Федеральный технический университет (Россия), Пермский научно-исследовательский угольный институт (Россия), Кузбасский государственный технический университет (Россия), Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН (Россия), Донецкий государственный научно-исследовательский угольный институт (Украина), Украинский научно-исследовательский углехимический институт (Украина) и Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан), ученые ведут ширококомасштабные научно-исследовательские работы в направлении газификации твердых топлив.

Ряд известных мировых ученых, в том числе Б.В. Канторович, В.В. Померанцев, В.С. Альтшулер, Г.И. Дешалит, Г.Н. Делягин, Н.Э. Рамбуш, Г-Д. Шиллинг, Б. Бонн, У. Краус, В.А. Мунц, Ch. Higman, M. van der Burgt, P.R.Solomon, D.G. Hamblen, J. Feroso, B. Arias, M.G. Plaza, Peng Liang, Zhifen Vang, Zhichen Bi, J. Dolu, L. Kuddusi и многие другие внесли существенный вклад в изучении процесса горения и газификации твердых топлив, интенсификацию процесса горения и газификации, в повышение эффективности технологии и увеличения компактности конструкции установок, а также в развитие методики расчетов и научных исследований.

Ряд ученых Узбекистана также внесли весомый вклад в исследования, направленные на изучение процессов тепловой обработки полидисперсных материалов во взвешенном слое, а также горения и газификации твердых

топлив, повышение эффективности котельных установок, в частности, Р.Б. Ахмедов, Н.Р. Юсупбеков, З.С. Толибжонов, Д.Н. Мухиддинов, Р.П. Бабаходжаев, Н.Т. Ташбаев и другие. В результате проведенных научных исследований достигнуты значительные успехи в решении задач повышения эффективности производства тепловой и электрической энергии.

Вместе с тем, несмотря на ощутимые достижения недостаточно изучены вопросы развития технологий в области газификации твердых топлив высокочольного полидисперсного Ангреновского бурого угля, интенсификации процесса газификации за счет равномерного распределения тепла во всех реакционных зонах газогенераторной установки, влияние скорости газифицирующего агента на процесс газификации, а также повышения энергетической эффективности установок. В данной диссертационной работе представлены методы развития технологий в области газификации высокочольного полидисперсного Ангреновского бурого угля, создания методологии управления процессом газификации с учетом особенностей технологического процесса, анализа и оценки физико-химических свойств топлив при газификации твердых топлив, определения факторов, влияющих на процесс газификации. На основе этого предложены научно обоснованные способы создания программного продукта, позволяющего определить время газификации угля, конструктивные размеры газификационной установки, температуру процесса газификации и химический состав образующегося газа, а также методы снижения энергозатрат.

Связь диссертационного исследования с планами научно – исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках планов научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова по теме: №19-12- «Разработка и расчет технологической схемы (с рекуператором) использования тепла отходящих газов для подогрева дутьевого воздуха известково-обжиговой печи ЭСПЦ» (2012-2013), №15-13- «Разработка и расчет тепловой схемы использования насыщенного водяного пара от системы испарительного охлаждения нагревательной печи и перегретого пара от котлов утилизаторов сортопрокатного цеха №2 для обеспечения горячего водоснабжения» (2013-2014), №ОТ-А3-58- «Повышение энергоэффективности выработки тепловой энергии методом максимального использования теплоты дымовых газов в технологической схеме получения теплоты» (2017-2018) и №ОТ-Атех-2018-437- «Выработка комплекса научно-технических решений для диверсификации топливного баланса энергетики республики на среднесрочную и долгосрочную перспективу» (2018-2020).

Целью исследования является исследование усовершенствованной установки слоевой газификации высокочольного полидисперсного Ангреновского бурого угля.

Задачи исследования:

изучение механических и физико-химических характеристик высокочольного полидисперсного Ангреновского бурого угля;

обзор и изучение технологий газификации низкосортных и высокозольных углей;

составление физической и математической модели процесса газификации угля и проведение численных экспериментов;

усовершенствование и исследование режимов работы, определение рациональных энергоэффективных параметров установки слоевой газификации с воздушным дутьём, сопоставление теоретических данных с экспериментальными;

расчет технико-экономических показателей и внедрение установки газификации для высокозольного полидисперсного Ангреновского бурого угля.

Объектом исследования является угольное топливо, используемое в теплоэлектростанциях.

Предметом исследования является процесс газификации высокозольного полидисперсного Ангреновского бурого угля в плотном слое.

Методы исследования. Методы исследований, выполненных в данной работе, базируются на известных моделях для описания материального баланса процессов газификации твердых топлив, теоретических представлениях о слоевом горении, и экспериментальных подходах, применимых к подобным системам.

Научная новизна исследования:

с учётом высокой зольности и влажности Ангреновского бурого угля, а также на основании анализа процессов газификации низкосортных углей усовершенствована установка слоевой газификации;

усовершенствована математическая модель, позволяющая определять время газификации, высоту установки газификации, температуру процесса газификации, а также химический состав образующегося газа при газификации, с учётом влияния факторов на изменение начального диаметра и температуры слоя угля, подаваемого в слоевой газогенератор;

учитывая равномерное распределение воздуха в зоне горения установки слоевой газификации, на основании определения зависимости теплоты сгорания генераторного газа от зольности и влажности, определены рациональные значения коэффициента избытка воздуха $\alpha = 0,5-0,7$, отношение высоты зоны горения к зоне восстановления 0,5, размеры частиц угля 10-20 мм, показывающие стационарное состояние процесса газификации;

усовершенствован способ повышения теплоты сгорания генераторного газа на основе одновременного протекания процессов газификации в установке слоевой газификации с учетом показателей взаимосвязи влажности, зольности и размера частиц угля.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана экспериментальная установка для исследования процесса газификации высокозольного полидисперсного Ангреновского бурого угля;

создан программ - продукт, позволяющий определять, наблюдать и рассчитывать теплотворную способность генераторного газа на слоевом газогенераторе;

определены рациональные значения подачи воздуха в газогенераторную

установку в процессе газификации угля и создан программ-продукт для его расчета.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается осуществлением методически обоснованных теоретических термодинамических расчетов, выполненных по основным законам термодинамики, классическим методам теории тепло- и массообмена, математическим и физическим законам, а также соответствием результатов, полученных в программном модуле MATLAB и соответствием результатов теоретических и практических исследований.

Научное и практическое значение результатов исследования.

Научное значение результатов исследования заключается в разработке и создании установки газификации высокочольного полидисперсного Ангреноского бурого угля и во вкладе в развитие повышения эффективности использования высокочольного полидисперсного Ангреноского бурого угля.

Практическое значение исследований состоит в конструктивно усовершенствованной колосниковой решетке, устанавливаемой на нижней части слоевого газогенератора, а также в рациональных геометрических параметрах и эмпирических уравнениях, которые можно использовать при проектировании и создании, реконструкции и модернизации таких установок.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке усовершенствованной установки газификации и математической модели процесса газификации высокочольного Ангреноского бурого угля:

внедрена установка слоевой газификации на АО «Ангреноская ТЭС» (справка АО «Тепловые электрические станции» № 02-06/2149 от 26 декабря 2024 года). В результате создана возможность получения генераторного газа из бурого угля с помощью установки слоевой газификации, что позволяет уменьшить количество вредных газов, выбрасываемых в окружающую среду, и продлить срок эксплуатации котельного оборудования;

рациональные значения коэффициента избытка воздуха, отражающие стационарное состояние процесса газификации, отношение высоты зоны горения к высоте зоны восстановления, размеры частиц угля внедрены на котельной установке типа ТП-230-2 АО «Ангреноская ТЭС» (справка АО «Тепловые электрические станции» № 02-06/2149 от 26 декабря 2024 года). В результате для АО «Ангреноская ТЭС» создана возможность получать генераторный газ с теплотой сгорания на 8% выше, чем у газа, поставляемого АО «Еростигаз» и снизить себестоимость получаемой тепловой энергии до 8%;

метод повышения теплоты сгорания генераторного газа внедрен в АО «Ангреноская ТЭС» (справка АО «Тепловые электрические станции» № 02-06/2149 от 26 декабря 2024 года). В результате газификации полидисперсного Ангреноского бурого угля с высоким содержанием золы в количестве 800 т/год достигнут годовой экономический эффект в размере 151 272 000 сумов, а также создана возможность сокращения выбросов вредных веществ (летучей

золы, оксидов азота, углекислого газа, сернистого ангидрида) в окружающую среду на 33 т/год.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 2 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях и семинарах.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, из них в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) – 6, в том числе 4 – в республиканских и 1 – в зарубежных журналах; 1 – статья на базе данных Scopus, имеются 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 104 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи исследования, приведены объект и предмет исследования, показано соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, научная новизна исследования, полученные результаты, раскрыто научное и практическое значение. Приведены данные о внедрении результатов исследования в практику, об апробации работы, об опубликованных научных работах, а также о структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации «**Технологические процессы переработки углей**» на основании анализа современного состояния изучаемой тематики сформулирована проблема исследования. В этой главе рассмотрены основные способы переработки низкосортных углей, вопросы современных технологий газификации углей, конструкции газогенераторных установок и их особенности, вопросы методов повышения эффективности и расчета процесса слоевой газификации угля, способы снижения механического недожога твердого топлива в слоевом газогенераторе. Анализ известных научных работ и источников информации определил ограниченность информации о процессе газификации низкосортных углей в слоевых газогенераторах. Неравномерное распределение газифицирующего агента по сечению газогенератора, препятствует стабильному ведению процесса газификации. Ученые ведут исследования, направленные на повышение эффективности процесса слоевой газификации низкосортных углей, с целью уменьшения образования вредных атмосферных выбросов по сравнению с прямым сжиганием того же топлива. На основании анализа современного состояния поставленной задачи сделан вывод о том, что при ведении процесса газификации низкосортных углей в слоевых газогенераторах прямого действия за счет определения рациональных значений по расходу, а также организации равномерного

распределения газифицирующего агента, нахождения приемлемых значений по качеству (рабочая влажность и рабочая зольность) используемого твердого топлива, можно интенсифицировать тепломассообменные, химические процессы и повысить энергетическую эффективность установки.

Во второй главе диссертации «**Математическое описание процесса слоевой газификации**» приведены физическая, математическая модели процесса газификации. Рассматривается физическая модель газогенераторной установки (рис.1), предназначенная для исследования процесса газификации угля.

Уголь движется в противоположном направлении газифицирующему агенту (воздуху) и образуемой в процессе газовой смеси. Процесс газификации проходит в четырех рабочих зонах: зона сушки, пиролиза, восстановления и горения.

Зона сушки. Сырой уголь поступает в зону сушки, где за счет тепла, полученного из генераторного газа, удаляется поверхностная влага угля. Температура в этой зоне составляет от 150 до 300 °С.

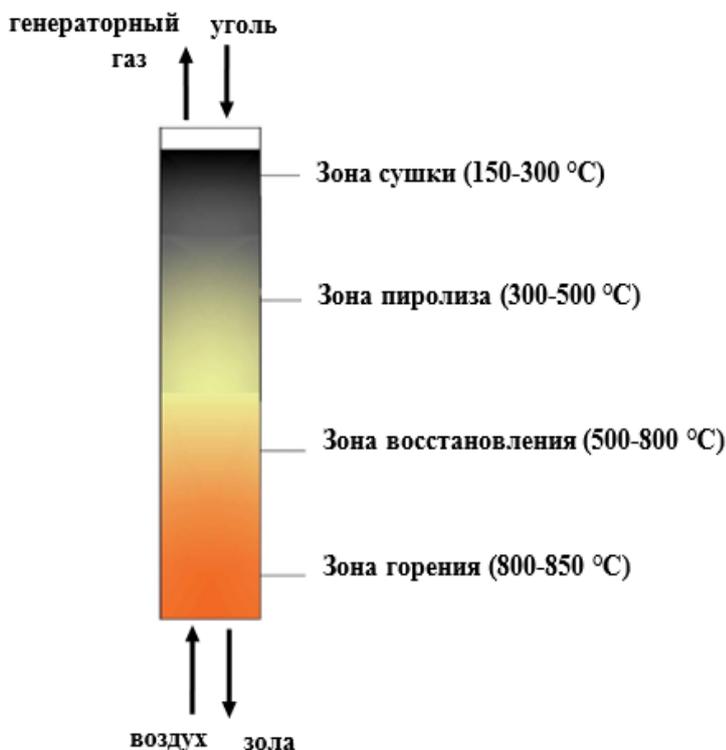
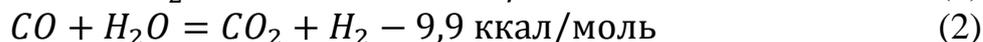
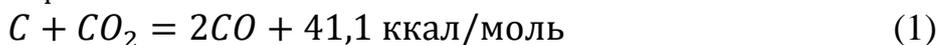


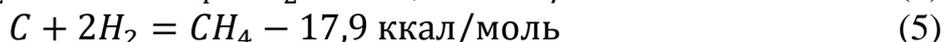
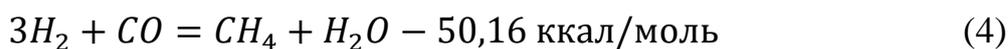
Рис. 1. Физическая модель слоевого газогенератора с прямым дутьем

Зона пиролиза. После зоны сушки уголь переходит в зону пиролиза, где происходит химическое взаимодействие углерода и водорода без доступа кислорода. В зоне пиролиза часто наблюдается образование метана за счет использования тепла, образованного в зонах восстановления и горения. Температура в зоне пиролиза достигает от 300 до 500 °С.

Зона восстановления. В зоне восстановления происходит неполное горение углерода за счет кислорода, прошедшего через зону горения.

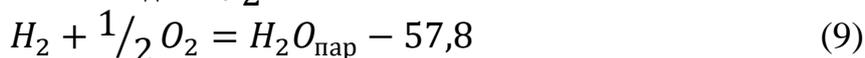
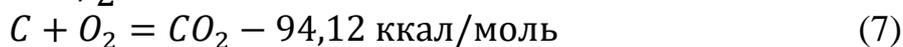
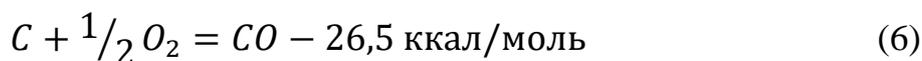
Коэффициент избытка воздуха $\alpha < 1$. Здесь наблюдается химическое взаимодействие углерода, углекислоты, а также паров воды. Зона восстановления характерна тем, что за счет определенных термических условий здесь образуются основные горючие компоненты генераторного газа такие как CO , H_2 и CH_4 .





В зоне восстановления температура слоя снижается за счет поглощения тепла и излучения зоны горения. Образование метана по реакциям (4) и (5) с заметной скоростью возможно только при высоких давлениях (2-4 МПа) в газогенераторе.

Зона горения. Основным назначением зоны горения является обеспечение необходимым количеством тепла для эффективного ведения процесса газификации. Происходит окисление твердого топлива газифицирующим агентом. Воздух подается снизу в зону горения через колосниковую решетку. Колосниковая решетка способствует равномерному распределению потока воздуха. Зола удаляется через отверстия колосниковой решетки. Процесс горения коксозольного остатка, сопровождается следующими реакциями:



Реакции (6) и (7) сопровождаются образованием оксида углерода при горении углеродного остатка. Окисление топливного водорода проходит гетерогенными и гомогенными процессами в соответствии с реакциями (8) и (9). Реакции (6) – (10) экзотермичны, а температура в зоне горения может достигать до 850-900 °С. Низкий уровень механического недожога обеспечивается за счет интенсивной высокотемпературной конверсии углеродного остатка.

При разработке математической модели движение слоя угля рассматривается внутри цилиндрической части газогенератора.

Приняты следующие допущения:

- Рассматривается симметричная, одномерная модель теплопроводности сухой одиночной угольной частицы в форме шара;
- Перенос тепла осуществляется радиацией и конвекцией одновременно;
- Теплофизические характеристики условно постоянны;
- Угольная частица считается термически массивной.

В уравнениях движения влияние силы тяжести на течение газа и угольных частиц пренебрегается. При описании движения, горения и теплообмена угольной частицы предполагается, что:

положение частицы в пространстве в каждый момент времени задается тремя координатами (z, r, θ);

угольные частицы имеют сферическую форму с переменным диаметром $\delta = \delta(t)$;

реакция горения проходит с образованием двуоксида углерода (CO_2); химический состав воздуха в газогенераторе остается неизменным.

Движение угольной частицы описывается уравнением динамики материальной точки:

$$\frac{d\bar{r}}{dt} = \bar{V}_y \quad (11)$$

$$\frac{d\bar{V}_y}{dt} = c_f \frac{s_y \cdot \rho_{\text{газ}} |\bar{V}_{\text{газ}} - \bar{V}_y|}{W_y \cdot \rho_y} (\bar{V}_{\text{газ}} - \bar{V}_y) \quad (12)$$

с начальными условиями:

$$\bar{r}|_{t=0} = \bar{r}_0 \quad (13)$$

$$\bar{V}_y|_{t=0} = \bar{V}_{y0} \quad (14)$$

где, \bar{r} – радиус вектор угольной частицы, [м], W_y – объём угольной частицы, [м³], \bar{V}_y – вектор скорости угольной частицы, [м/с], $\bar{V}_{\text{газ}}$ – вектор скорости газа, [м/с], c_y – коэффициент аэродинамического сопротивления угольной частицы, δ – диаметр угольной частицы, [м], s_y – площадь миделевого сечения, [м²], ρ_y – плотность угольной частицы, [кг/м³], $\rho_{\text{газ}}$ – плотность газа, [кг/м³].

Объём частицы шаровой формы имеет вид: $W_y = \frac{4}{3} \pi r^3 = \pi \frac{d^3}{6}$.

Площадь миделевого сечения: $s_y = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4}$.

Обозначив $\bar{\omega} = \bar{V}_{\text{газ}} - \bar{V}_y$, тогда после записи закона движения угольных частиц (2) в цилиндрических координатах имеем:

$$\begin{cases} \frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{3}{4} c_f \frac{\rho_{\text{газ}}}{\rho_y \delta(t)} |\bar{\omega}| W_z \\ \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{3}{4} c_y \frac{\rho_{\text{газ}}}{\rho_y \delta(t)} |\bar{\omega}| W_r + r \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \\ \frac{d^2 \varphi}{dt^2} r = -\frac{3}{4} c_y \frac{\rho_{\text{газ}}}{\rho_y \delta(t)} |\bar{\omega}| W_\varphi - 2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{dr}{dt} \end{cases} \quad (15)$$

В системе уравнений (15) $z=z(t)$, $r=r(t)$, $\varphi=\varphi(t)$ – координаты, движущихся угольных частиц в момент времени t , а $\bar{\omega}$ – вектор относительной скорости;

$$\begin{cases} W_z = \frac{dz}{dt} - V_z \\ W_r = \frac{dr}{dt} - V_r \\ W_\varphi = 2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} - V_\varphi \\ |w| = \sqrt{w_z^2 + w_r^2 + w_\varphi^2} \end{cases} \quad (16)$$

Вводим следующие обозначения:

$$\beta = \frac{3}{4} \frac{\rho_{\text{газ}}}{\rho_y \delta};$$

$$y_1 = z(t); \quad y_2 = \frac{dz}{dt}$$

$$y_3 = r(t); \quad y_4 = \frac{dr}{dt}$$

$$y_5 = \varphi(t); \quad y_6 = \frac{d\varphi}{dt}$$

Тогда систему уравнений (15) можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_2 \\ y_2 = -\beta c_y |W| (y_2 - V_z) \\ \frac{dy_3}{dt} = y_4 \\ y_4 = -\beta c_y |W| (y_4 - V_r) - y_3 \cdot y_6^2 \\ \frac{dy_5}{dt} = y_6 \\ y_6 = -[\beta c_y |W| (y_3 y_6 - V_\varphi) + 2y_4 y_6] / y_3 \end{cases} \quad (17)$$

Для системы из шести дифференциальных уравнений первого порядка должны быть заданы начальные условия:

$$\begin{aligned} y_1(0) &= 0; & z(0) &= 0; \\ y_2(0) &= y_{20}; \\ y_3(0) &= y_{30}; \\ y_4(0) &= y_{40}; \\ y_5(0) &= 0; & \varphi(0) &= 0; \\ y_6(0) &= y_{60}. \end{aligned}$$

Условие $\varphi(0) = 0$ означает, что движение угольной частицы не зависит от места загрузки по углу частицы в газогенератор. Условия $y_2(0) = y_{20}$, $y_4(0) = y_{40}$, $y_6(0) = y_{60}$ можно менять, так как начальные скорости частиц угля отличны друг от друга.

В уравнении (17) учитывается диаметр угольной частицы. Изменения диаметра угольной частицы за счет газификации описывается уравнением:

$$\frac{d\delta}{dt} = 2 \frac{K_S^c}{\rho_y} \quad (18)$$

с начальным условием:

$$\delta|_{t=0} = \delta_0 \quad (19)$$

где

$$K_S^c = \beta \cdot O_2 \cdot \alpha \cdot \rho_{\text{газ}}, \quad \alpha = \frac{\alpha_k \cdot \alpha_d}{\alpha_k + \alpha_d} \quad (20)$$

$$\alpha_k = k_0 \exp(-E/RT), \quad \alpha_d = Nu_d \frac{D}{\alpha_k} k_t \quad (21)$$

Nu_d – диффузионное число Нуссельта; D – коэффициент диффузии кислорода в газе, [м/с]; K_S^c – скорость горения углерода, [кг/м²·с]; $\beta=0,35$ – стехиометрический коэффициент реакции; O_2 – концентрация кислорода в газе; $\alpha, \alpha_k, \alpha_d$ – коэффициенты скорости реагирования реакционного и диффузионного теплообмена соответственно, [Дж/моль]; k_0 – предэкспоненциальный множитель, [м/с²]; E – энергия активации, [Дж/моль]; $R=8,314$ – универсальная газовая постоянная, [Дж/моль·К]; T – температура угольной частицы, [К].

Подставляя в (18) выражения (19), (20) и упрощая, имеем следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\delta}{dt} = -\frac{K_s}{A_k\delta + A_d} \quad (22)$$

где, $A_d = Nu_{\text{газ}} Dk_t$,

$$A_k = k_0 \exp(-E/RT),$$

$$K_s = \frac{2\beta O_2 \rho_g}{\rho_p} \cdot \alpha, \quad \alpha = A_k \cdot A_d.$$

Решение (15) имеет вид:

$$\delta^2 + A_{d_k} \delta - (\delta_0^2 + A_{d_k} \delta_0 - K_{s_d}) = 0 \quad (23)$$

где, $A_{d_k} = \frac{2A_d}{A_k}$,

$$K_{s_d} = \frac{2K_s}{A_k}.$$

Решение квадратного уравнения (16) имеет вид:

$$da = A_{d_k}^2 + 4(\delta_0^2 + A_{d_k} \delta_0)$$

$$\delta = -(A_{d_k} + \sqrt{da - K_{s_d} \cdot t})/2 = 0 \quad (24)$$

конечное время:

$$t = \frac{da - A_{d_k}^2}{K_{s_d}} \quad (25)$$

Алгоритм реализован в среде MATLAB в виде системы связанных m-файлов. Полученный алгоритм позволяет рассчитать зависимость потери массы угля и изменения температуры слоя угля по времени его газификации. К тому же модель позволяет анализировать изменение координаты угольной частицы с начальными различными диаметрами в цилиндрической системе

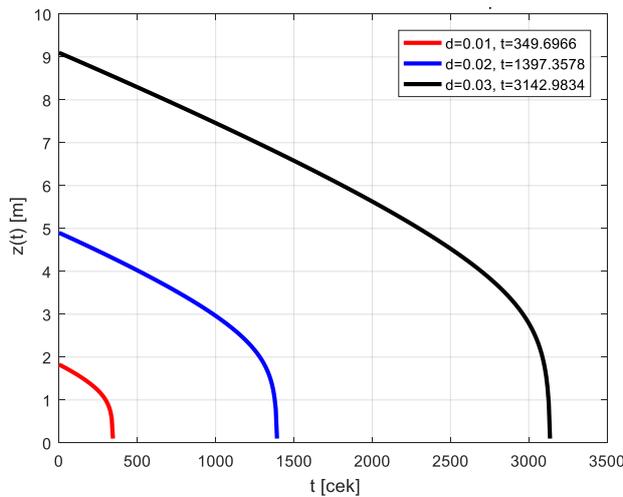


Рис. 2. Движение угольной частицы в слое по оси Z в цилиндрической координате

источников теплоты при этом считается постоянной.

координат (рис. 2). Такие данные востребованы при проектировании газогенераторного оборудования и создании способов управления процессами в слое.

Алгоритм расчета стационарного состояния процесса газификации при заданном расходе топлива построен следующим образом (рис. 3). Для этого методом Рунге-Кутты решается система нелинейных дифференциальных уравнений стационарного теплообмена в реакторе, мощность

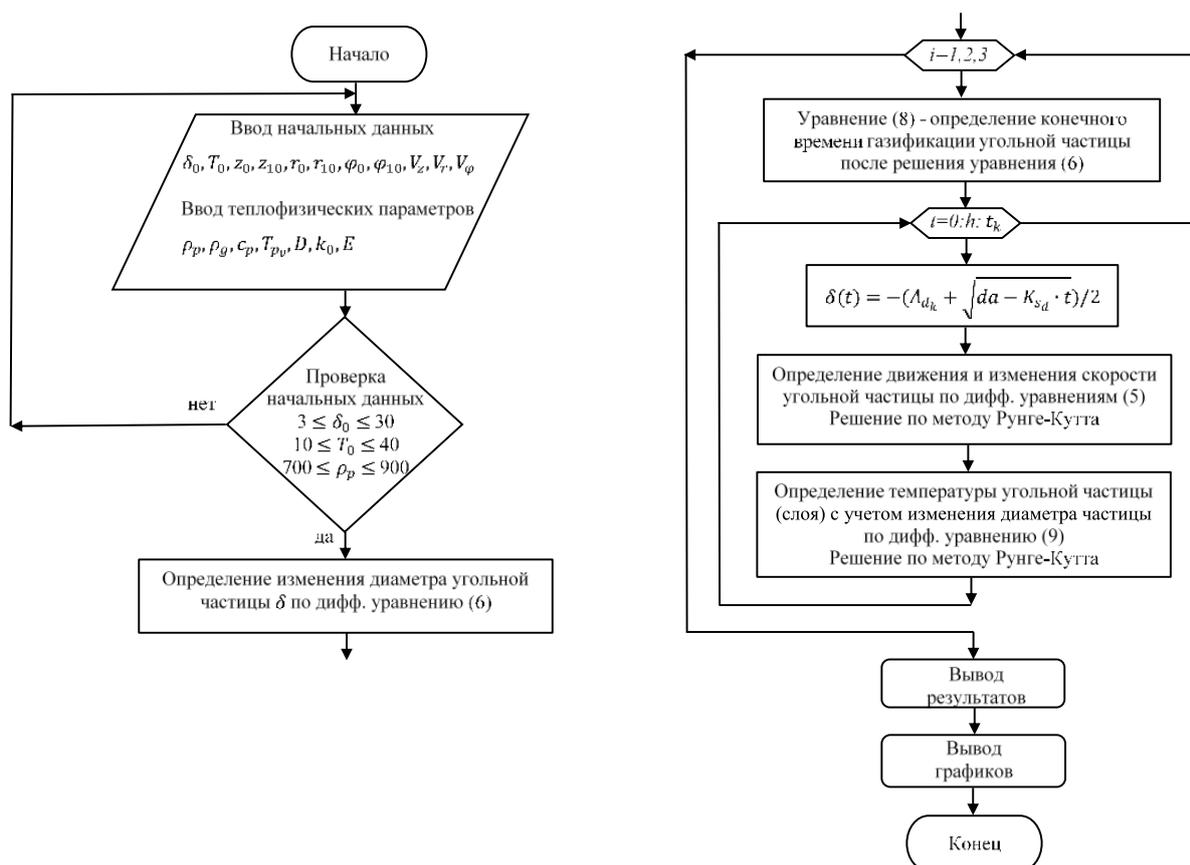


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета изменения диаметра (массы) угольной частицы температуры слоя угля

В третьей главе диссертации «Исследование режимов работы слоевых газогенераторов для высокочольного полидисперсного Ангреноского бурого угля» приведены описание экспериментальной установки, методика проведения экспериментов и полученные результаты экспериментов. Также приводится технико-экономическое обоснование установки газификации высокочольного полидисперсного Ангреноского бурого угля с расходом 100 кг/час. Приводится сравнение качественных показателей полученного генераторного газа с газом подземной газификации АО «Еростигаз». Для исследования процесса газификации угля в газогенераторе шахтного типа была разработана и создана экспериментальная установка (рис. 4).

Основным элементом экспериментальной установки является металлическая цилиндрическая труба диаметром 147/159 мм соответственно.

Во внутрь цилиндрической изолированной стальной трубы 1, загружается уголь через бункер загрузки угля 12. С помощью загрузки заранее подготовленного раскаленного угля, производится разжигание угля. Подача воздуха регулируется запорно-регулирующим краном 3 и расходомером 4 соответственно. Давление и температура газифицирующего агента определяется манометром 5 и термометром 6. Равномерное распределение воздуха в зоне горения обеспечивается за счет колосниковой решетки 8. Термопарами 9 измеряются температура зоны горения, газификации, пиролиза и сушки соответственно. Значения температур t_1 , t_2 , t_3 и t_4 отражаются в потенциометре 10.

С помощью циклона 13 генераторный газ очищается от механических примесей, а в влагоотделителе отделяется пары воды. Состав генераторного газа (H_2 , CO , CO_2 , N_2 , H_2O) определяется газоанализатором 15. Угольная зола очищается из люка для удаления золы 7.

Все значения температуры активных зон лабораторной установки измерялись термопарами типа *K* с точностью измерений $0,1^\circ C$. Массовая доля горючих компонентов, содержание кислорода и влаги в генераторном газе определялись на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 9000».

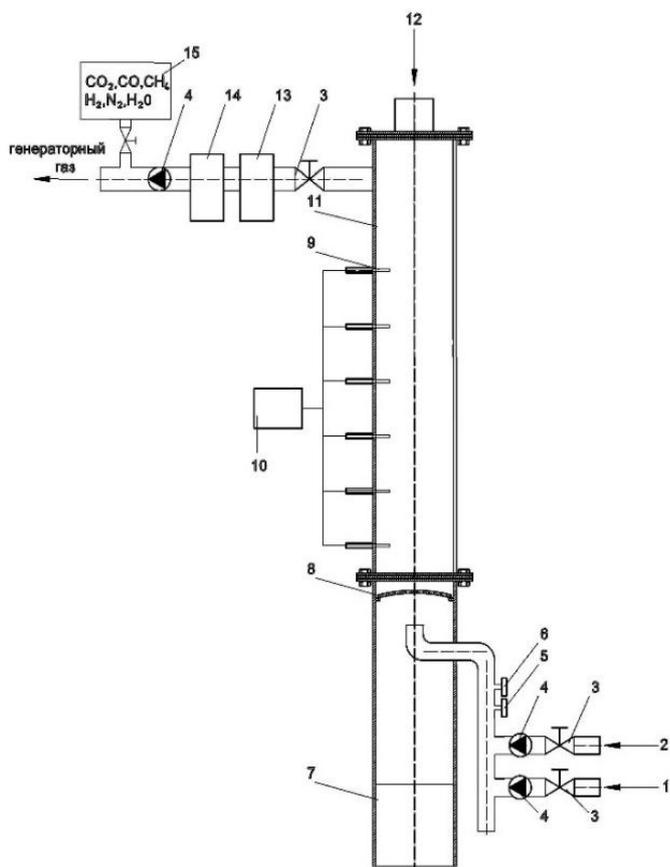


Рис. 4. Принципиальная схема экспериментального лабораторного стенда: 1, 2-подача воздуха, 3-запорно-регулирующий кран, 4-расходомер, 5-манометр, 6-термометр, 7-зольник, 8-колосниковая решетка (распределитель газифицирующего агента), 9-термопара, 10-потенциометр, 11-шахта газогенератора, 12-загрузка угля, 13- циклон, 14-влагоотделитель, 15-газоанализатор.

исследований, при этом максимальная погрешность между взаимными результатами составила 4,8%.

Из рис. 9 видно, что максимальное значение теплоты сгорания генераторного газа соответствует при $\alpha = 0,5-0,7$. Анализ серии проведенных экспериментов показал, что эффективные значения параметров, интенсифицирующие тепломассообменные процессы, принятые для исследований, изменяются в следующих интервалах:

В экспериментах параметры изменялись в следующих диапазонах:
 $G_{\text{уголь}} = 4 \div 8$ кг/час, $G_{\text{воздух}} = 4 \div 5$ $\text{м}^3/\text{час}$, $p = 100$ кПа.
 Скорость потери массы угля $w_{\text{п.м.}} = 0,01 \div 0,06$ кг/с,
 температура в активных зонах $t_1 = 150 \div 300$ $^\circ C$, $t_2 = 300 \div 500$ $^\circ C$, $t_3 = 500 \div 800$ $^\circ C$, $t_4 = 800 \div 850$ $^\circ C$.

Установлены граничные условия для образцов угля с различными начальными показателями, как рабочая влажность, рабочая зольность, диаметр частиц, примененных в экспериментах. Определена температура шлакообразования высокозольного полидисперсного Ангренского бурого угля $t_{\text{шл}} = 850 \div 950$ $^\circ C$.

Некоторые обобщенные результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 5÷10. На рис. 5÷8 представлено сравнение результатов численных и

и экспериментальных

- рабочая влажность угля: $W^P = 24 \div 28\%$;
- рабочая зольность угля: $A^P = 28 \div 32\%$;
- диаметр частиц угля: $d = 10 \div 20$ мм.

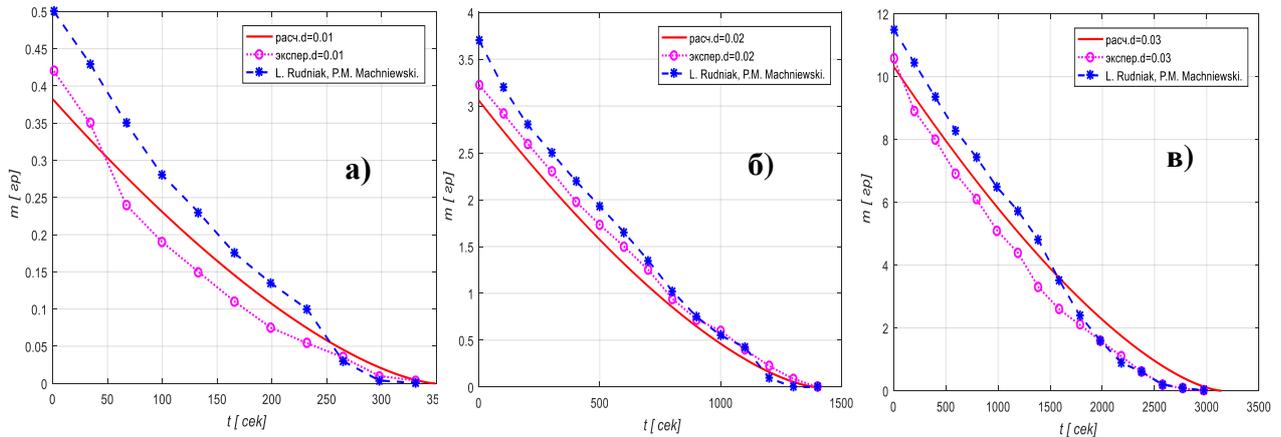


Рис. 5. Изменение массы угольной частицы в процессе газификации
 а) $d=10$ мм, б) $d=20$ мм, в) $d=30$ мм

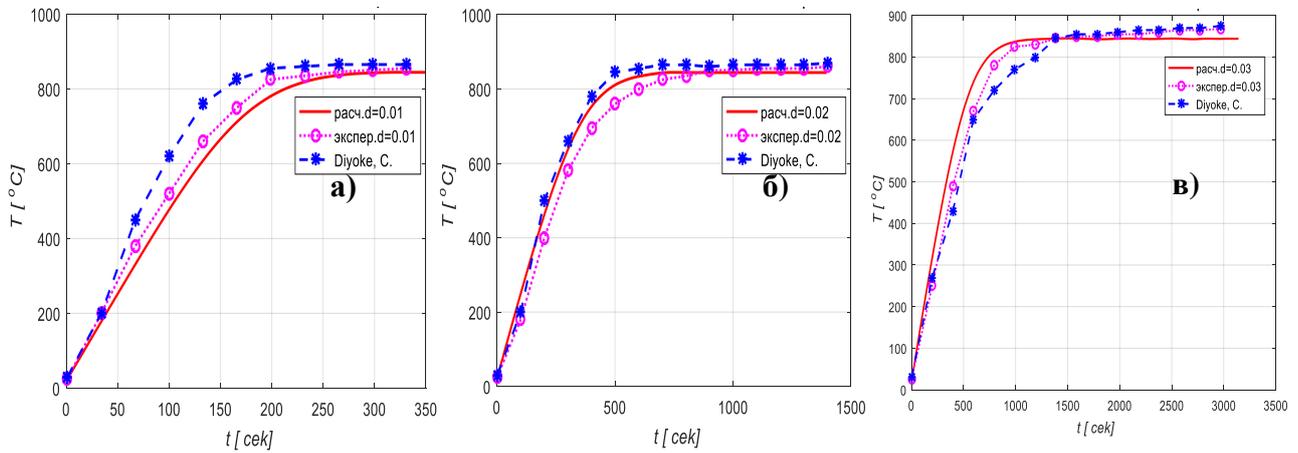
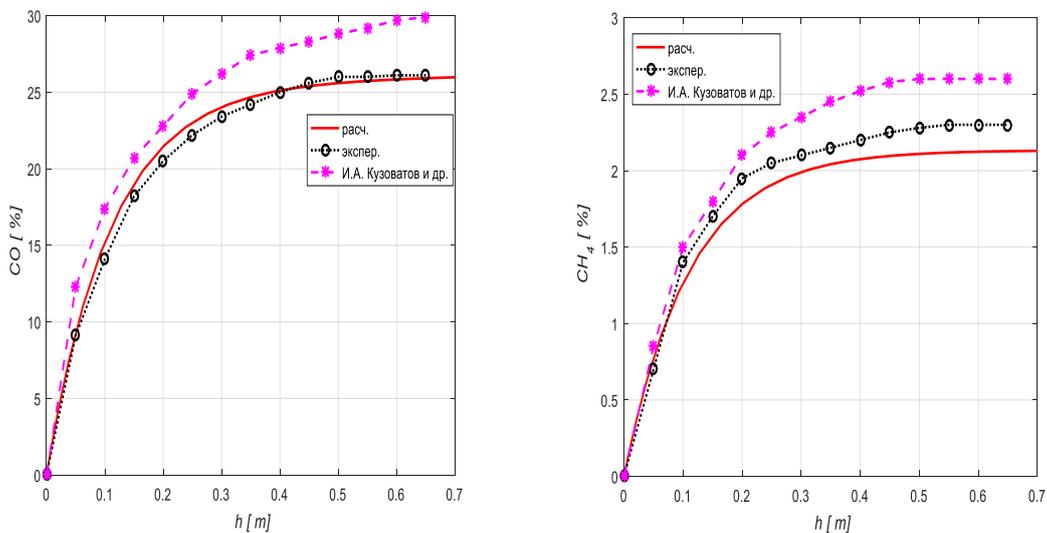


Рис. 6. Изменение температуры слоя угля в процессе газификации
 а) $d=10$ мм, б) $d=20$ мм, в) $d=30$ мм



Изменение концентрации газов CO , CH_4 по высоте экспериментальной установки

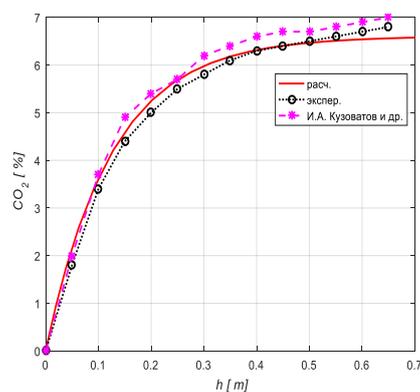
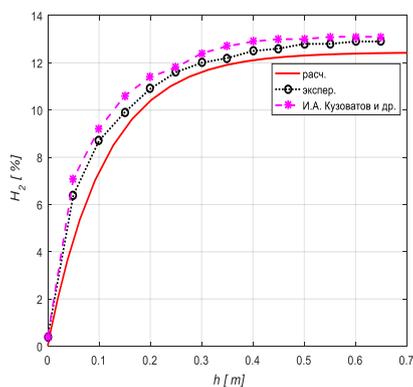


Рис. 7. Изменение концентрации газов H_2 , CO_2 по высоте экспериментальной установки

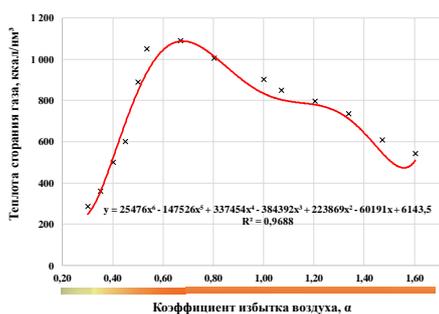


Рис. 8. Зависимость теплоты сгорания генераторного газа от коэффициента избытка воздуха

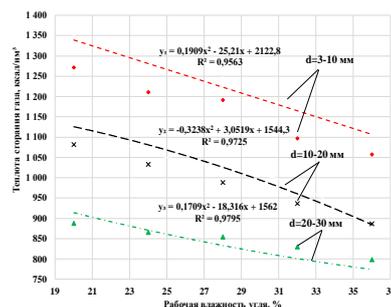


Рис. 9. Зависимость максимальных значений теплоты сгорания генераторного газа от рабочей влажности и полидисперсного состава угля

На основании графика, приведенного на рис. 8, методом наименьших квадратов получено эмпирическое уравнение изменения теплоты сгорания генераторного газа при различных значениях коэффициента избытка воздуха.

$$Q_H^{\text{газ}} = 25476 x^6 - 14752 x^5 + 337454 x^4 - 384392 x^3 + 223869 x^2 - 60191 x + 6143,5 \quad (26)$$

По вышеизложенной методике получено эмпирическое уравнение изменения теплоты сгорания генераторного газа при различной рабочей влажности угля (рис. 9):

$$Q_H^{\text{газ}} = -0,00023x^2 + 0,0087 - 0,0043 \quad (27)$$

Средняя относительная погрешность уравнений (26) и (27) составляет 3,7 %. По критерию Фишера была проведена оценка адекватности результатов расчетов по эмпирическим уравнениям и соответствующим экспериментальным данным. Для (26) уравнения расчетный $F_p = 5,412$, табличный $F_T = 7,54$, для уравнения (27) – расчетный $F_p = 5,424$ табличный $F_T = 7,55$, т.е. при $F_p < F_T$ вероятность достоверности адекватна с точностью 92%.

Равномерное распределение воздуха в зоне горения имеет важное значение при организации полного горения коксозольного остатка. Для этого выбрана прямая, вогнутая и выпуклая формы колосниковых решеток. С помощью программы Comsol Multyphysics исследовано влияние форм колосниковой решетки на равномерное распределение потока воздуха (рис.10).

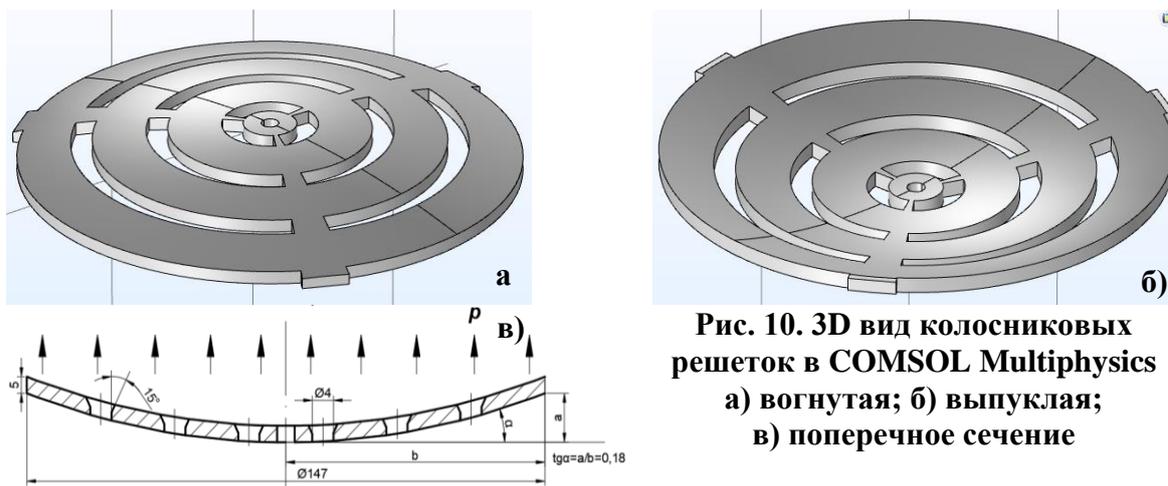


Рис. 10. 3D вид колосниковых решеток в COMSOL Multiphysics
 а) вогнутая; б) выпуклая;
 в) поперечное сечение

Результаты математической модели и эксперимента проверялись на адекватность по критерию Фишера, средняя относительная погрешность составила 3,1 % - 4,8%.

В четвертой главе «Технико-экономическое обоснование внедрения установки слоевой газификации угля» диссертации приведено описание технологического цикла и результаты расчетов по определению тепловой, технико-экономической эффективности котельного агрегата типа ТП-230-2 при внедрении установки газификации.

В табл.1 представлены результаты сравнения качественных показателей полученного генераторного газа и газа подземной газификации угля АО «Еростигаз».

На рис. 11 приведена предложенная схема включения новой газогенераторной установки к действующему котельному оборудованию без изменения основных технологических показателей.

Таблица 1.

Сравнение качественных показателей генераторных газов

Генераторный газ	CO, %	CO ₂ , %	CH ₄ , %	H ₂ , %	O ₂ , %	N ₂ , %	Удельный выход газа, нм ³ /кг	Теплота сгорания генераторного газа, Q _Н ^Р , ккал/нм ³
АО «Еростигаз»	7	23	6	20	1	50	2,2	800
Экспериментальная установка	26	7	3	16	0,5	47	2,2 - 2,4	950 - 1000

Технико-экономические показатели проекта внедрения на АО «Ангренская ТЭС» газогенераторной установки с расходом угля 100 кг/час приведены в табл. 2.

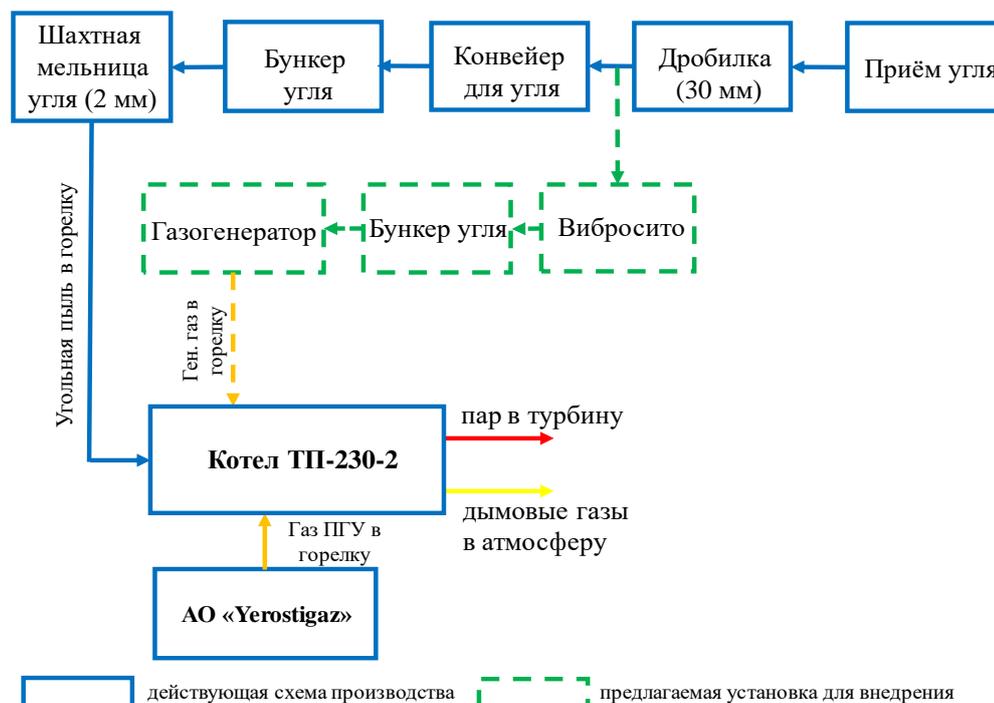


Рис. 11. Принципиальная схема работы котельного оборудования на Ангренской ТЭС

Таблица 2.

Технико –экономические показатели газогенераторной установки

Показатель	Котлоагрегат ТП 230-2	Предлагаемая установка
Количество атмосферных выбросов, т/год		
Летучая зола	23,63	6,03
СО	23,07	8,61
NO ₂	10,1	9,14
SO ₂	0,89	0,63
Капиталовложения, сум	-	310 000 000
Годовые эксплуатационные затраты, сум	570 707 520	452 000 000
Годовая выработка тепловой энергии, Гкал/год	1,905	1,555
Себестоимость тепловой энергии, сум/Гкал	299 584	290 675
Экономический эффект, сум/год	-	151 272 000
Срок окупаемости, год	-	3
АО «Еростигаз»		
Низшая теплота сгорания газа, ккал/нм ³	800	1000
Выход генераторного газа, нм ³ /кг	2,2	2,4
Себестоимость газа с учетом НДС, сум/нм ³	130	100

Из приведенной выше таблицы видно, что теплота сгорания газа, получаемого с помощью разработанной усовершенствованной установки слоевой газификации, может быть до 20% выше, чем теплота сгорания газа, подаваемого АО «Еростигаз». Кроме того, количество генераторного газа,

образующегося из 1 кг угля в разработанной установке, также может быть до 20% больше по сравнению с АО «Ерстигаз».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов исследований, приведенных в диссертационной работе по теме «Разработка и исследование установки газификации для высокзолного Ангренского бурого угля», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по техническим наукам, можно сделать следующее заключение:

1. На основании изучения физико-химических характеристик высокзолного полидисперсного Ангренского бурого угля, анализа методов газификации твердых низкосортных топлив создана установка слоевой газификации для высокзолного полидисперсного Ангренского бурого угля. Создана возможность получения генераторного газа из зольности высокзолного полидисперсного Ангренского бурого угля.

2. Разработаны физические и математические модели, а также алгоритм расчета экспериментальной установки и теплехимических процессов. Разработанные модели решены методом Рунге-Кутты. Разработанная модель позволяет изучить процесс газификации и определить факторы, влияющие на эффективное проведение процесса. Кроме того, с помощью модели можно определить компоненты получаемого генераторного газа при проведении процесса слоевой газификации угля.

3. Проведены экспериментальные исследования на созданной лабораторной установке – газогенераторе слоевого типа. В результате получены эмперические уравнения, определяющие зависимости эффективности процесса газификации от коэффициента избытка воздуха (α), рабочей влажности (W^p) и зольности (A^p) угля. Адекватность значений теоретических расчетов и экспериментальных данных проверена с помощью критерия Фишера, который составил $7,5 > 5,4$, что утверждает адекватность исследования.

4. Теоретические и экспериментальные исследования проведены для широкого диапазона рабочей влажности и зольности высокзолного полидисперсного Ангренского бурого угля. В результате проведенных экспериментов определен рациональный диапазон рабочей влажности $W^p = 20-24\%$, рабочей зольности $A^p = 24-28\%$.

5. Разработана технологическая схема включения газогенераторного оборудования мощностью 100 кг/час в действующее котельное оборудование типа ТП-230-2 Ангренской ТЭС без изменений основных технологических показателей. В результате применения генераторного газа, полученного из высокзолного полидисперсного Ангренского бурого угля, показана возможность снижения образования вредных атмосферных выбросов на 33 тн/год, увеличения годовой выработки тепловой энергии на 8 %, снижения себестоимости тепловой энергии на 8 %, годовой экономический эффект составил 151 272 000 сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREE
DSc.03/10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

KAVKATBEKOV MURODJON MAMITBEKOVICH

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A GASIFICATION UNIT FOR
HIGH-ASH ANGREN BROWN COAL**

05.05.04 – Industrial thermal power engineering

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF
PHILOSOPHY (PhD) IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The topic of the dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences has been registered with the number B2022.3.PhD/T3160 in the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations.

The dissertation was conducted at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on the web site of "ZiyoNet" Information and education portal (www.ziyo.net.uz).

Scientific supervisor: **Babakhodjaev Rakhimjan Pachehanovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Uzakov Gulom Norboyevich**
doctor of technical sciences, professor

Shaislamov Alisher Shabdurakhmanovich
candidate of technical sciences, associate professor

Leading organization: **JSC "Thermoelectroproject"**

The defense will be take place "5" 04 2025 at 10:30 o'clock at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc.03/10.12.2019.T.03.03 Tashkent State Technical University named after Islam Karimov. Address: 100095, Tashkent, University str., 2. Phone.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number - 12). Address: 100095, Tashkent, University str., 2. Phone.: (99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation was distributed on 12 04 2025 year.
(mailing record № 4 on "11" 04 2025 year.)



K.R. Allayev
Chairman of Scientific Council on
awarding Scientific Degrees,
Doctor of Technical Sciences,
Professor, Academic

I.U. Rakhmonov
Acting Scientific secretary of
Scientific Council on awarding Scientific Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

A.M. Mirzabayev
Deputy chairman of the Scientific seminar
on awarding Scientific Degrees,
Doctor of technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to investigate an improved installation for layered gasification of high-ash, polydisperse Angren brown coal.

The tasks of the research:

study of the physic-chemical characteristics of high-ash polydisperse Angren brown coal;

review and study of low-grade and high-ash coal gasification technologies;

development of a physical and mathematical model for the coal gasification process and conducting numerical experiments;

improvement of the installation and investigation of operating modes, determination of rational energy-efficient parameters of the installation of layered gasification with air blast, comparison of theoretical data with experimental ones;

calculation of technical and economic indicators and implementation of a gasification plant for high-ash polydisperse Angren brown coal.

The object of the research work. The object of the study is high-ash polydisperse Angren brown coal.

The subject of the research is the gasification process of high-ash polydisperse Angren brown coal in a dense layer.

The scientific novelty of the research is as follows:

an experimental installation has been improved to study the gasification process of high-ash polydisperse Angren brown coal;

a mathematical model of physic-chemical processes in the gasification of high-ash polydisperse Angren brown coal in a layered gas generator has been developed;

acceptable values of air flow $\alpha = 0.5-0.7$, the ratio of the height of the combustion zone to the recovery zone 0.5, the size of coal particles 10-20 mm for an effective gasification process of high-ash polydisperse Angren brown coal were determined;

the adequacy of the results of theoretical and experimental studies of the gasification process of high-ash polydisperse Angren brown coal has been determined.

Implementation of research results. Based on the scientific results of the study of the gasification process of high-ash polydisperse Angren brown coal, the following results were obtained:

the act of acceptance for the implementation of a gasification plant with a coal consumption of 100 kg/hour from Angren TPP JSC for a TP-230-2 boiler unit. As a result, it was possible to reduce the cost of thermal power plants by 8%.

the technological scheme of the gas generator set at Angren TPP JSC for the TP-230-2 boiler unit has been. As a result of gasification of high-ash polydisperse Angren brown coal in the amount of 800 tons/year, the annual economic effect amounted to 151 272 000 sums, and a decrease in the amount of harmful substances released into the environment (fly ash, nitric oxide, carbonate anhydride, sulfur dioxide) by 33tons/year.

Approbation of the research results. The research results were discussed at 2 international and 3 republican scientific and practical conferences and seminars.

Publication of research results. On the topic of the dissertation, 14 scientific works have been published, of which 6 are in scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing the main scientific results of Doctor of Philosophy (PhD) dissertations. These include 4 in national journals and 1 in a foreign journal. Additionally, 1 article is indexed in the Scopus database, and there are 2 certificates for computer programs.

The structure and volume of the thesis. The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 104 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim; (I часть; I part)

1. M. Kavkatbekov, R. Babakhodjayev, L. Eshkuvatov. Influence of physical and chemical properties of solid fuels on the gasification process. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India, 2023. – Vol. 10, Issue 10, October 2023. ISSN: 2350-0328. PP. 21135-21138 (05.00.00; №8).

2. M.M. Kavkatbekov, R.P. Babakhodzhayev. Research of the influence of physical and chemical properties of coal on the gasification process using the example of Angren brown coal // Technical science and innovation: TSTU. Tashkent, 2024. -№2. -p. 14-18. (05.00.00; №16).

3. M.M. Kavkatbekov, R.P. Babakhodzhayev, H.A. Ernazarov, D.A. Eshboyev. Technical and economic possibilities of using the coal gasification process on the example of Angren TPP // Научно-технический журнал «Проблемы энерго-и ресурсосбережения». -Ташкент, 2024 г. -Специальный выпуск (№85). С. 205-214. (05.00.00; №21).

4. Kavkatbekov M.M., Babakhodjaev R.P. Technical and economic feasibility of using a gas generator unit using the example of Angren TPP JSC // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. -Tashkent, 2024. № 30. P. 34-38. (05.00.00; №25).

5. Кавкатбеков М.М, Бабаходжаев Р.П. Техничко-экономическое обоснование применения установки газификации угля на Ангреновской ТЭС // Научно журнал «Инновационные технологии» КарИЭИ. -Карши, 2024. - Том 53, -№1, - С.61-68. (05.00.00; №38).

6. Кавкатбеков М.М, Бабаходжаев Р.П., Ташбаев Н.Т. Численное исследование процесса газификации высокозольного Ангреновского бурого угля // Научно-технический журнал «Проблемы энерго-и ресурсосбережения». -Ташкент, 2024 г. -Специальный выпуск (№86). С. 100-113. (05.00.00; №21).

II bo'lim; (II часть; II part)

7. Babaxodjayev R.P., Tashbayev N.T., Mirzayev Dj. A., Eshkuvatov L.M., Kurbanbayeva M.Sh., Kavkatbekov M.M., Kurbanbayeva Z.X., Karimov I.B., Abdullayev M. Polidispers materiallarni issiqlik bilan ishlov berish va yoqish uchun qurilma // O'z. Res. intellektual mulk agentligi. Ixtiro patenti № IAP 07280. 17.03.2022.

8. Kavkatbekov M. M., Tashbayev N. T., Babaxodjayev R. P., Eshkuvatov L M. Kullik darajasi yuqori bo'lgan polidispers Angren qo'ng'ir ko'mirini gazifikatsiyalashda ko'mir zarrasi diametrining o'zgarishini MATLAB dasturida tahlil qilish. // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. DGU №42578, 30.09.2024.

9. Kavkatbekov M. M., Umarov I.B., Noraliyev U.Sh., Kuchkarov A.V. Kullik darajasi yuqori bo‘lgan polidispers Angren qo‘ng‘ir ko‘mirini gazifikatsiyalashda ko‘mir zarrasi haroratining o‘zgarishini MATLAB dasturida tahlil qilish. // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. DGU №42876, 14.10.2024.

10. R. Babakhodjaev, M. Kurbanbaeva, M. Kavkatbekov. Increasing the calorific value of Angren lignite coal by an upgraded device. //4th International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2023).

11. Kavkatbekov M.M., Babakhodjayev R.P., Eshkuvatov L.M. Prospects for the use of layered gasifiers using Angren brown coal // Innovations in Technology and Science Education / Vol. 2, Issue 15 P. 308-319.

12. M. Sh. Kurbanbaeva, Z. X. Kurbanbaeva, M. O. Oralov, J.A.Axmadov, M.M.Kavkatbekov. Angren qo‘ng‘ir ko‘mirining kaloriyasini quritish va qattiq minerallardan ajratish orqali oshirish. // Journal of new century innovations_Volume-23_Issue-3. p.p. 124-126.

13. Кавкатбеков М.М., Бабаходжаев Р.П. Перспектива разработки технологии получения энергии путем газификации на примере Ангренского бурого угля. // Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni. // Respublika ilmiy-amaliy anjumani ma’ruzalar to‘plami. -Toshkent, ToshDTU. 21.04.2022 г. С. 313-315.

14. Кавкатбеков М.М., Бабаходжаев Р.П. Исследование процесса газификации высокозольного Ангренского бурого угля на экспериментальной установке// Международная научная конференция “Современные проблемы и решения в развитии информационных технологий и отраслей экономики областей нанофизики и фотоэнергетики”. Наманган. 25-26.10.2023 г. С.49-52.

Avtoreferat Toshkent davlat texnika universiteti “TEXNIKA FANLARI VA INNOVATSIYA” jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Bichimi 84x60 1/16. “Times New Roman” garniturasini
raqamli bosma usulda bosildi
Shartli bosma tabog‘i: 2.81. Adadi 100. Buyurtma № 25.

“For office” mas’uliyati cheklangan jamiyati.
110200, Angren shahri, Xorazm ko‘chasi, 18.
Tel: +998 97 000 05 42

