

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**
DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ**

**ХОМ АШЁНИ ҚИЗДИРИШДА ЁЙЛИ ПЎЛАТ ЭРИТИШ
ПЕЧЛАРИДАН АЖРАЛАЁТГАН ГАЗЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ
ЖАРАЁНИНИ ОПТИМАЛЛАШТИРИШ ОРҚАЛИ
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01. - Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик.
Металларга термик ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва
ноёб металлар металлургияси (Қуймачилик ва металларга ишлов
бериш йўналиши)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент - 2021

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ**

**ХОМ АШЁНИ ҚИЗДИРИШДА ЁЙЛИ ПЎЛАТ ЭРИТИШ ПЕЧЛАРИДАН
АЖРАЛАЁТГАН ГАЗЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ ЖАРАЁНИНИ
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ ОРҚАЛИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01. - Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик.
Металларга термик ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб
металлар металлургияси (Қуймачилик ва металларга ишлов бериш
йўналиши)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Ташкент – 2021

УДК 669.18

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

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

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

Халикулов Ўткир Мирзакамолович

Хом ашёни қиздиришда ёйли пўлат эритиш печларидан ажралаётган газлардан
фойдаланиш жараёнини оптималлаштириш орқали
такомиллаштириш.....5

Халикулов Уткир Мирзакамолович

Совершенствование путем оптимизации процессов использования отходящих
газов из дуговых сталеплавильных печей
для подогрева сырья34

Halikulov Utkir Mirzakamolovich

Improvement by optimizing the processes of using waste gases from
arc steel furnaces for heating raw materials65

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works.....69

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.PhD/Т1492 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Самадов Алишер Усманович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Нурмурадов Саллохиддин Дусмуродович
техника фанлари доктори, профессор

Якубов Лазиз Эргашхонович
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Етакчи ташкилот:

“Олмалик КМК” АЖ

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.Т.03.04. рақамли илмий кенгашнинг “...” 2021 йил «--» _____ соат _____ даги Илмий кенгаш мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел. / факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел. / факс): (99871) 227-10-32)

Диссертация автореферати «___» _____ 2021 йилда юборилди.
(2021 йил «___» _____ даги --- рақамли реестер баённомаси).

К.А. Каримов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш раиси, т.ф.д, профессор

Н.Д.Тураходжаев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д, профессор

Ф.С. Абдуллаев
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, т.ф.д.профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда дунё миқёсида металлургия саноатида тоғ-кон металлургия комплексининг асосий, энг муҳим муаммолардан бири, бу пўлат ишлаб чиқариш маҳсулоти сифатини яхшилаш ва меҳнат унумдорлигини ошириш, қўлланиладиган энергиядан фойдаланиш самарадорлигини ошириш ҳисобига ишлаб чиқаришни интенсивлаштириш муҳим вазифалардан ҳисобланади. Бу борада пўлат ишлаб чиқаришда ресурс тежамкорлигини таъминлайдиган, ҳамда глобал экологик меъзонларга жавоб берадиган янги технологиялар яратиш ва уларни соҳага тадбиқ этиш муҳим аҳамият касб этади.

Жаҳонда электр печларида пўлат ишлаб чиқариш жараёнини такомиллаштириш бўйича кенг кўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бугунги кунга қадар пўлат эритиш жараёнида умумий харажатларнинг қарийб 50-60 фоизини электр энергиясига кетадиган харажатлар ташкил этиб, уни бошқа арзон иссиқлик генераторларига алмаштириш долзарб аҳамият касб этмоқда. Шунинг учун металлургия саноатининг долзарб вазифалардан бири хом ашёни қиздириш асосида ресурстежамкорликни таъминлаш, эритиш печларидан ажралаётган газлардан фойдаланиш жараёнини оптималлаштириш, чиқинди газ иссиқлигидан самарали фойдаланиш асосида экологик муҳитни яхшилашга қаратилган технологияларни яратиш муаммоси долзарб вазифалардан биридир.

Республикада қора металлургия асосан Ангрен-Олмалиқ тоғ-кон саноати зонасида ва давлат корхоналари ҳисобланган «Олмалиқ КМК» АЖ, «Навой КМК» ДК ва «Ўзметкомбинат» АЖ давлат корхоналарида мужассамланган бўлиб, маҳсулотлари ишлаб чиқариш, жумладан, саноат ва хўжалик қурилишида ишлатиладиган пўлатдан тайёрланган профиль ва қуйма маҳсулотлар ишлаб чиқаришнинг жадал суръатлар билан ривожланиши йўлга қўйилган бўлиб, ёйли пўлат эритиш печларида пўлат ишлаб чиқариш жараёнида ресурс ва энергия тежамкорлигини таъминлашда маълум бир натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида жумладан «... макроиқтисодий барқарорликни мустаҳкамлаш ва юқори иқтисодий ўсиш суръатларини сақлаб қолиш, миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»¹ вазифаси белгилаб берилган. Шу нуқтаи назардан, маҳаллий хомашё ва ишлаб чиқариш чиқиндиларига асосланган пўлат ишлаб чиқаришда ресурс ва энергия тежайдиган технологияларни яратиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2016 йил 26 декабрдаги ПҚ-2698-сон “2017-2019 йилларда тайёр маҳсулот турлар, бутловчи буюмлар ва материалла ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш истиқболли лойиҳаларини

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

“Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги ва 2018 йил 3 октябрдаги ПҚ-3956-сон “Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш соҳасида давлат бошқаруви тизимини такомиллаштириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги Қарорлари, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ёйли пўлат эритиш печларида пўлатларни суюқлантириш, металлургияда хом ашёни жараёндан олдин қиздириш ва электрда пўлат эритиш агрегатидан ажралаётган чиқинди газлар таркибидаги зарарли моддаларни термик ишлов бериш орқали деструкция қилиш соҳасидаги илмий тадқиқотлар, куйидаги олимлар томонидан амалга оширилди: К.Х. Хейнен, К. Алфред, К. Клейн, Х. Грипенберг, Т. Кишида, С. Кимура, В.А. Кривандин, И.Н. Неведомская, В.Д. Смоляренко, Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, Н.Д. Тураходжаев, А.О. Шазимов, М.Ш. Қурбонов, Э.Х. Тулягановлар ва бошқалар.

Мазкур ишлар таҳлиliga кўра, шуни таъкидлаш керакки, энергия тежамкорлиги ва экологик меъёрлардан келиб чиққан ҳолда, такомиллашган иссиқлик алмашинувига ва оптимал конструкцияга эга бўлган, металл бўлақларини олдиндан қиздириш имконини берадиган агрегатни ишлаб чиқиш масалалари тубдан ҳал этишни талаб этади. Ушбу диссертация ишида ушбу муаммони ҳал қилишга доир масалалар кенг ёритиб берилган.

Тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан ўзаро боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Миллий технологик тадқиқотлар университети “МИСиС” Олмалиқ филиалининг 01/06-01/4-334-сонли “Ёйли пўлат эритиш печларидан ажралаётган газларнинг иссиқлигидан фойдаланиш” (2017-2019 йй.) мавзусидаги лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади печдан ажралаётган техноген чиқинди газларнинг физик иссиқлигидан фойдаланиб хом-ашёни олдиндан қиздириб олишнинг самарали технологиясини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

бир вақтнинг ўзида ҳам печга, ҳам цехнинг газ тозалаш тизимига интеграция қилинадиган инновацион агрегатнинг афзалликларини асослаш;

электрометаллургик ишлаб чиқаришнинг замонавий талабларига ва экологик меъёрларга мос келувчи, металл бўлақларини олдиндан қиздириб, чиқинди газларни ёқиб юборувчи янги комбинацион жараён технологиясини ишлаб чиқиш;

металл бўлақларини олдиндан қиздириш жараёнида чиқинди газлар

оқими ва иссиқлик алмашинувини яхшилайдиган интеграциялашган қиздирувчининг конструкциясини такомиллаштириш;

икки камерали қиздирувчининг металл бўлақларини қиздириш ва чиқинди газларни ёқиб юбориш тизимининг хусусиятларини такомиллаштирадиган термик режимларини ишлаб чиқиш;

икки камерали қиздирувчидаги комбинацион жараённинг иссиқлик балансининг математик моделини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ёйли пўлат эритиш печидан ажралаётган техноген чиқинди газлар танланди.

Тадқиқотнинг предмети бўлиб металл шихтани ёйли пўлат эритиш печига юклашдан аввал қиздириш учун ажралаётган техноген газларнинг физик иссиқлигидан фойдаланиш ва қиздириш жараёнидан кейин чиқинди газларни махсус камерада ёқиб юборишни таъминлайдиган комбинацион технологияни ўрганиш ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишини бажаришда хом-ашёни олинган қиздириш бўйича илмий-техник маълумотлар таҳлили, аналитик услубни қўллаган ҳолда назарий тадқиқотларнинг замонавий комплекс тадқиқот усулларида, иссиқлик нурланиши билан кечадиган нурланиш-ютилиш муҳитини яратиш ва нурли энергиянинг ўтиш қонуниятларига асосланган усуллари кўлаб ўрганилган. Олинган тажрибавий маълумотларни статистик қайта ишлашда математик методлардан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

интеграциялашган олдиндан қиздирувчи қурилмаларида газларнинг ярим ёпиқ тизимдаги ҳаракатланишининг таснифи ишлаб чиқилди;

иссиқлик алмашинуви қонуниятлари асосида металл парчаларини олдиндан қиздириш ва чиқинди газларни ёқиб юборишнинг комбинацион технологияси ишлаб чиқилди;

(ПДК) – атмосферага чиқаётган ёниш маҳсулотларининг таркибидаги зарарли қўшимчаларнинг чегаравий концентрацияси талаблари асосида қиздириш камерасидан ажралаётган техноген чиқинди газларни қайта ишлаш технологияси ишлаб чиқилди;

ресурс тежамкорликнинг таъминланиши кўрсаткичлари асосида икки камерали интеграциялашган шихта қиздирувчисининг термик режимлари ишлаб чиқилди;

икки камерали комбинацион қиздирувчининг қиздириш камерасида, хом-ашёни олдиндан қиздириш мобайнида кечадиган асосий физик-кимёвий жараёнлар ва металл парчалари устунидаги иссиқлик алмашинув жараёнларининг таснифи билан боғлиқ зоналар аниқланди.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

печ муҳити ва газ ўтказиш модулига интеграция қилинган металл парчаларини олдиндан қиздириш ускунасининг ичидаги газларнинг турбулент-ламинар ҳаракати туфайли суюқ пўлат ваннасидаги ортиқча газларнинг чиқиб кетиши эвазига пўлат сифати яхшилانган;

бир вақтнинг ўзида печдан ажралаётган чиқинди газларнинг физик

иссиқлигидан иссиқлик нурланиши ва конвектив иссиқлик алмашинувини қўллаган ҳолда металл парчаларини олдиндан қиздириш эвазига хом-ашёнинг ўртача температурасини 500 °С га оширадиган технология ишлаб чиқилган ва асосланган;

икки камерали қиздирувчининг ички деворларига термал панеллар ёрдамида иссиқлик изоляциясини таъминланиши туфайли металл парчаларининг ўртача иссиқлиги қўшимча 70 °С га кўтариш технологияси ишлаб чиқилган;

чиқинди газларни ёқиб юбориш орқали термик ишлов бериш натижасида цехнинг чанг-газ тозалаш тизимига тушадиган юкламани 15-20% қисқартиришни таъминловчи комбинацион жараён технологияси ишлаб чиқилган;

шихта устуни бўйлаб печ ваннасининг ва ундан ажралаётган газларнинг иссиқлик нурланиши, газларнинг шихтага нисбатан мажбурий ва эркин конвекцияси натижасида 100 кВт/соат энергия тежовчи икки камерали қиздирувчининг конструкцион тузилиши ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги фойдаланилган физик-кимёвий (ИК - спектроскопияси, рентген фаза таҳлили ва кимёвий таҳлил), шунингдек электрда пўлат ишлаб чиқариш жараёнида арзон иссиқлик генераторларидан фойдаланиб шихтага, сўнгра техноген чиқинди газларга термик ишлов бериш натижасида умумий ишлаб чиқариш унумдорлигини ва экологик хавфсизлигини таъминлайдиган комбинациялашган технологик жараёнини ишлаб чиқишда экспериментларни математик режалаштириш усулини қўллаб, экспериментлар натижаларининг математик асосда қайта ишлов берилиши замонавий техника ва технологиялардан фойдаланишнинг тадқиқот усуллари билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, металл парчаларини олдиндан қиздириш мобайнида кечадиган физик жараёнларни ўрганиш ва ёйли пўлат эритиш печида газларнинг ва газларда иссиқликнинг ҳосил бўлиши, металл парчалари устуни бўйлаб иссиқлик алмашинуви ва ажралаётган газларни ёқиб юбориш жараёнларининг илмий асосланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти пўлат эритиш агрегатидан ажралаётган газларнинг физик иссиқлигидан самарали фойдаланиш ва ажралаётган газлар таркибидаги зарарли моддалар атроф-муҳитни ифлослантиришини олдини олишда термик ишлов беришнинг комбинацион жараёнларини ўзида мужассамлаштирган қурилманинг конструкцияси ишлаб чиқишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Хом ашёни қиздиришда ёйли пўлат эритиш печларидан ажралаётган газлардан фойдаланиш жараёнини оптималлаштириш орқали такомиллаштириш учун олиб борилган тадқиқотлар бўйича олинган илмий натижалар асосида:

“ДСП-100УМК” печидан ажралаётган газларнинг физик иссиқлигидан фойдаланиш технологияси “Ўзметкомбинат” АЖГа жорий этилган (“Ўзметкомбинат” АЖнинг 2020 йил 20 ноябридаги 01/02-03.02-138-сонли

маълумотномаси). Ишлаб чиқилган технологиянинг қўлланилиши пўлат эритиш жараёни учун сарфланадиган вақтни 10-15 % га қисқартириш имконини берган.

Печдан ажралаётган зарарли газларнинг таркибидаги зарарли моддаларни ёкиб юборишни таъминлайдиган технология “Ўзметкомбинат” АЖга жорий қилинган (“Ўзметкомбинат” АЖнинг 2020 йил 20 ноябридаги 01/02-03.02-138-сонли маълумотномаси). Ишлаб чиқилган технологиянинг қўлланилиши электр пўлат эритиш цехидаги газ ва чанглардан тозалаш тизимига тушадиган юкломани 15-20 % қисқартириш имконини берган.

Икки камерали қиздирувчида иссиқлик алмашинув жараёнини бир маромда тақсимлашнинг инновацион технологияси “Ўзметкомбинат” АЖга жорий этилган (“Ўзметкомбинат” АЖнинг 2020 йил 20 ноябридаги 01/02-03.02-138-сон маълумотномаси). Ишлаб чиқилган технологиянинг қўлланилиши ҳар бир тонна пўлатни суюқлантиришда 100 кВт с электр энергиясини тежаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 2 та республика ва 4 та халқаро конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 13 та иш эълон қилинган. Шулардан 11 та илмий мақола бўлиб, улардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия қилинган илмий нашрларда 2 таси республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган. Докторлик диссертациясининг асосий илмий натижалари бўйича 1 та монография ва 1 та ЭХМлари учун дастурини рўйхатга олинганлиги тўғрисидаги гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертациянинг таркиби кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан ташкил топган. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари тавсифланган, объекти ва предмети белгиланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларни ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, олинган натижаларнинг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти баён қилинган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилиш келтирилган, натижаларнинг апробацияси, чоп этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Шихтани олдиндан қиздиришнинг мавжуд технологияларининг таҳлили”** деб номланган биринчи бобида пўлат ишлаб чиқаришда шихтани олдиндан қиздиришнинг ривожланиши ва ривожланиш босқичларини жадаллаштириш динамикасида жуда катта назарий ва амалий тажриба тўпланганлиги келтирилган. Соҳада бой назарий ва амалий тажрибага қарамасдан, ҳозиргача металл парчаларини олдиндан қиздиришнинг кўп муаммолари ечилмаган.

Биринчидан, металл парчаларини олдиндан қиздириш соҳасида ўрганилган технологиялар пўлат эритиш даврининг барча иш цикллари учун ечимлар мажмуаси мавжуд эмас, ўз навбатида, бу технологияларни эритиш вақтида бевосита қўллаш печда эритиш циклининг ўзгаришига олиб келади.

Иккинчидан, тадқиқотчилар кўпинча шихтани олдиндан қиздириш жараёнини шихтанинг маълум таркиби ёки шихтани таёрлаш учун махсус шароит ва сифатларга мослаштиради.

Учинчидан, металл парчаларини олдиндан қиздириш жараёнлари экология масалалари ва атроф-муҳитга зарарли моддаларни тарқатишни чеклаш, айниқса йигирма биринчи асрда қабул қилинган янги меъёрлар натижасида чегараланиб қолди.

Диссертация ишида металл парчаларини олдиндан қиздириш бўйича мавжуд жараён ва усуллар бўйича тўпланган материалларнинг қиёсий таҳлили, ҳам печнинг конструкцион хусусиятларини инобатга олган ҳолда интеграция қилинган, ҳам газ тозалаш тизимига интеграция қилинган интеграциялашган тизимлар келгусида ривожланиши учун катта имкониятларга эга эканлигини кўрсатди. Металл парчаларини олдиндан қиздирувчи интеграциялашган тизимлар, олдинги қурилмаларнинг қуйидаги принципиал муаммоларини ҳал қилди:

- қиздирилган металл парчаларини ташишда мурракаб логистика тизимини, ҳамда пўлат эритиш цехларида печдан ташқарида металл парчаларини қиздиришда зарур бўлган узун ва хизмат кўрсатишда мураккаб бўлган газ йўлакларини жорий этиш;

- металл парчаларини қиздиришда бадья ёки бошқа идишларни қўллаш зарурияти;

- ёйли пўлат эритиш печи ва металл парчаларини қиздирувчиларнинг интеграция механизмларини моделлаштириш;

- чиқинди газларнинг иссиқликдан фойдаланиш коэффициентида максимал фойдаланиш учун қиздириладиган шихтанинг температурасини кўтариш.

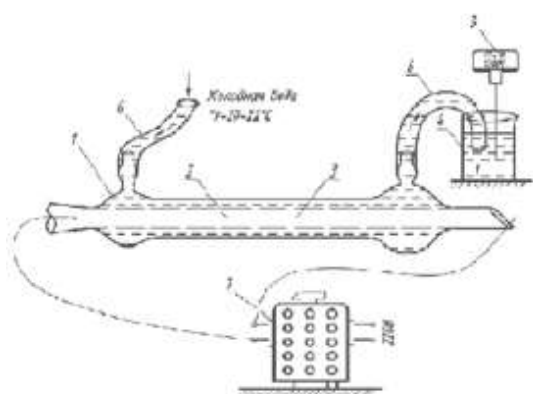
Ушбу ишнинг асосий вазифаси этиб иқтисодий самарадор, атроф-муҳитни муҳофаза қилишнинг янги талабларига жавоб беришга қараталган тенденцияларни ва “Ўзметкомбинат” АЖнинг электда пўлат эритиш цехининг (ЭПЭЦ) асосий агрегатларини жойлашув инфратузилмасини инобатга олган металл парчаларини олдиндан қиздирувчи тизимларни қўллаш белгиланган.

Диссертациянинг **“Интеграциялашган икки камерали қиздирувчида ажралаётган газларнинг иссиқлик алмашиш харакатини оптималлаштириш”** деб номланган иккинчи бобида, ЁПЭП дан ажралаётган газларнинг динамик ва кинематик харакати Ньютоннинг ёпишқоқ ишқаланиш қонуниятига асосан, конвектив ва иссиқлик нурланиши асосида металл парчаларига иссиқлик берилиши билан кечиши келтирилган. Металл шихтасидаги газларнинг оқими материалларнинг мурракаб ва тартибсиз шакли туфайли мураккаб таснифга эга, яъни ламинар ва турбулентдир. Печь ваннасида ва ЁПЭПлардан ажралаётган газларидан металл шихтасига иссиқлик бериш жараёнларида иссиқлик узатишнинг уч

тури амалий рол ўйнайди:

- а) печь ваннасининг юзасидан ажралаётган иссиқлик нурланиши;
- б) ажралаётган техноген чиқинди газлар билан металл парчалари юзасидаги иссиқлик нурланиши;
- в) ажралаётган техноген чиқинди газлар билан металл парчаларининг юзасидаги конвекция.

Ютилиш ва нурланиш жараёнлари билан кечадиган жараёнларни ўрганиш, ҳамда нурланиш-ютиш муҳитида кечадиган жараёнларнинг нурли энергия узатишнинг асосий қонуни тузилишини аниқлаш учун тажриба схемаси 1-рasm бўйича тузилди. Тажриба НТЦ-22.05.21 “Газ динамикаси асослари” лаборатория стeнди билан комбинациялиштирилди.



1-рasm. Ютилиш ва нурланиш билан кечадиган жараёнларни НТЦ-22.05.21 стeнди базасида ўрганиш учун схема ва қурилма

Бу ерда: 1- икки қатламли кварц қувури (сувли музлатгич); 2- d-1-3 мм бўлган кўмир кукуни; 3- нехром сим; 4- сувли музлатгичдан иссиқ сувни қабул қилиб олишга мўлжалланган иссиқбардош кимёвий стакан; 5- ЛТ-300 электрон термометри; 6-сув узатиш ва қуйиш шланги; 7- ЛАТР-10 лаборатория автотрансформатори.

Чўян ва пўлатнинг турли модификациларида тўлиқ нормал иссиқлик нурланиш коэффициенти ҳам аниқланди (1-жадвал).

1-жадвал

Турли материалларда тўлиқ нормал иссиқлик нурланиш коэффициенти

Материаллар:	t, °C	ϵ
Чўян:		
сайқаланган	425-1020	0,144-0,377
оксидланган	100	0,736
Қуйма, ишлов берилмаган	925-1115	0,87-0,95

Пўлат:		
Қалин занг қатламли лист	25	0,82
Темир оксиди	500 -1200	0,85-0,95
Мойли бўёқлар билан қопланган	100	0,92-0,96
Мустаҳкам силлиқланган пластинка	23	0,945

Иккала материал тури бўйича нормал иссиқлик нурланишини аниқлаш бўйича диаграммалар тузилди (2-расм).



2-расм. Чўян ва пўлатнинг турли модификацияларида тўлиқ нормал иссиқлик нурланиш коэффицентлари аниқлаш диаграммалари

Тажриба ишларининг ушбу босқичи учун асосий хулосаларидан бири сифатида, тўқ рангли жисмларда иссиқлик ютиш коэффицентлари юқори бўлишини қабул қилиш мумкин. Шунинг учун тўқ рангли бўлакларни камеранинг пастки қисмидан бошлаб юклаш орқали иссиқлик ютилиши самарадорлигини оширади. Бўлажак олдиндан қиздириш қурилмасида иссиқлик нурланиш зонасини кенгайтиришга қарор қилинди.

Стефан-Больцман қонунига мувофиқ печ ваннасининг иссиқлик нурланиш қуввати аниқланди:

$$\xi = 0.7, T_1 = 1923.15K, A = 14.2m^2, P = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_1^4, P = 7.709 \times 10^6 W \quad (1)$$

Иккита паралел пластиналар орасидаги нурланиш коэффицентлари (ванна юзаси ва металл бўлакларининг пастки қатлами) қуйидаги кўринишда аниқланди:

$$\epsilon_1 = 0.91, \epsilon_2 = 0.9, K_c = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}, K_c = 4.686 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}, \quad (2)$$

Интеграциялашган қиздирувчининг пастки қисмида жойлашган металл бўлаклари устунинг иссиқлик нурланиши натижасидаги ҳарорати:

$$T_2 := \sqrt[4]{T_1^4 - \frac{P}{K_c \cdot A}}, T_2 = 1.203 \times 10^3 K, T_2 = 929.613 \cdot ^\circ C. \quad (3)$$

Ажралаётган техноген чиқинди газлар билан металл парчалари юзасидаги иссиқлик нурланиши. Атомлар сонига қараб, металл шихта массаси орасидан ўтаётган газлар, нур энергиясини таратиш ва ютиш қобилиятига эга. Изланишлар натижасида CO_2 , H_2O ва бошқа полиатомик газларнинг изотермик ҳажмларининг нурланиши экспериментал аниқланди ва шу асосда турли газлар, жумладан карбонат ангидрид ва сув буғи учун газ ҳажмининг иссиқлик нурланиш коэффицентининг ϵ газ ҳароратига боғлиқлиги кўринишидаги номограммалар тузилди (3-расм).

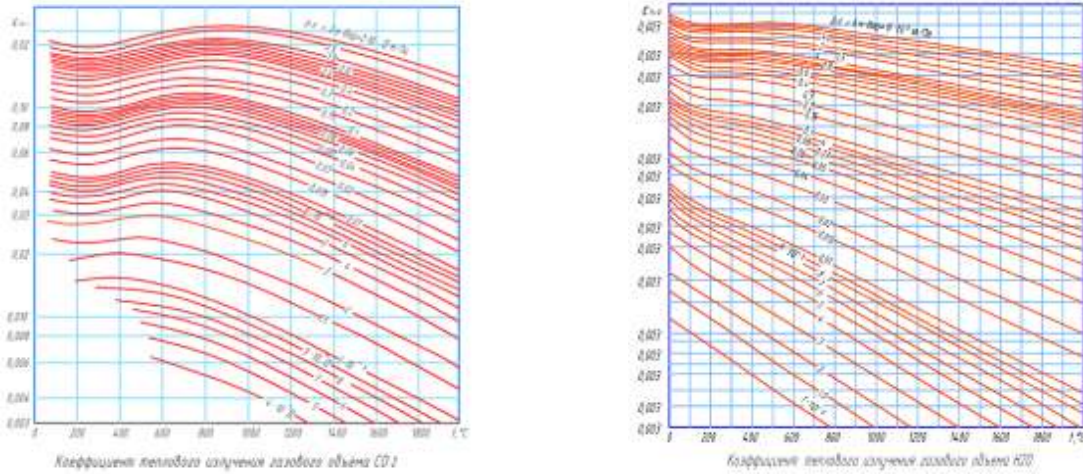
Номограммалардан топилган ϵ нинг қиймати газ ҳажмининг табиий

нурланиши нисбатига кўра ҳисобланади:

$$E_0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_r^4, \quad (4)$$

бу ерда $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$;

ε – газнинг иссиқлик нурланишининг хароратга боғлиқлик коэффиценти.



3-расм. Карбонат ангидрид ва сув буғининг газ ҳажмидаги ε иссиқлик нурланиш коэффиценти нинг газ хароратига боғлиқлиги номограммалари

Эритиш агрегатларида CO_2 ва H_2O одатда бир-бири билан аралашини инобатга олсак, газлар аралашмасининг иссиқлик нурланиш коэффиценти, қатъий қилиб айтганда, тоза газлар нурланиш коэффицентлари йиғиндисидан кам:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta\varepsilon, \quad (5)$$

Икки камерали қиздирувчида газларнинг иссиқлик нурланишини ҳисоблаш. Газларнинг нурланиш қуввати.

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = 0.2, \quad \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0.6, \quad \sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}, \quad F_s = 14.2 \text{ м}^2, \quad \Delta\varepsilon = 0.1, \quad T_g = 1200^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta\varepsilon, \quad \varepsilon_g = 0.7, \quad P = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot T_g^4 \cdot F_s, \quad P = 2.654 \times 10^6 \text{ Вт} \quad (6)$$

Шунингдек, электрда пўлат эритиш қурилмаларида ёқилғининг ёниши вақтида ҳосил бўлган CO_2 ва H_2O аралашмасининг иссиқлик нурланиш коэффицентларини ҳисоблаш соддалаштирилган:

$$\varepsilon = 1 - e^{-10kpl}, \quad (7)$$

бу ерда k - аралашмадаги нурларнинг сусайиш коэффиценти, эмпирик формула билан аниқланади:

$$k = 0,8 \cdot (1 + 20 \cdot p_{\text{H}_2\text{O}}) / \sqrt{10pl} \left(1 - 0,38 \cdot \frac{T_r}{1000}\right), \quad (8)$$

бу ерда $p = p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CO}_2}$ - сув буғи ва ва углерод оксидининг умумий парсиал босими, МПа. Бу метод олдинги номограммаларга мос келади ва куйидаги параметрлар оралиғида амал қилади (2-жадвал).

Сув буғи ва ва углерод оксидининг умумий парсиал босими

p_{CO_2} l, МПа	$8 \cdot 10^{-4} - 0,16$
p_{H_2O} l, МПа	$4 \cdot 10^{-4} - 0,16$
p_{H_2O}/p_{CO_2}	0,2-2
T_r , К	750-1950

Газ ва қора деворлар орасидаги нур иссиқлик алмашинувини (9) формула орқали ҳисоблаш мумкин:

$$Q = \sigma \cdot F (\varepsilon_r T_r^4 - A_{r,c} T_c^4) \quad (9)$$

T_c ҳароратли тўлиқ қора қобикнинг нурланишига нисбатан T_r ҳароратли газнинг изотермик ҳажмининг ютилиш коэффициентлари. $T_c = 100^\circ\text{C}$.

$$A_{gc} = \varepsilon_{CO_2} \cdot \left(\frac{T_g}{T_c}\right)^{0.65}, \quad A_{gc} = 0.488 \quad (10)$$

$$A_{gh} = \varepsilon_{H_2O} \cdot \left(\frac{T_g}{T_c}\right)^{0.45}, \quad A_{gh} = 1.113 \quad (11)$$

$$A_g = A_{gc} + A_{gh} - \Delta\varepsilon, \quad A_g = 1.501 \quad (12)$$

Кулранг деворнинг иссиқлик нурланишининг келтирилган коэффициентлари:

$$\varepsilon_c = 0.91, \quad \varepsilon_{ges} = 0.5 \cdot (1 + \varepsilon_c), \quad \varepsilon_{ges} = 0.955 \quad (13)$$

Металл парчаларида иссиқлик ютилишининг юзаси:

F_s – металл парчаларининг муаян юзаси сифатида қабул қилинган

$$F_s = 8m^2/m^3, \quad F_s = 8 \cdot \frac{m^2}{m^3}, \quad V=64 \cdot m^3 \quad (14)$$

$$F_m = F_s \cdot V, \quad F_m = 512 m^2, \quad (15)$$

Газларнинг иссиқлик нурланиши натижасида икки камерали киздиргичнинг пастки қисмидаги металл парчалари устунининг ҳарорати:

$$T_m = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{ges} \cdot \sigma \cdot F_m \cdot \varepsilon_g \cdot T_r^4 - P}{\varepsilon_{ges} \cdot \sigma \cdot F_m \cdot A_g}}, \quad T_m = 1.208 \times 10^3 \cdot K, \quad T_m = 935.228^\circ\text{C}. \quad (16)$$

Техноген газлар ва металл парчалари юзасидаги конвекция. Ажралаётган чиқинди газлар ва шихта юзасидаги конвекцияни аниқлаш учун электр каналли киздирувчи НТЦ-11.73 лаборатория стэнди қўлланилди. Тизимдаги босимнинг ўзгариши ΔP_1 , ΔP_2 индикаторлари жойлашган панелда акс этган. Туйнук орқали газ ўтиш каналига қалин оксидланган (тўқ рангли жисм эффектини бериш учун) пўлат листи жойлаштирилди (4-расм).



4-расм. Конвектив иссиқлик алмашинув коэффициентининг газ оқими турига ва тезлигига боғлиқлигини аниқлашни ўрганиш

Мажбурий конвексия худудидаги металл парчаларида иссиқлик ютилишининг майдонини аниқлаш:

F_s - металл парчаларининг муаян майдони сифатида қабул қилинган

$$F_s = 8\text{м}^2/\text{м}^3, F_s = 8 \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}, V=85\text{м}^3, \quad (17)$$

$$F_m = F_s \cdot V, F_m = 680\text{м}^2, 128\text{м}^3 \times 2/3 = 85\text{м}^3. \quad (18)$$

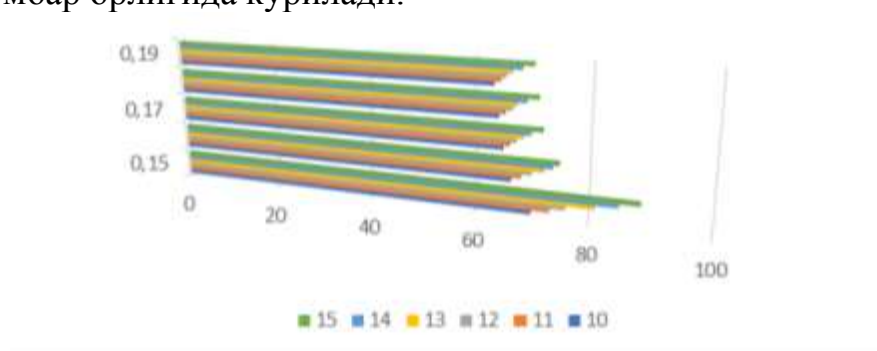
Иссиқлик бериш коэффициентининг газ оқими ва вақт таснифига боғлиқлиги 3-жадвалда кўрсатилган:

3-жадвал

Пластина юзасида вақт ва оқимнинг сирпанишига нисбатан конвектив иссиқлик алмашиш

Қиздириш вақти мин, ΔP, ба	10	11	12	13	14	15
0,15	70	73,3	76	81	85	88,6
0,16	66,5	68,2	70	72,2	73,8	74,9
0,17	65	66,2	67,3	68,5	69,9	72
0,18	64,2	65,4	66,5	67,3	69,1	71,2
0,19	63,3	64,5	65,4	66,4	68,2	70,3
0,20	62,3	63,4	64,4	65,5	67,2	69

5-расмдаги диаграммага мувофиқ, ламинар оқим учун энг катта иссиқлик узатиш коэффициентлари, газларнинг юза бўйлаб сирпаниши 0,15-0,17 мбар орлиғида кўрилади.



5-расм. Пластина юзасида конвектив иссиқлик алмашинувнинг вақт ва оқимнинг сирпанишига боғлиқлиги диаграммаси.

Мажбурий конвектив иссиқлик алмашинув натижасида 1-зонада металл парчаларининг қизиши. Мажбурий конвекция худудидаги металл парчаларининг хажми интеграциялашган қиздирувчининг умумий хажмининг 2/3 қисмини ташкил этади, яъни $40\text{ т} \times 2/3 = 26,8\text{ т}$. 1 т пўлатга ЁПЭП дан ажралаётган газларнинг иссиқлик оқими: $100\text{ kW с/т} \times 59\text{ т}$, камерадаги металл парчаларининг умумий оғирлиги 44 т, вақт 60 мин.

$$Q := 5900 \cdot kW \cdot h, h=60 \cdot \text{мин}, T_g = 1470 \cdot K \quad (19)$$

T_g - газнинг бошланғич ҳарорати.

$$P = \frac{Q}{t}, P = 5.9 \times 10^3 \cdot kW, \quad (20)$$

$$T_m = T_g - \frac{P}{ak \cdot F_m}, T_m = 1.106 \times 10^3 K, T_m = 833.2^\circ C. \quad (21)$$

Диссертация муаллифи МТТУ “МИСиС”нинг ОФ ва “Ўзметкомбинат” АЖ жамоаси билан интеграциялашган қиздирувчида ажралаётган чиқинди газлар оқими ва иссиқлик алмашинувини яхшиловчи қуйидаги конструкция ва технологик чора-тадбирларни ишлаб чиқди (6-расм):

1. Бир вақтнинг ўзида қиздириш камерасининг пастки қисмини печ томи орқали печ худудига интеграция қилинган ва иккинчи камера – ёқиш камераси орқали “Ўзметкомбинат” АЖнинг электрда пўлат эритиш цехининг газ ўтказиш тизимига интеграция қилинган, икки камерали қиздирувчининг конструкцияси ишлаб чиқилди.

2. Ҳам печ томига уланиш нуқтасида, ҳам газ ўтказиш тизимига уланиш нуқтасида газ оқими харакатининг оптимал геометриясининг инновацион ечими ишлаб чиқилиши туфайли, қиздириш камерасида иссиқлик алмашинуви жараёнини бир маромда кечиши таъминланади.

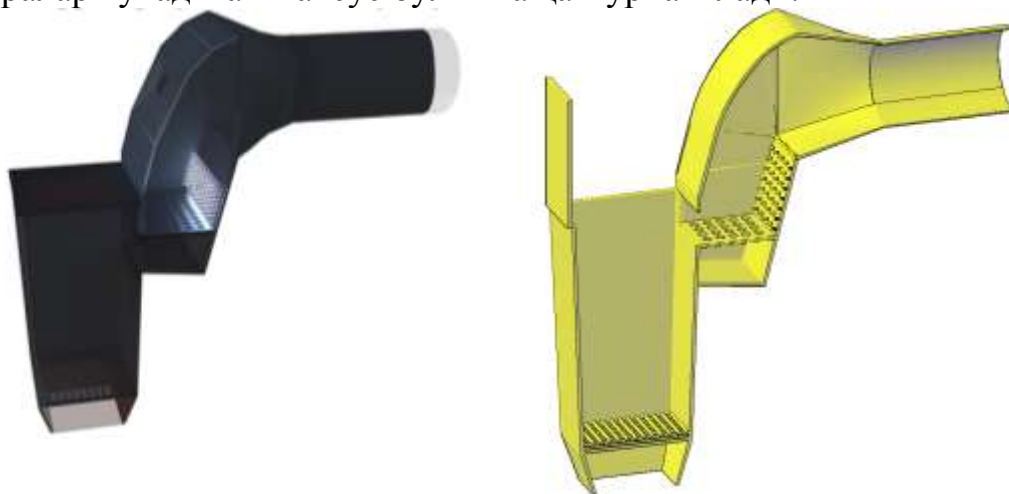
3. Циклон сифат мураккаб геометрик шаклдаги печ томи орқали хавонинг симметрик сўрилиши туфайли бу характерли оқим иссиқлик нурланиши ва мажбурий конвектив иссиқлик алмашинув зонасини металл парчалари устуни бўйлаб кенгайтириш имконини беради

4. Пастдан юқорига қараб вакуум тортиш таъсирини яратиш учун, қиздириш камерасининг қопқоғи механик йўлаклар орқали ёпиб очишда аниқ ҳаракатланишга имкон берадиган қилиб ишлаб чиқилган.

5. Қопқоқнинг йўлаклари ва қиздириш камераси орасидаги очилишни камайтириш учун қопқоқнинг лабиринтли фиксацияси ишлатилади, бу камеранинг максимал герметиклигини таъминлайди.

6. ЁПЭП томига ўрнатилган кўшимча сўрувчи қурилма, қопқоғ очилган пайтда, ажралаётган техноген газларни цехнинг газ тозалаш тизимига йўналтириш имконини беради.

7. Иккинчи ёқиш камерасида газкислород горелкаларидан ташқари, газ тозалаш тизимининг ички юза қисмига салбий таъсир этувчи, кул ва майда зарралар чўкадиган махсус бўлинма ҳам ўрнатилади.



6-расм. Икки камерали қиздирувчининг кўриниши
Ишлаб чиқилган конструкцион ва технологик ечимлар икки камерали

қиздиргичнинг қуйидаги жараёнлари ва техник параметрларини яхшилашга имкон беради:

- ажралаётган чиқинди газлар билан металл парчалари орасидаги конвектив иссиқлик алмашилиши;
- икки камерали қиздирувчида ажралаётган газлар оқимини;
- совуқ ҳавонинг ёқиш камерасига сўрилиши, чиқинди газлар ҳароратининг ошиши;
- пўлат эритиш цехига ва уюшмаган газлар йўлига ажралаётган чиқинди газларни чиқариш вақтини камайтириши;
- чанг чўктириш камерасини ўрнатилиши барча газ тозалаш модулларининг абразив юқини камайтиради ва зарарли моддаларни тез совиш (“Новосинтез” жараёни) жараёнини камайтиради;
- икки камерали қиздирувчида металл парчаларини бир маромда қиздириш эвазига шовқини камайтириш.

Ажралаётган чиқинди газлар ва металл парчалари орасидаги конвектив иссиқлик алмашилиш. 1-зонада эркин конвектив иссиқлик алмашилиш ҳудуди йўқ. Мажбурий конвектив иссиқлик алмашилиши натижасида 1-зонадаги металл парчалари ҳарорати $T_{МП}$, қуйидаги (22) ифода орқали аниқланади:

$$T_{МП} = T_r - \frac{P}{a_k \cdot F_m}, \quad T_{МП} = 787 \text{ }^\circ\text{C} . \quad (22)$$

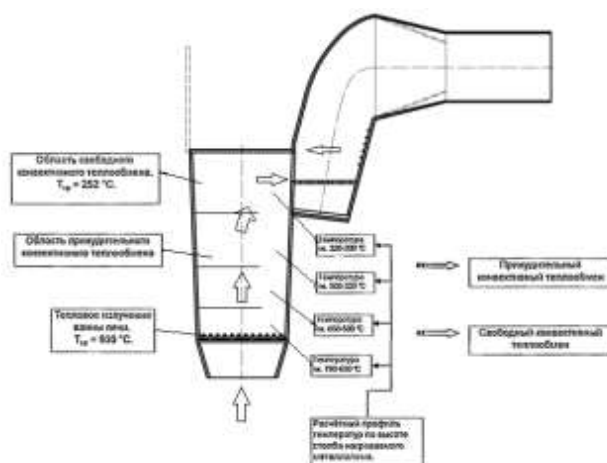
Лабиринтли маҳкамлагичнинг конструкциясини қўлланилиши эркин конвектив иссиқлик алмашилиш ҳудудини сезиларли камайтирди. Эркин конвектив иссиқлик алмашилув ҳудудидаги металл парчаларининг ўртача ҳарорати $T_{МС}$, қуйидаги (23) ифода орқали аниқланади:

$$T_{МС} = T_r - \frac{P}{a_k \cdot F_m}, \quad T_{МС} = 252 \text{ }^\circ\text{C} . \quad (23)$$

Икки камери қиздирувчидаги металл парчаларининг ўртача ҳарорати T_M , қуйидаги (24) ифода орқали аниқланади:

$$T_M = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} M_{xn} \cdot T_{xn} \cdot C_{xn}}{M_{xn} \cdot T_{xn}}, \quad T_M = 559 \text{ }^\circ\text{C} . \quad (24)$$

Эркин конвектив иссиқлик алмашилув ҳажми қиздириш камерасининг умумий ҳажмининг тахминан 1/9 қисмини ташкил этади. Икки камерали қиздирувчида конвектив иссиқлик алмашилув натижаси 7-расмда келтирилган.



7-расм. Икки камерали қиздирувчида конвектив иссиқлик алмашинуви

Икки камерали қиздирувчининг конвектив иссиқлик алмашинуви қуйидаги афзаликларни берди:

- Биринчи камеранинг пастки модуллари орқали ажралаётган газларни сўриб олиш, бошқа интеграциялашган тизмилардаги ён томондан сўришдан кўра, металл парчаларини қиздириш текисроқ кечади. Ушбу тадбир натижасида паст турбулентли зоналарда, эркин конвектив иссиқлик алмашинув ҳудудлари умуман йўқ бўлади.
- Икки камерали қиздирувчининг қиздириш камерасининг юқори қисмида эркин конвектив иссиқлик алмашинувнинг қолдиқ ҳудудлари жойлашган. Ушбу ҳолат, уюшмаган газлар йўлагига зарарли моддаларни чиқишини сезиларли даражада камайтиради.
- Паст турбулентли зоналарда, металл парчаларини қиздириш кўпроқ конвектив иссиқлик алмашинуви орқали кечади. Бу ҳодиса металл парчаларини ички контури ва узунлиги бўйлаб янада текис ҳарорат кўрсаткичларига олиб келади.
- Металл парчаларининг ўртача ҳарорати 559 °C ташкил этиб, бу кўрсаткич бошқа мавжуд интеграциялашган қиздирувчилардагидан 37 °C га кўп. Икки камерали қиздирувчида металл парчаларининг ўртача температурасининг юқорилиги, эркин конвектив иссиқлик алмашинув ҳудудининг кичрайганлиги билан ифодаланади.

Диссертациянинг **“Икки камерали қиздирувчининг ёқиш жараёни билан комбинациясининг термик хусусиятларини оптималлаштириш”** деб номланган учинчи бобида, металл парчаларини қиздириш жараёнига ва газ тозалаш модуллариининг ишига таъсир ўтказувчи, икки камерали қиздирувчининг термик ва механик ижросининг ҳолати таҳлил қилинган.

Мавжуд интеграциялашган қиздирувчиларда сувли совитиш панеллари орқали иссиқлик йўқотилишини аниқлаш мақсадида, МТТУ “МИСиС”нинг Олмалиқ филиали лаборатория шароитида тадқиқотлар олиб борилди.

Биринчи вариантда қиздирувчига металл парчалари юкланган ҳолатда бўлиб, ажралаётган газлар қиздирувчининг сувли совитиладиган деворлари билан конвектив иссиқлик алмашинув бўлган. Шу мақсадда SNOL муфель печига 0,8 м³ хажмда металл парчалари билан қайноқ брикетланган темир

аралаш ҳолда (тахминан 50/50) юкланган. Конвектив иссиқлик алмашинув ва печ муфеллари орқали иссиқлик нурланиши шароитида, печнинг ҳарорати 500 °С гача қиздирилганда: паст ҳароратли (намунанинг ўртача ҳарорати 20-25 °С) иссиқлик ютгичга қараб иссиқ оқим ҳаракат қилганда, печ деворларига тушаётган ҳарорат юкламаси 300-350 °С ҳароратни кўрсатди. Иккинчи вариантда қиздирувчи металл парчаларисиз (шихта юклашга таёргарлик, таёргарлик вақти ва шунга ўхшаш жараёлар). Ушбу режим учун бўш иш зонали SNOL муфель печи қўлланган. Ушбу иш режимида печ шифти остидаги босимни бошқариш туйнуғи тўлиқ ёпиқ ёки қисман очик ҳолда. Ушбу ҳолатда асосан печ муфелларидан иссиқлик нурланиши ва толали иссиқлик изоляцияси девори орасида иссиқлик узатиш кечади.

Печнинг иш муҳитининг контурларидаги ҳароратлар фарқи $\Delta T_{ни}$ ҳисоби кўп ҳолатларда 15 °С ташкил қилади. Печга ўрнатилган $\Delta T_{ни}$ ўлчаш асбобларининг кўрсаткичлари, печ юкланганда $\Delta T = 4,2$ °С, бўш печда $\Delta T = 8,1$ °С кўрсатди. Ҳисобланган ва ҳақиқий маълумотлар ўртасидаги фарқ иссиқлик изоляция панелини печ иш камераси ичида иссиқлик юки доимий ва 70,000 ккал/м² соат (81.4 кВт соат/м²)га тенг, деган тахмин билан боғлиқ.. Печнинг ишчи камерасининг контурлари ва ўлчаш асбоблари ҳисоблаган маълумотлар асосида турли иш режимлари бўйича қуйидагича ҳарорат фарқи ва иссиқлик йўқотиш миқдори аниқланади:

Биринчи вариант, печ металл парчалари билан юкланган пайтда: $\Delta T = 4,2$ °С.

$$Q = M \cdot C_p \cdot \Delta T \quad , \quad Q = 3,91 \cdot 10^3 \cdot \text{кВт} \cdot \text{ч} \quad . \quad (25)$$

бу ерда Q – печнинг иссиқлик изоляцияси деворлари томонидан олинган иссиқлик миқдори;

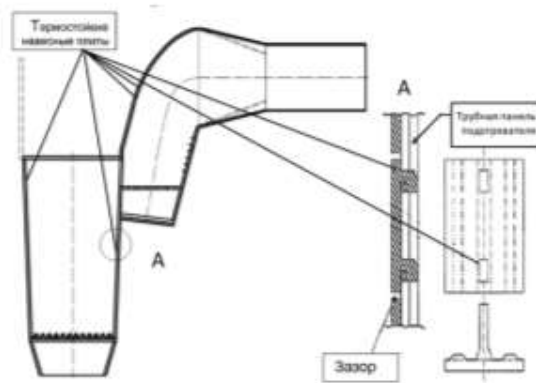
M – вақт бирлигида иссиқлик ташувчининг оғирлиги;

C_p – иссиқлик изоляцияси деворларининг солиштирма иссиқлик сиғими.

1 кг намунада печнинг иссиқлик изоляцияси панеллари орқали солиштирма иссиқлик йўқотлиши:

$$P_t = \frac{Q}{t} \quad , \quad P_t = 0,0372 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т} \quad . \quad (26)$$

Металл парчаларини қиздириш жараёнини яхшилаш мақсадида, диссертация автори томонидан, ҳам икки камерали қиздирувчи деворларини, ҳам сувли совутиш панелларини қўшимча ва самарали иссиқ-механик ҳимоясининг конструкцион ечими ишлаб чиқилган. Ушбу вазифаларни ечиш мақсадида, қиздириш камерасининг ички деворларига махсус термик плиталар илиш кўзда тутилган. Термопиталар икки камерали қиздирувчининг ички деворларининг ўлчамларига, қувурли сувли совутиш панелини инобатга олган ҳолда мослаштирилган. Икки камерали қиздирувчининг термомеханик ижроси 8-расмда кўрсатилган.



8-расм. Икки камерали қиздирувчининг термомеханик ижроси

Икки камерали қиздирувчини газларининг иссиқлик нурланишининг куввати, куйидаги ифода орқали аниқланади:

$$P_g = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot T_g^4 \cdot F_s, \quad P_g = 1,34 \times 10^7 \cdot \text{Вт}, \quad (27)$$

бу ерда, ε_g - газларнинг иссиқлик нурланишининг умумий коэффициентини;
 T_g – бўш қиздирувчининг газларини ўртача ҳарорати;
 F_s – термик плиталарнинг умумий майдони.

Қиздирувчида металл парчалари йўқ пайтида, термик плиталар тўплаб олган иссиқлик миқдори:

$$Q = P_g \times t, \quad Q = 1,12 \times 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (28)$$

бу ерда, $t = 5$ мин, термик плиталарни қизишини ўртача самарали вақти.

1 тонна пўлатга термик плиталарнинг иссиқлик энергиясининг тўплаши ва бериши:

$$P_t = \frac{Q}{m_h}, \quad P_t = 10,68 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}, \quad (29)$$

бу ерда, $m_h = 105$ т, ЁПЭП бир соатлик ишлаб чиқариши.

Иссиқликни йиғиш жараёнида термик плиталарнинг ҳарорати ΔT_p ни ошиши:

$$\Delta T_p = \frac{Q}{c_p \times m_p}, \quad \Delta T_p = 301,5 \text{ К}, \quad (30)$$

бу ерда, c_p - термик плиталарнинг солиштирма иссиқлик сиғими;

m_p - термик плиталарнинг самарали оғирлиги.

Термик плиталарни иссиқлик тўплаши ва бериши эвазига металл парчаларининг ўртача ҳарорати ΔT_s ни ошиши

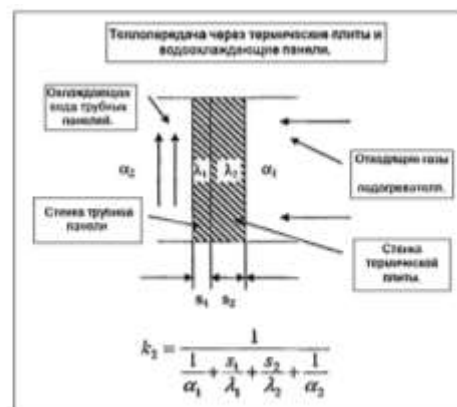
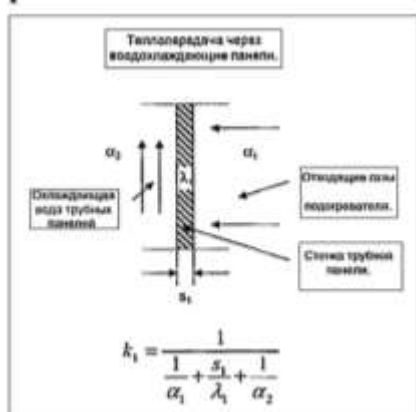
$$\Delta T_s = \frac{Q}{c_s \times m_h}, \quad \Delta T_s = 7,2 \text{ К}, \quad (31)$$

Термик плиталарни иссиқлик тўплаши ва бериши эвазига ажралаётган чиқинди газлар оқимининг ўртача ҳарорати ΔT_g ни ошиши:

$$\Delta T_g = \frac{Q}{c_g \times m_g}, \quad \Delta T_g = 7,2 \text{ К}, \quad (32)$$

9-расмда схематик тарзда икки камерали қиздирувчида термик плиталардан ва тўғридан-тўғри сувли совутиш панеллари билан биргаликда фойдаланилганда иссиқлик узатиш коэффициентларини ҳисоблаш схемаси

келтирилган.



9-расм. Икки камерали қиздирувчида сувли совутиш панеллари ва термик плиталар орасидаги иссиқлик узатиш коэффициентлари

Қувурли панелларнинг совутиш сувининг иссиқлик узатиш коэффициентини α_2 қуйидаги ифода орқали аниқланди:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_t \times \lambda}{d}, \quad \alpha_2 = 1,15 \times 10^4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (33)$$

Икки камерали қиздирувчининг сувли совутиш панеллари орқали иссиқлик узатиш коэффициентини k_1 :

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad k_1 = 277,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (34)$$

Термик плиталар билан бирга иссиқлик узатиш коэффициентини k_2 :

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad k_2 = 277,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (35)$$

Термик плиталарни қўллаганда икки камерали қиздирувчининг сувли совутиш панелига тушадиган иссиқлик юкламасининг коэффициентини K_t :

$$K_t = k_a \frac{k_1}{k_2}, \quad K_t = 1,34, \quad (36)$$

Термик плиталарни қўллаганда, икки камерали қиздирувчига керак бўладиган сув миқдори V_w :

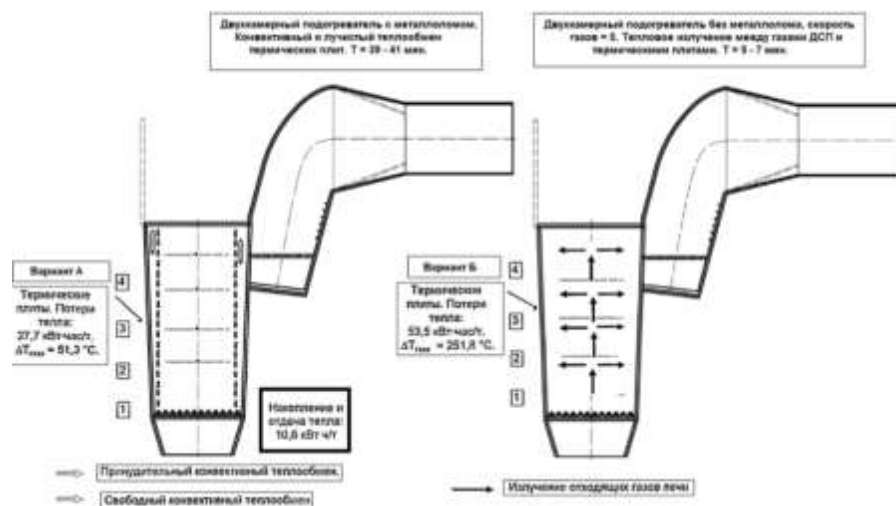
$$V_w = \frac{M}{\rho_w \times t_w}, \quad V_w = 604,2 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (37)$$

Мавжуд интеграциялашган қиздирувчиларнинг қувур панелларининг қувур деворининг қалинлиги 10-12 мм бўлганда ташқи девори ҳажми 82 мм ни ташкил этади. Қувурларнинг ички диаметрининг ҳисоби 72 мм. Икки камерали қиздирувчида термик плиталарни қўланилиши қувур панелларининг қуйидаги ички диаметр d_t ҳисобини беради:

$$d_t = \sqrt{\frac{V_t \times \pi \times 4}{k \times v_t}}, \quad d_t = 53,9 \text{ мм}, \quad (38)$$

Қувурнинг ташқи диаметри $d_t = 53,9$ мм, девор қалинлиги 10 мм бўлганда 73 мм ни ташкил қилади. Термик плиталарни қўллаш девор панелларини $\text{Ø}73 \times 10,0$ ммли қувурлардан йиғиш имконини берди.

10-расмда икки камерали қиздирувчининг термик ижросининг иссиқлик ва энергетик таснифи келтирилган.



10-расм. Икки камерали қиздирувчида термик панеллардан фойдаланганда термик ва энергетик таснифи

ЁПЭПларнинг ишлашида атроф-муҳитга салбий таъсир этувчи омиллардан бири, улардан ажралаётган чиқинди газларнинг чидамли органик ифлослантирувчилар (ЧОИ) билан ифлосланишидир, улардан энг захарлиси диоксин ва фуранлардир. Шунини таъкидлаш жоизки, ЧОИлар билан курашишнинг янади самарали усули, уларни ёқиб юборишдир. 4-жадвалда анъанавий йўналтириш тизимлари билан жиҳозланган ЁПЭПларнинг технологик газларини ёқиш ва совутиш шароитларини ўрганиш мақсадида ДСП-100УМКда ўтказилган тадқиқотларнинг асосий натижалари келтирилган.

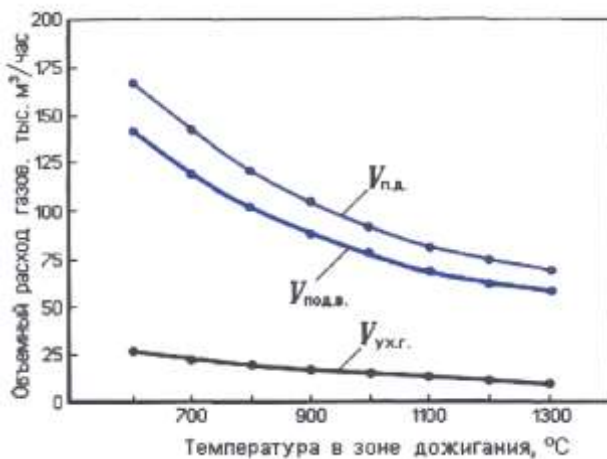
4-жадвал

«Ўзметкомбинат» АЖ нинг ДСП-100УМК да газларни ёқиш шароитларини ўрганиш натижасиси

Ажралаётган чиқинди газларни ёқиш тизимининг иш параметрлари	Ё П Э П н и н г и ш д а в р л а р и		
	Юклаш (ГКГ иш режимида эмас)	Эритиш (ёқиш камераси қўлламаганда)	Эритиш (ёқиш камераси қўллаганда)
Ҳарорат, °С:			
- қиздирувчидан чиқишда (T_1)	800-840	560-640	850-900
- газ йўлагиди (T_2)	150-170	180-210	150-180
СО концентрацияси, мг/м ³	176,0-370,0	612,0-3216,0	167,0-1620,0
СО ₂ таркиби, %	0,8-1,9	0,9-2,5	0,9-2,3
NO _x концентрацияси, мг/м ³	44,0-282,0	0-20,0	20,0-44,0
SO ₂ концентрацияси, мг/м ³	3,0-42,0	0-4,0	0-3,0
C _x H _y концентрацияси, мг/м ³	30,0-186,0	174,0-439,0	9,0-95,0
H ₂ концентрацияси, мг/м ³	0,1-1,2	11,9-68,2	4,0-9,9
O ₂ таркиби, %	18,6-19,7	17,6-18,6	18,3-19,3
сарфланадиган ҳаво коэффициенти, n	8,8-19,3	6,7-8,3	8,1-16,5

Икки камерали қиздирувчи шароитида амалга оширилган ҳисоб-китобларга асосланиб, ажралаётган чиқинди газларнинг ҳажмий

оқимларининг ўзгариши ёқиш ҳароратига қараб баҳоланди. Расмдан кўриниб турибдики (11-расм), газларнинг ҳароратини печ мўрисидан чиқишда 600-800 °С дан 1100-1300 °С гача кўтарилиши, ёқиш маҳсулотларининг сонини камайишига олиб келишини ҳисоблар кўрсатди. Бу ўз навбатида тозалашга келадиган газларнинг умумий миқдорини камайтиради.



$V_{ух.г}$ – қиздириш камерасидан чиқишда газларнинг ҳажмий сарфи
 $V_{под.в.}$ – туйнукдан сўриладиган ҳавонинг ҳажмий сарфи
 $V_{п.д.}$ – ёқиш маҳсулотларининг ҳажмий сарфи

11-расм. Ёқиш зонасидаги ҳароратга қараб, тозалаш учун чиқарилган чикинди газларнинг ҳажмий сарфининг ўзгариши

Бундай ёқиш тизимларини чиқишда сепиб совутадиған билан қўлланилиши тозалашга келадиган технологик газларнинг ҳажмини икки ва ундан ортиқ марта қисқартиришга имкон беради. Шу билан бирга, ажралаётган чикинди газларни 2 с гача ушлаш ва юқорида келтирилган шартларни бажариш нафақат таркибидаги анъанавий ёқилғи компонентларини самарали ёқиб юборади, балки диоксин/фуранларни деструкциясига олиб келади.

ХУЛОСА

1. Ёйли пўлат эритиш печидан ажралаётган газларнинг физик иссиқлигидан фойдаланиш технологияси шихта ашёсининг физик хоссалари асосида ишлаб чиқилди..

2. Ёйли пўлат эритиш печидан ажралаётган зарарли газларнинг таркибидаги зарарли моддаларни ёқиб юборишни таъминлайдиган технология газ ташкил этувчи элементларнинг теплофизик хоссалари асосида ишлаб чиқилди.

3. Икки камерали қиздирувчида иссиқлик алмашинув жараёнини бир маромда тақсимлашининг инновацион технологияси иссиқлик баланси ва иссиқлик узатиш қонуниятлари асосида ишлаб чиқилди.

4. Оқим тури ва газ ҳаракати таснифига боғлиқлигини аниқлаш орқали мажбурий конвекция ва иссиқлик нурланиши билан металл парчалари устунининг максимал майдони ва ҳажмини қамраб олишни таъминлаш технологияси ишлаб чиқилди.

5. Мажбурий конвекция худудидаги металл парчалари ҳажмини оширишни таъминлаб берувчи қиздириш камерасининг конструкцияси ишлаб чиқилди.

6. Икки камерали қиздирувчининг қарши тарафидан ҳавонинг симметрик сўрилиши туфайли металл парчалари устуни бўйлаб иссиқликни бир текис тақсимлаш технологияси ишлаб чиқилган. Бу 1-2 зоналарда конвектив иссиқлик алмашинуви туфайли металл парчаларининг ҳароратини бир меъёردа бўлиши учун хизмат қилади.

7. Ҳам икки камерали қиздирувчининг деворларини, ҳам сувли совутиш панелларини қўшимча ва самарали иссиқ-механик ҳимоя қилишнинг конструкцион ечими ишлаб чиқилган. Бу термик плиталар икки камерали қиздирувчининг қиздириш камерасида металл парчалари йўқ пайтда, иссиқликни тўплаш ва юклангандан сўнг уни бериш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

ХАЛИКУЛОВ УТКИР МИРЗАКАМОЛОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ИЗ ДУГОВЫХ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЫРЬЯ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия чёрных,
цветных и редких металлов (Литейное производство и обработка металлов)**

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

Ташкент- 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2020.4.PhD/T1492.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Самадов Алишер Усманович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Нурмурадов Саллохиддин Дусмуродович**
доктор технических наук, профессор

Якубов Лазиз Эргашхонович
доктор PhD по техническим наукам

Ведущая организация: **АО «Алмалыкский ГМК»**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2021 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04. при Ташкентском государственном техническом университете и Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс:(99871)227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № ____). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.:(99871)227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2021 года.
(реестр протокола рассылки № __ от «__» _____ 2021 года).

К.А.Каримов

Председатель научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Н.Д.Тураходжаев

Ученый секретарь научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Ф.С.Абдуллаев

Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день в мировом масштабе одной из основных, важнейших проблем горно-металлургического комплекса является повышение качества выпускаемой продукции в производстве стали и повышения производительности труда, что является одной из важных задач интенсификации производства за счёт повышения эффективности использования применяемой энергии. В этом аспекте, большое значение имеют создание новых технологий и их применение в отрасли направленная на обеспечение энергоэффективности при производстве стали и соблюдении глобальных экологических норм.

В мире ведутся широкомасштабные научно-исследовательские работы по совершенствованию процесса производства стали в электропечах. На сегодняшний день в процессе производства стали стоимость электроэнергии составляет около 50-60 процентов от общей себестоимости, замена ее другими дешевыми генераторами тепла имеет актуальное значение. В связи с этим проблема разработки технологий, направленных на ресурсосбережение на основе предварительного подогрева сырья, на основе эффективного использования тепла отходящих газов, направленных на улучшение экологической обстановки при плавке металлов является одной из актуальных задач.

В республике цветная металлургия сосредоточена, главным образом, на Ангрэн-Алмалыкском горно-промышленном массиве и госпредприятии АО «Алмалыкский ГМК», ГП «Навоийский ГМК» и АО «Узметкомбинат», где налажено развитие с быстрыми темпами производство металлургической продукции, в том числе производство стальных профилей и литых изделий, используемых в промышленности и хозяйственном строительстве, реализуются меры по обеспечению ресурсосбережения и энергосбережения в процессе производства стали в дуговых сталеплавильных печах. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены задачи, включая «...укрепление макроэкономической стабильности и сохранение высоких темпов роста экономики, повышение ее конкурентоспособности, ...сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий»¹. В этом аспекте разработка энергия и ресурсосберегающих технологий при производстве стали на основе местного сырья и отходов производств имеет важное актуальное значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 26 декабря 2016 года №ПП-2698 «О

¹ №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

мерах по дальнейшей реализации перспективных проектов локализации производства готовых видов продукции, комплектующих изделий и материалов на 2017-2019 годы», от 10 июля 2020 года №ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов» и от 3 октября 2018 года №ПП-3956 «О дополнительных мерах по совершенствованию системы государственного управления в сфере экологии и охраны окружающей среды», а также в других нормативно-правовых документах, 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, энергия и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования в области плавки стали в дуговых сталеплавильных печах, предварительного подогрева сырья в металлургии и деструкции вредных примесей в составе отходящих газов из сталеплавильного агрегата путем термической обработки работали следующие ученые: К.Х. Хейнен, К. Алфред, К. Клейн, Х. Грипенберг, Т. Кишида, С. Кимура, В.А. Кривандин, И.Н. Неведомская, В.Д. Смоляренко, Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, Н.Д. Тураходжаев, А.О. Шазимов, М.Ш. Курбонов, Э.Х. Туляганов и др.

Исходя из анализа существующих работ, необходимо отметить, что вопросы разработки агрегата с совершенствованным теплообменом и оптимальной конструкцией, учитывая энергосбережение и экологические нормы позволяющей предварительно подогревать металлолом, нуждаются в кардинальном решении. Решению этих проблем и посвящена настоящая диссертационная работа.

Связь диссертационного исследования с планами научно - исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках проекта № 01/06-01/4-334 Алмалыкского филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» на тему «Использование тепла отходящих газов от электродуговых печей» (2017-2019 гг).

Целью исследования является разработка эффективной технологии использования физического тепла отходящих техногенных газов печей для предварительного подогрева сырья.

Задачи исследования.

обоснование преимущества инновационного агрегата, одновременно интегрированного и в печное пространство, и в газоочистительную систему цеха;

разработка технологии нового комбинированного процесса предварительного подогрева металлолома и дожигания отходящих газов,

отвечающий современным требованиям электрометаллургического производства и соответствующего экологическим нормам;

совершенствование конструкции интегрированного подогревателя улучшающий поток и теплообмен отходящих газов в процессе предварительного подогрева металлолома;

разработка термического исполнения двухкамерного подогревателя, улучшающий характеристики подогрева металлолома и системы дожигания отходящих газов;

разработка математической модели теплового баланса комбинированного процесса подогрева металлолома в двухкамерном подогревателе.

Объектом исследования являются отходящие техногенные газы дуговой сталеплавильной печи.

Предметом исследования является комбинационная технология обеспечивающий использование физического тепла отходящих газов для предварительного подогрева металлической шихты перед загрузкой в дуговой сталеплавильный печь и после подогрева дожигание отходящих газов в специальной камере.

Методы исследований. В диссертационной работе использованы анализ научно-технической информации по предварительному подогреву сырья, методы исследований современного комплекса теоретических исследований с применением аналитического метода, создание излучающе-поглощающей среды и методы, основанные на закономерностях переноса лучистой энергии. При статистической обработке полученных экспериментальных данных использовались математические методы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана характеристика движения газов полузакрытых системах в интегрированных установках предварительного подогрева;

разработана комбинированная технология предварительного подогрева металлолома на основе законов теплообмена и дожигания отходящих газов;

разработана технология дожигания отходящих газов при выходе из камеры подогрева на основе требований граничной концентрации выделения в атмосферу вредных примесей в составе продуктов сгорания– (ПДК);

разработано термическое исполнение интегрированного двухкамерного подогревателя шихты на основе показателей ресурсосбережения;

определены основные физико-химические процессы, протекающие во время предварительного подогрева сырья и зоны, зависящие от характера теплообменных процессов столба металлолома в камере подогрева комбинированного двухкамерного подогревателя.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

улучшено качество стали за счёт удаления излишних газов, из-за турбулентно-ламинарного движения газов внутри интегрированной в печное пространство и газоотводную модуль установки предварительного подогрева металлолома;

разработана и обоснована технология повышающий среднюю температуру сырья на 500 °С за счет предварительного подогрева металлолома с использованием физического тепла отходящих газов одновременным применением теплового излучения и конвективного теплообмена;

разработана технология повышения средней температуры металлолома дополнительно на 70 °С за счет обеспечения термоизоляции внутренних стен двухкамерного подогревателя термопанелями;

разработано технология комбинационного процесса обеспечивающая снижение нагрузки на пыле-газоочистительную систему цеха на 15-20 % в результате термической обработки путем дожигания отходящих газов;

разработана конструкционное исполнение двухкамерного подогревателя, экономящий 100 кВт/ч энергии в результате теплового излучения ванны печи и отходящих газов, принудительной и свободной конвекции газов относительно столба шихты.

Достоверность полученных результатов обоснована совокупностью использованных физико-химических (ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ, термография и химический анализ), а также в разработке технологий комбинированного процесса обеспечивающий общую производительность и экологическую безопасность за счет термической обработки шихты с помощью дешёвых генераторов тепла электросталеплавильном процессе производстве стали, с последующей деструкцией техногенных отходящих газов, с применением методов математического планирования экспериментов, а результаты экспериментов получены с помощью математической обработки данных и современной техники и технологий.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследований заключается в научном обосновании научной значимости результатов исследований, в изучении физических процессов протекающих при предварительном подогреве металлолома и формирования газов в дуговых сталеплавильных печах и тепла отходящих газов, процессов теплообмена по столбу металлолома и дожигания отходящих газов.

Практическая значимость результатов исследований заключается в применении разработки конструкции устройства концентрирующей в себе комбинацию процессов эффективного использования физического тепла отходящих газов из сталеплавильного агрегата и термической обработки отходящих газов для предотвращения выброса вредных веществ в окружающую среду.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов проведенных исследований для совершенствования путем оптимизации технологических процессов использования физического тепла отходящих газов для предварительного подогрева сырья:

Внедрен в АО «Узметкомбинат» технология использования физического тепла отходящих газов из дуговой печи «ДСП-100 УМК» (справка АО «Узметкомбинат» №01/02-03,02-138 от 20 ноября 2020 года).

Применение разработанной технологии позволило сократить время процесса плавки стали на 10-15 %.

Внедрен в АО «Узметкомбинат» технология по дожиганию вредных примесей в составе отходящих газов (справка АО «Узметкомбинат» №01/02-03,02-138 от 20 ноября 2020 года). Применение разработанной технологии позволило сократить нагрузку на пыле- и газоочистительную систему электросталеплавильного цеха на 15-20%.

Внедрен в АО «Узметкомбинат» инновационная технология равномерного распределения процесса теплообмена в двухкамерном подогревателе (справка АО «Узметкомбинат» №01/02-03,02-138 от 20 ноября 2020 года). Применение разработанной технологии позволило сэкономить на выплавку 1 тонны стали 100 кВт ч электроэнергии.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований оглашены на 2 республиканских и 4 международных конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 13 научных работ. Из них 11 научных статей, в том числе 2 статьи в республиканских и 2 статьи в зарубежном журнале, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. По теме основных научных результатов докторской диссертации издано 1 монография и 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрения результатов исследования, результаты апробации работы, сведения по опубликованным работам и структура диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ существующих технологий по предварительному подогреву шихты**» описывается, что в динамике своего развития и силу интенсификации этапов развития, вызванного стремлением удешевления себестоимости путем экономии энергозатрат, в области предварительного подогрева металлолома в производстве стали, накопился богатый теоретический и практический опыт. Несмотря на достаточно большой теоретический и практический опыт в этой области, многие проблемы предварительного подогрева металлолома остались нерешёнными.

Во-первых, изученные технологии в области предварительного подогрева металлолома не имеют комплекс решений относительно всех циклов работ периода плавки, соответственно прямое применение этих технологий вовремя плавки приводят к изменению цикла плавки в ДСП.

Во-вторых, зачастую процессы предварительного подогрева шихты адаптированы под определенный состав шихты или требуются особые условия к подготовке и качеству используемой шихты.

В-третьих, вопрос экологии и принятые ряд нормативов по выделению вредных веществ в окружающую среду, особенно ужесточение этих норм в двадцать первом веке, поставили процесс предварительного подогрева металлолома в новые жёсткие рамки.

Сравнительный анализ на основе представленных материалов, существующих или существовавших процессов и методов, приведенных в данной работе, позволяет делать вывод, что интегрированные системы подогрева металлолома как в пространство печи с учетом особенностей конструкции, так и газоочистительную систему обладает большим потенциалом для своего дальнейшего развития. Интегрированные системы процесса предварительного подогрева металлолома решил следующие принципиальные проблемы предшествующих установок:

- внедрение сложной логистической системы для транспортировки подогретого металлолома, а также не требующие длинных и сложных в обслуживании газопроводов, которые были необходимы при подогреве металлолома вне агрегата печи сталеплавильных цехах;
- необходимость в применении бадьи или других ёмкостей, для подогрева металлолома;
- смоделированные механизмы интеграции дуговых сталеплавильных печей и подогрева металлолома;
- повышение температуры подогреваемой шихты за счёт максимального использования коэффициента использования тепла отходящих газов.

Приняв во внимание тенденций направленных на применении экономически целесообразных, отвечающих новым требованиям охраны окружающей среды и с учетом особенностей расположения инфраструктуры основных и вспомогательных агрегатов электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) АО «Узметкомбинат», можно сделать вывод что применение интегрированных систем предварительного подогрева металлолома является приоритетной задачей данной работы.

Во второй главе диссертации **«Оптимизация движения теплообмена отходящих газов в интегрированном двухкамерном подогревателе»** описан, что в соответствии с законом вязкого трения Ньютона, при динамическом и кинематическом движении отходящих газов из ДСП, передача тепла металлолому происходит путём конвекции и теплового излучения. В процессе передачи тепла от ванны печи и от отходящих газов к металлической шихте играют практическую роль три вида теплопередач:

- а) тепловое излучение, исходящее от поверхности ванны печи.

б) тепловое излучение между техногенными газами и поверхностью металлолома;

в) конвекция между техногенными газами и поверхностью металлолома.

В целях исследования процесса протекающих с поглощением и излучением, а также определения структуры основного закона переноса лучистой энергии в излучающе-поглощающей среде эксперимент формировали по схеме на рис. 1. Эксперимент комбинировали с лабораторным стендом НТЦ-22.05.21 «Основы газовой динамики».

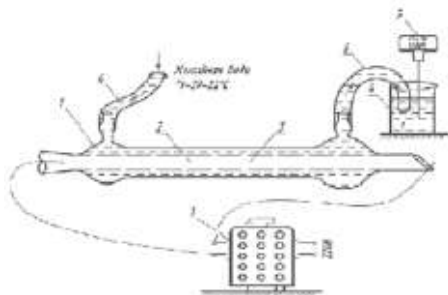


Рис. 1. Схема и установка для исследования процессов, протекающих с поглощением и излучением, на базе лабораторного стенда НТЦ-22.05.21.

Здесь: 1-двойная кварцевая трубка (водяной холодильник); 2-угольные крошки $d=1-3$ мм; 3-нихромовая проволока; 4-термостойкий химический стакан для приема горячей воды из водяного холодильника; 5-термометр электронный ЛТ-300; 6-шланг для подачи и отлива воды; 7-лабораторный автотрансформатор ЛАТР-10.

Также были определены коэффициенты полного нормального теплового излучения для чугуна и стали в различных модификациях (табл. 1).

Таблица 1.

Коэффициенты полного нормального теплового излучения для различных материалов

Материалы:	$t, ^\circ\text{C}$	ε
Чугун:		
полированное	425-1020	0,144-0,377
окисленное	100	0,736
литое, необработанное	925-1115	0,87-0,95
Сталь:		
листовая с плотным слоем окиси	25	0,82
Оксид железа	500 -1200	0,85-0,95
Покрытие с масляными красками	100	0,92-0,96
Твёрдо лощёная пластина.	23	0,945

Для обеих видов материалов составили диаграммы в определенных пределах полного нормального теплового излучения (рис. 2).

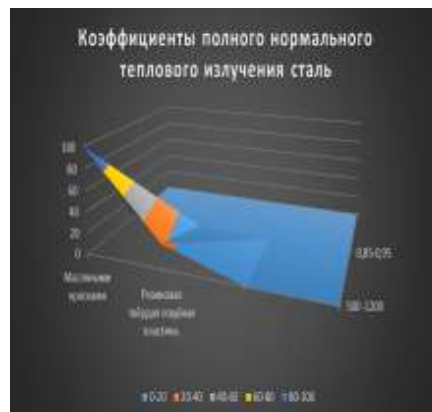
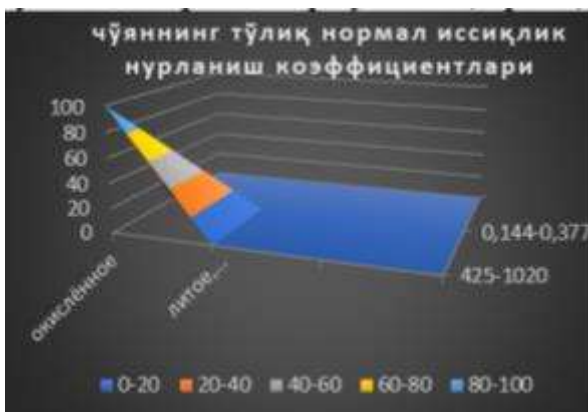


Рис. 2. Диаграммы определения пределов полного нормального теплового излучения

Основным выводом для данного этапа экспериментальных работ можно отнести, что тела с тёмными цветами, имеют высокие коэффициенты поглощения тепла. Соответственно расположение большей части лома темных тел в нижней части камеры повышает эффективность по передаче тепла. Для будущей установки по предварительному подогреву было принято решение расширение зоны теплового излучения.

Мощность теплового излучения ванны печи P определили согласно закону Стефана-Больцмана.

$$\varepsilon = 0.7, \quad T_1 = 1923.15K, \quad A = 14.2m^2, \quad P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_1^4, \quad P = 7.709 \times 10^6 W. \quad (1)$$

Коэффициент излучения между двумя параллельными пластинами (поверхность ванны и нижний слой металлолома) определен следующим образом:

$$\varepsilon_1 = 0.91, \quad \varepsilon_2 = 0.9, \quad K_c = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad K_c = 4.686 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}, \quad (2)$$

Температура столба металлолома в нижней части интегрированного подогревателя результате теплового излучения ванны печи:

$$T_2 := \sqrt[4]{T_1^4 - \frac{P}{K_c \cdot A}}, \quad T_2 = 1.203 \times 10^3 K, \quad T_2 = 929.613 \cdot ^\circ C \quad (3)$$

Тепловое излучение между техногенными газами и поверхностью металлолома. В зависимости от числа атомов проходящие газы через массу металлической шихты обладают способностью излучать и поглощать лучистую энергию.

В результате исследований вопросы излучения изотермических объёмов CO_2 , и H_2O других многоатомных газов было экспериментально определено и на этой основе были составлены номограммы для различных газов, в том числе для диоксида углерода и водяного пара в виде зависимости коэффициента теплового излучения газового объёма ε от температуры газа (рис. 3).

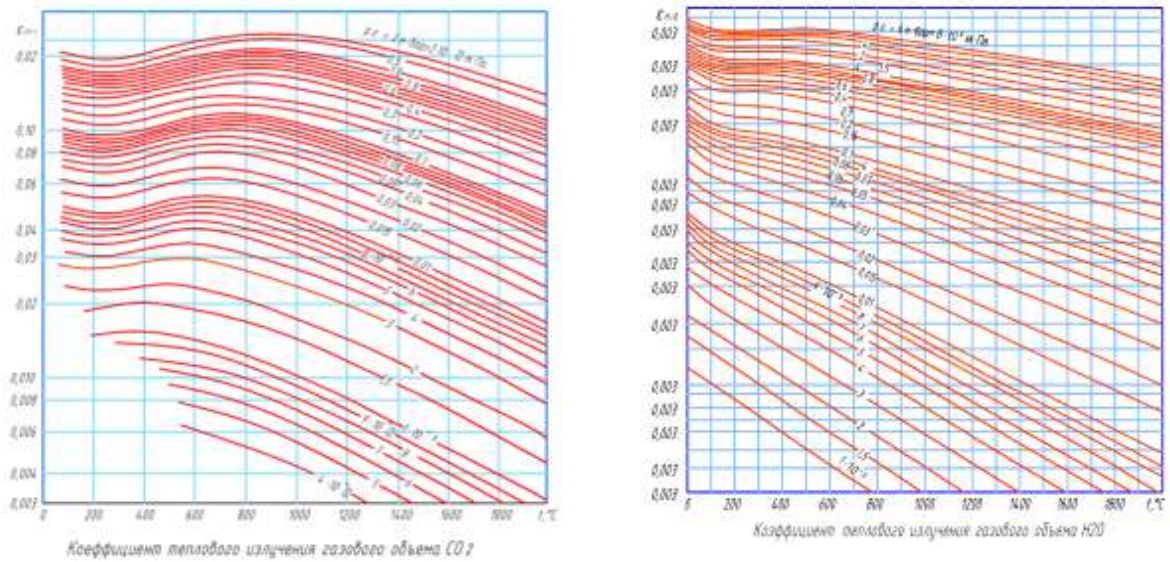


Рис. 3. Номограммы зависимости коэффициента теплового излучения газового объёма диоксида углерода и водяного пара ϵ от температуры газа

По найденному из номограмм значению ϵ рассчитывается собственное излучение газового объёма по соотношению:

$$E_0 = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_r^4 \quad , \quad (4)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$;

T_r - температура газа;

ϵ - коэффициент теплового излучения газа, зависящий от температуры.

Приняв во внимание, что в агрегатах плавки диоксид углерода и водяной пар находятся обычно в смеси друг с другом, коэффициент теплового излучения смеси газов, строго говоря, меньше суммы коэффициентов излучения чистых газов:

$$\epsilon = \epsilon_{\text{CO}_2} + \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta\epsilon \quad , \quad (5)$$

Расчёт теплового излучения газов ДСП в двухкамерном подогревателе. Мощность излучения газов.

$$\epsilon_{\text{CO}_2} = 0.2 \quad , \quad \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0.6 \quad , \quad \sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4} \quad , \quad F_s = 14.2 \text{ м}^2 \quad , \quad \Delta\epsilon = 0.1 \quad , \quad T_g = 1200^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_g = \epsilon_{\text{CO}_2} + \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta\epsilon \quad , \quad \epsilon_g = 0.7 \quad , \quad P = \epsilon_g \cdot \sigma \cdot T_g^4 \cdot F_s \quad , \quad P = 2.654 \times 10^6 \text{ Вт} \quad (6)$$

Также расчёт коэффициентов теплового излучения ϵ смеси CO_2 и H_2O , образующейся при сжигании топлива в электросталеплавильных агрегатах, производится упрощенно:

$$\epsilon = 1 - e^{-10kpl} \quad , \quad (7)$$

где k - коэффициент ослабления лучей в смеси, определяемой эмпирической формулой:

$$k = 0,8 \cdot (1 + 20 \cdot p_{\text{H}_2\text{O}}) / \sqrt{10pl} (1 - 0,38 \cdot \frac{T_r}{1000}) \quad , \quad (8)$$

где $p = p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CO}_2}$ - суммарное парциальное давление водяного пара и оксида углерода, МПа. Эта методика согласована с предыдущими

номограммами и правомерна в следующем диапазоне параметров (табл. 2).

Таблица 2.

Суммарное парциальное давление водяного пара и оксида углерода

p_{CO_2} , МПа	$8 \cdot 10^{-4} - 0,16$
p_{H_2O} , МПа	$4 \cdot 10^{-4} - 0,16$
p_{H_2O}/p_{CO_2}	0,2-2
T_r , К	750-1950

Можно рассчитать лучистый теплообмен между газом и чёрными стенками по формуле (9):

$$Q = \sigma \cdot F (\varepsilon_r T_r^4 - A_{r,c} T_c^4) \quad (9)$$

Коэффициенты поглощения изотермического объёма газа с температурой T_r по отношению к излучению абсолютно черной оболочки с температурой T_c . $T_c = 100^\circ\text{C}$.

$$A_{gc} = \varepsilon_{CO_2} \cdot \left(\frac{T_g}{T_c}\right)^{0.65}, \quad A_{gc} = 0.488 \quad (10)$$

$$A_{gh} = \varepsilon_{H_2O} \cdot \left(\frac{T_g}{T_c}\right)^{0.45}, \quad A_{gh} = 1.113 \quad (11)$$

$$A_g = A_{gc} + A_{gh} - \Delta\varepsilon, \quad A_g = 1.501 \quad (12)$$

Приведённый коэффициент теплового излучения серой стенки:

$$\varepsilon_c = 0.91, \quad \varepsilon_{ges} = 0.5 \cdot (1 + \varepsilon_c), \quad \varepsilon_{ges} = 0.955 \quad (13)$$

Площадь поверхности поглощения тепла металлолома:

F_s - удельная площадь поверхности металлолома, принимается

$$F_s = 8 \text{ m}^2/\text{m}^3, \quad F_s = 8 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}, \quad V = 64 \cdot \text{m}^3 \quad (14)$$

$$F_m = F_s \cdot V, \quad F_m = 512 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Температура столба металлолома в нижней части двухкамерного подогревателя результате теплового излучения газов:

$$T_m = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{ges} \cdot \sigma \cdot F_m \cdot \varepsilon_g \cdot T_r^4 - P}{\varepsilon_{ges} \cdot \sigma \cdot F_m \cdot A_g}}, \quad T_m = 1.208 \times 10^3 \cdot \text{K}, \quad T_m = 935.228^\circ\text{C} \quad (16)$$

Конвекция между техногенными газами и поверхностью металлолома. Для определения конвекции между отходящими газами и поверхностью шихты применили лабораторный стенд НТЦ-11.73 ПС с электрическим канальным нагревателем. Изменение давления в системе отображался на индикаторах ΔP_1 , ΔP_2 , расположенных на панелях «Измеритель давления и тахометр» и «Измеритель давления и температуры». В канал прохода газов через задвижки расположили листовую сталь с плотным слоем окиси (для создания эффекта темного тела) (рис. 4).



Рис. 4. Исследование определения зависимости коэффициента конвективного теплообмена от типа потока и скорости газов

Зависимость коэффициента теплоотдачи от характера течения газов и времени приведены на табл. 3.

Таблица 3

Конвективный теплообмен относительно времени и скольжения течения в поверхности пластины

Время подогрева мин, ΔP, ба	10	11	12	13	14	15
0,15	70	73,3	76	81	85	88,6
0,16	66,5	68,2	70	72,2	73,8	74,9
0,17	65	66,2	67,3	68,5	69,9	72
0,18	64,2	65,4	66,5	67,3	69,1	71,2
0,19	63,3	64,5	65,4	66,4	68,2	70,3
0,20	62,3	63,4	64,4	65,5	67,2	69

В соответствии с диаграммой на рис. 5 видно, что наибольшие коэффициенты теплопередачи при ламинарном течении, когда скольжение газов по поверхности колеблется в пределах 0,15-0,17 мба.

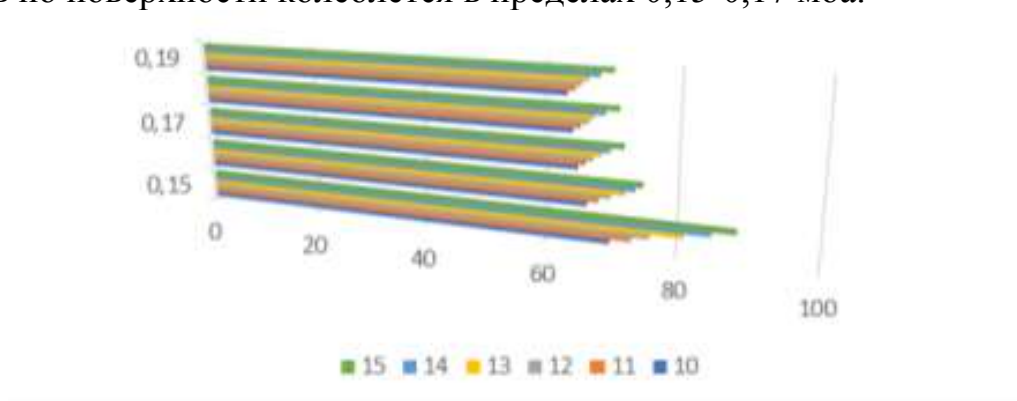


Рис. 5. Диаграмма зависимости конвективного теплообмена относительно времени и скольжения течения в поверхности пластины

Определение площади поверхности поглощения тепла металлолома в области принудительной конвекции:

F_s - удельная площадь поверхности металлолома, принимается

$$F_s = 8 \text{ м}^2 / \text{м}^3, F_s = 8 \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}, V = 85 \text{ м}^3, \quad (17)$$

$$F_m = F_s \cdot V, F_m = 680 \text{ м}^2, 128 \text{ м}^3 \times 2/3 = 85 \text{ м}^3. \quad (18)$$

Нагрев металлолома в зоне 1 в результате принудительного конвективного теплообмена. Объём металлолома в области принудительной конвекции составляет 2/3 от общего объёма интегрированного подогревателя, т.е. $40 \text{ т} \times 2/3 = 26,8 \text{ т}$. Тепловой поток отходящих газов ДСП на тонну стали: $100 \text{ кВт ч/т} \times 59 \text{ т}$; общий вес металлолома в камере 44 т, время: 60 мин.

$$Q := 5900 \cdot kW \cdot h, h = 60 \cdot \text{мин}, T_g = 1470 \cdot K \quad (19)$$

T_g - начальная температура газа

$$P = \frac{Q}{t}, P = 5.9 \times 10^3 \cdot kW, \quad (20)$$

$$T_m = T_g - \frac{P}{ak \cdot F_m}, T_m = 1.106 \times 10^3 K, T_m = 833.2^\circ C. \quad (21)$$

Автором диссертационной работы вместе с коллективом АФ НИТУ «МИСиС» и АО «Узметкомбинат», были разработаны следующие мероприятия конструктивного и технологического характера, которые улучшают поток и теплообмен отходящих газов в интегрированном подогревателе (рис. 6):

1. Разработка конструкции двухкамерного подогревателя, одновременно интегрированного в печное пространство через свод печи по нижней части камеры подогрева и интеграции через вторую – камеры дожигания на газоотводную систему электросталеплавильного цеха АО «Узметкомбинат».

2. Разработано инновационное решение обеспечивающий равномерное распределение процесса теплообмена в камере подогрева за счет оптимальной геометрии обтекания движения газов как в точках подключения в свод печи, так и в точке подключения газоотводную систему.

3. Благодаря симметричному отсосу воздуха через свод печи по сложно геометрической фигуре циклонного типа, данный характерный поток позволяет расширит зону теплового излучения и принудительного конвективного теплообмена по всему столбу металлолома.

4. Для создания эффекта вакуумной тяги снизу в верх, крышка камеры подогрева сконструирован таким образом, что механические пазы позволяют обеспечить точный ход при закрытии и открытии крышки.

5. В целях уменьшения отверстия между пазами крышки и камерой подогрева применена лабиринтное фиксирование крышки, который обеспечивает максимальную герметичность камеры.

6. Установка дополнительного всасывающего устройства через свод ДСП позволяет во время открытия крышки перенаправить выделяемые техногенные газы в газоочистительную систему цеха.

7. На второй камере дожигания кроме газокислородных горелок, также устанавливается специальный отсек осаждения сажи и мелко дисперсных образований, которые могут негативно повлиять на внутренние поверхности газоочистительной системы.

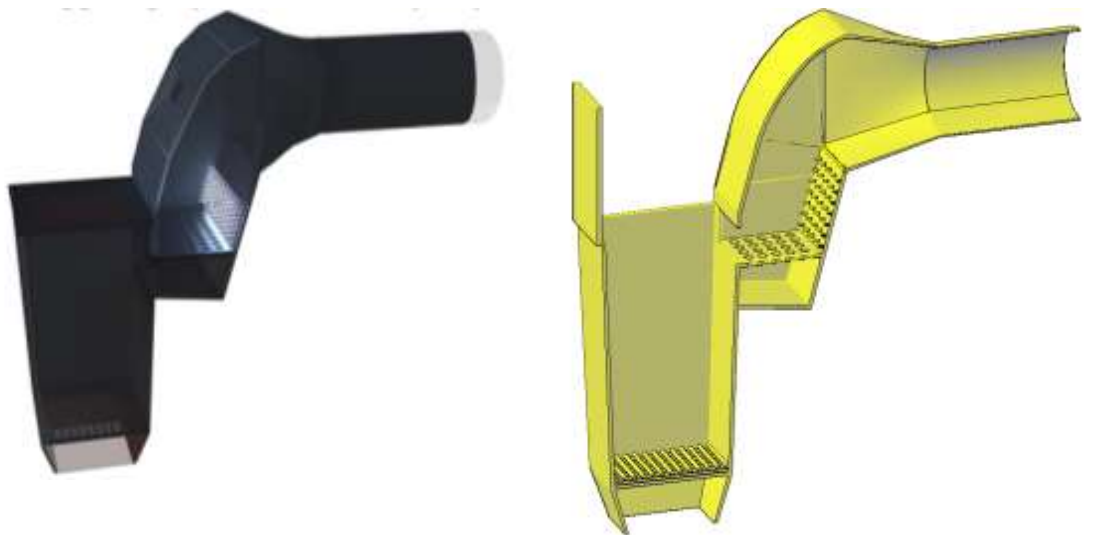


Рис. 6. Изображение двухкамерного подогревателя

Разработанные конструктивные и технологические решения позволяют улучшить следующие процессы и технические параметры двухкамерного подогревателя:

- Конвективный теплообмен между отходящими газами и металлоломом;
- Поток отходящих газов в двухкамерном подогревателе;
- Подсосы холодного воздуха в камеру дожигания, повышение температуры отходящих газов;
- Снижение времени выброса отходящих газов в сталеплавильный цех и в тракт неорганизованных газов;
- Установка отсека осаждения пыли позволяет уменьшить абразивную нагрузку всех модулей газоочистки и уменьшить процесс быстрого охлаждения вредных веществ (процесс «Новосинтеза»);
- Снижение уровня шумов за счёт равномерного подогрева металлолома в двухкамерном подогревателе;

Конвективный теплообмен между отходящими газами и металлоломом. Область свободного конвективного теплообмена в зоне 1 отсутствует. Температура металлолома $T_{мп}$ в зоне 1, в результате принудительного конвективного теплообмена, определяется выражением (22):

$$T_{мп} = T_{г} - \frac{P}{a_k \cdot F_m}, \quad T_{мп} = 787 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (22)$$

Применение конструкции лабиринтного уплотнения значительно уменьшили область свободного конвективного теплообмена. Средняя температура металлолома $T_{мс}$ в области свободного конвективного теплообмена, (зона 4), определяется согласно выражению:

$$T_{мс} = T_{г} - \frac{P}{a_k \cdot F_m}, \quad T_{мс} = 252 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (23)$$

Средняя температура металлолома $T_{м}$ в двухкамерном подогревателе определяется согласно уравнению (24):

$$T_{м} = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} M_{xn} \cdot T_{xn} \cdot C_{xn}}{M_{xn} \cdot T_{xn}}, \quad T_{м} = 559 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (24)$$

Объём свободного конвективного теплообмена составляет примерно 1/9

от общего объёма камеры подогрева. На рис. 7 представлены результаты конвективного теплообмена двухкамерного подогревателя.

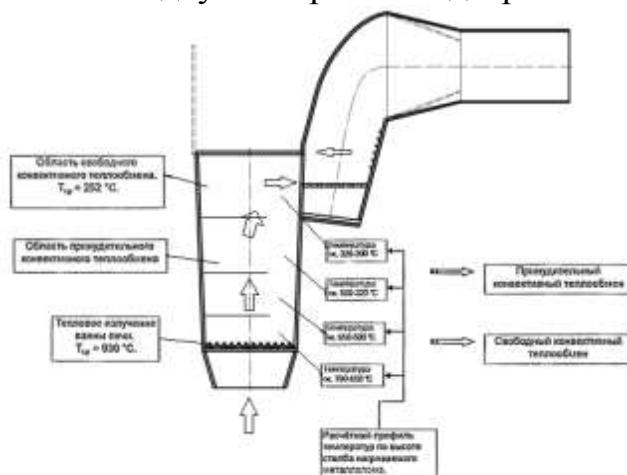


Рис. 7. Конвективный теплообмен двухкамерного подогревателя

Конвективный теплообмен двухкамерного подогревателя имеет следующие преимущества:

- Подогрев металлолома, в результате отсоса отходящих газов через нижние модули первой камеры, происходит равномернее, чем с боковой стороны у других интегрированных системах. В результате данного мероприятия область свободного конвективного теплообмена полностью отсутствует в зонах низкой турбулентности.
- Остаточная область свободного конвективного теплообмена лежит в верхней части камеры подогрева двухкамерного подогревателя. Данное положение значительно уменьшает выбросы вредных веществ в тракт неорганизованных газов.
- Нагрев металлолома в зонах низкой турбулентности происходит преимущественно за счёт конвективного теплообмена. Данное явление ведёт к более равномерному профилю температур по ширине и длине внутреннего контура металлолома.
- Средняя температура металлолома составляет $559\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ больше, чем в существующем интегрированном подогревателе. Повышение средней температуры металлолома объясняется уменьшением области свободного конвективного теплообмена в двухкамерном подогревателе.

Третья глава диссертации «**Оптимизация термических свойств двухкамерного подогревателя в комбинации с процессом дожигания**» посвящена анализу состояния термического и механического исполнения двухкамерного подогревателя, которые влияют на процесс подогрева металлолома и на работу модулей газоочистки.

В лабораторных условиях Алмалыкского филиала НИТУ «МИСиС» были проведены исследования в целях определения тепловых потерь, существующих интегрированных подогревателей, через водоохлаждаемые панели.

Первом варианте подогреватель находится в режиме загрузки металлоломом и происходит конвективная теплопередача между отходящими газами и водоохлаждающими стенами подогревателя. В этих целях был загружен муфельная печь SNOL-1,4.2,5.1,2/12,5 – И1 (до 1250 °С, волокно) 0,8 м³ металлоломом в перемежку с ГБЖ (примерно 50/50). При нагреве температуры печи 500 °С, в условиях протекания процесса конвективного теплообмена и теплового излучения через муфели печи: движение теплого потока (средняя температура образца 20-25°С) к поглотителю с низкой температурой температурная нагрузка к стенкам печи показало температуру 300-350 °С. Во втором варианте подогреватель без металлолома (процесс подготовки загрузки шихты, подготовительное время и т.д.). Для данного режима применена муфельная печь SNOL-1,4.2,5.1,2/12,5 – И1 (до 1250 °С, волокно) с пустой рабочей зоной. При данном режиме работы заслонка регулирования давления под сводом печи полностью закрыта или частично открыта. Скорость отходящих газов незначительна или близка к нулю. В данной ситуации теплопередача происходит в основном за счёт теплового излучения между муфелями печи и стенкой камеры из волокнистой теплоизоляции.

Расчёты разницы температуры контуров рабочего пространства печи, ΔT , составляют в большинстве случаев около 15 °С. Показания приборов измерения ΔT , которые установлены печи, показывают при загруженной печи $\Delta T = 4,2$ °С, при пустой печи $\Delta T = 8,1$ °С. Разница между расчётными и фактическими данными связана с допущением, что тепловая нагрузка внутри рабочей камеры печи на панели теплоизоляции постоянна и равна 70.000 ккал/м² ч (81,4 кВт ч/м²). На основании расчётных данных контуров рабочей камеры печи и приборов измерения, при различных режимах работы, определена следующая разница температуры и количество потерь тепла:

Первом варианте, когда печь загружен металлоломом: $\Delta T = 4,2$ °С.

$$Q = M \cdot c_p \cdot \Delta T \quad , \quad Q = 3,91 \cdot 10^3 \cdot \text{кВт} \cdot \text{ч} \quad . \quad (36)$$

где Q - количество тепла, отведённое теплоизоляционными панелями печи;
 c_p - удельная теплоёмкость теплоизоляционных панелей.

Удельные потери тепла через теплоизоляционные панели печи на 1 кг пробы:

$$P_t = \frac{Q}{t} \quad , \quad P_t = 0,0372 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т} \quad . \quad (37)$$

где t - единица времени.

В целях улучшения процесса подогрева металлолома автором диссертационной работы, разработана конструктивное решение по дополнительной и эффективной термомеханической защиты как самих стен двухкамерного подогревателя, так и панелей водяного охлаждения.

В целях решения этих задач, предусмотрена навеска специальных термических плит на внутренние панели камеры подогрева. Термоплиты адаптированы под габариты внутренних стен двухкамерного подогревателя с учетом трубных панелей водяного охлаждения. Термомеханическое исполнение двухкамерного подогревателя представлен на рис. 8.

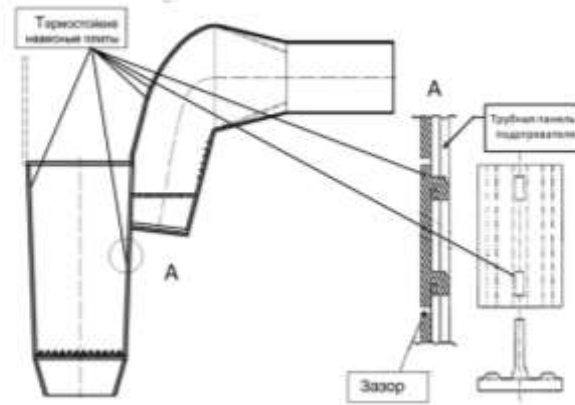


Рис. 8. Конструкция термомеханического исполнения двухкамерного подогревателя

В режиме работы отсутствия металлолома в камере подогрева, термические плиты накапливают тепло путем теплового излучения между газами печи и материалом термостойких плит. Мощность теплового излучения газов двухкамерного подогревателя на термические плиты определяется выражением:

$$P_g = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot T_g^4 \cdot F_s, \quad P_g = 1,34 \times 10^7 \cdot \text{Вт}, \quad (27)$$

где, ε_g -суммарный коэффициент теплового излучения газов;

Количество теплоты, накопленное термическими плитами во время отсутствия металлолома в подогревателе:

$$Q = P_g \times t, \quad Q = 1,12 \times 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (28)$$

где, $t = 5$ мин, среднее эффективное время нагрева термических плит.

Накопление и отдача тепловой энергии термическими плитами на тонну стали составляет:

$$P_t = \frac{Q}{m_h}, \quad P_t = 10,68 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}, \quad (29)$$

где, $m_h = 105$ т, часовая производительность ДСП.

Повышение температуры термических плит ΔT_p во время процесса накопления тепла составляет:

$$\Delta T_p = \frac{Q}{c_p \times m_p}, \quad \Delta T_p = 301,5 \text{ К}, \quad (30)$$

где, c_p - удельная теплоёмкость термических плит;

m_p - эффективная масса термических плит.

Среднее повышение температуры металлолома ΔT_s за счёт накопления и отдачи тепла термическими плитами составляет:

$$\Delta T_s = \frac{Q}{c_s \times m_h}, \quad \Delta T_s = 7,2 \text{ К}, \quad (31)$$

где, c_s - средняя удельная теплоёмкость металлолома.

Среднее повышение температуры потока отходящих газов ΔT_g за счёт накопления и отдачи тепла термическими плитами составляет:

$$\Delta T_g = \frac{Q}{c_g \times m_g}, \quad \Delta T_g = 7,2 \text{ K}, \quad (32)$$

На рис. 9 схематично представлены схемы расчётов коэффициентов теплопередачи непосредственно через водоохлаждающие панели и совместно, при использовании термических плит в двухкамерном подогревателе.

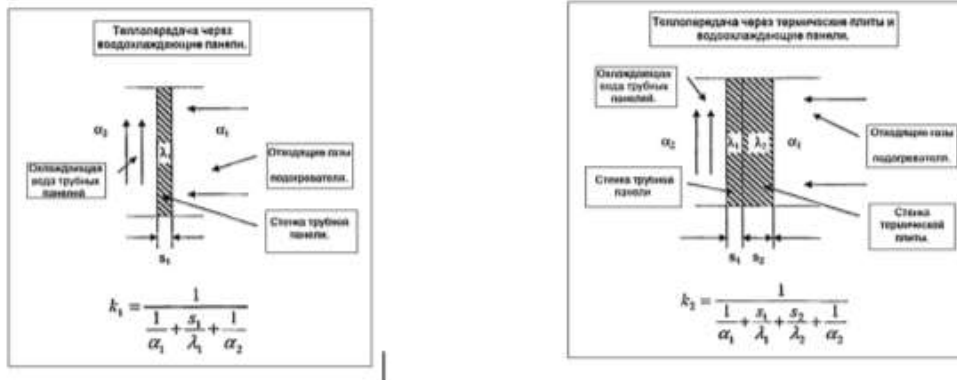


Рис. 9. Коэффициенты теплопередачи через водоохлаждающие панели и термические плиты в двухкамерном подогревателе

Коэффициент теплоотдачи α_2 охлаждающей воды трубных панелей определяется выражением:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_t \times \lambda}{d}, \quad \alpha_2 = 1,15 \times 10^4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}, \quad (33)$$

Коэффициент теплопередачи k_1 через водоохлаждающие панели двухкамерного подогревателя:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad k_1 = 277,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}, \quad (34)$$

Коэффициент теплопередачи k_2 совместно с термическими плитами:

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad k_1 = 277,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}, \quad (35)$$

Коэффициент уменьшения тепловой нагрузки K_t на водоохлаждающие панели двухкамерного подогревателя при применении термических плит:

$$K_t = k_a \frac{k_1}{k_2}, \quad K_t = 1,34, \quad (36)$$

Необходимое количество охлаждающей воды V_w двухкамерного подогревателя при применении термических плит:

$$V_w = \frac{M}{\rho_w \times t_w}, \quad V_w = 604,2 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (37)$$

Трубные панели существующих интегрированных подогревателей имеют наружный размер труб 82 мм при толщине стенки 10-12 мм. Расчётный внутренний диаметр труб составляет 72 мм. Применение термических плит в двухкамерном подогревателе даёт возможность использования трубных панелей следующего расчётного внутреннего диаметра d_t :

$$d_t = \sqrt{\frac{V_t \times \pi \times 4}{k \times v_t}}, \quad d_t = 53,9 \text{ мм}, \quad (38)$$

Внешний диаметр трубы при $d_t = 53,9$ мм, толщине стенки 10 мм,

составляет 73 мм. Применение термических плит позволила компоновать стеновые панели из труб Ø73 x 10,0 мм.

На рис. 10 представлены тепловые и энергетические характеристики термического исполнения двухкамерного подогревателя.

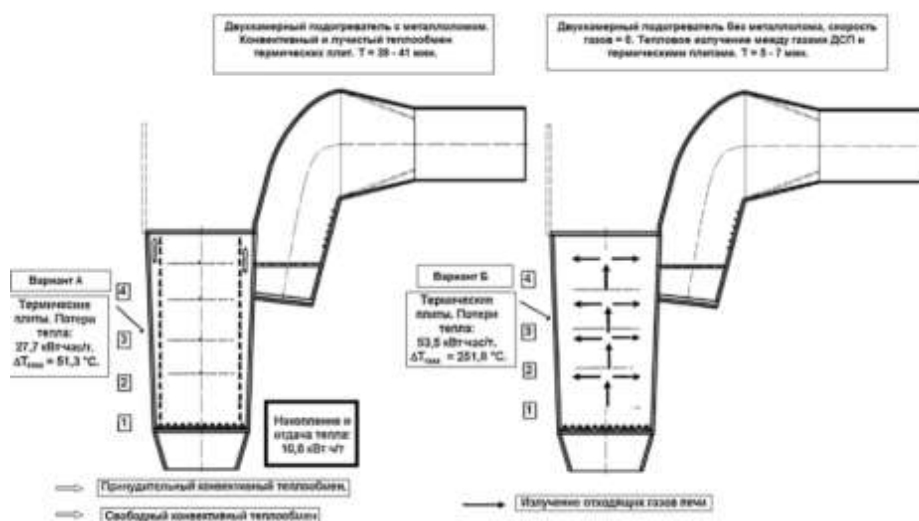


Рис. 10. Термические и энергетические характеристики двухкамерного подогревателя с использованием термоплит

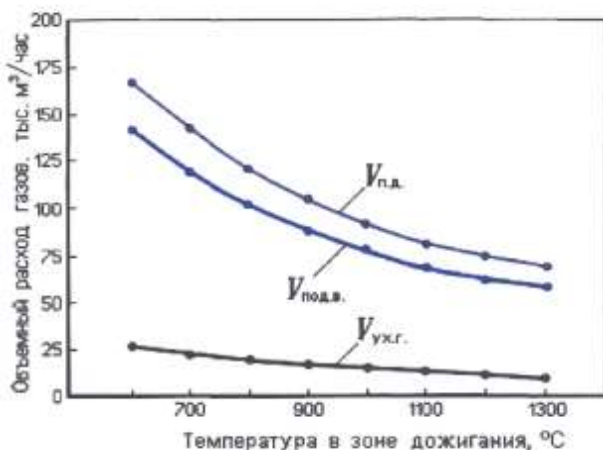
Одним из факторов, негативно влияющих на окружающую среду в работе ДСП является, загрязнение отходящих от них газов стойкими органическими загрязнителями (СОЗ), наиболее токсичными из которых являются диоксины и фураны. Следует отметить, что наиболее эффективным методом борьбы со СОЗми является их дожигание.

В целях оценки условий дожигания и охлаждения технологических газов ДСП, оборудованной традиционной системой отвода, проведены исследования на ДСП 100УМК, основные результаты которых приведены в табл. 4.

**Таблица 4
Результаты испытаний условий дожигания газов ДСП-100УМК**

Параметр работы системы дожигания отходящих газов	Период работы ДСП		
	Завалка (ГКГ в не рабочем режиме)	Плавление (без применения КД)	Плавление (с применением КД)
Температура, °C:			
- в выходе из подогревателя (T_1)	800-840	560-640	850-900
- в газоходе (T_2)	150-170	180-210	150-180
Концентрация CO, мг/м ³	176,0-370,0	612,0-3216,0	167,0-1620,0
Содержание CO ₂ , %	0,8-1,9	0,9-2,5	0,9-2,3
Концентрация NO _x , мг/м ³	44,0-282,0	0-20,0	20,0-44,0
Концентрация SO ₂ , мг/м ³	3,0-42,0	0-4,0	0-3,0
Концентрация C _x H _y , мг/м ³	30,0-186,0	174,0-439,0	9,0-95,0
Концентрация H ₂ , мг/м ³	0,1-1,2	11,9-68,2	4,0-9,9
Содержание O ₂ , %	18,6-19,7	17,6-18,6	18,3-19,3
Коэффициент расхода воздуха, n	8,8-19,3	6,7-8,3	8,1-16,5

На основании расчетов, проведенных для условий двухкамерного подогревателя, были оценены изменения объемных расходов отходящих газов в зависимости от температуры дожигания. Расчеты, как видно из графика (рис. 11), показали, что повышение температуры газов на выходе из патрубка печи от 600-800 °С до 1100-1300 °С приводит, к сокращению количества продуктов дожигания. Это, в свою очередь, снижает общее количество газов, поступающих на очистку.



$V_{ух.г}$ — объемный расход газов на выходе из камеры подогрева
 $V_{под.в}$ — объемный расход воздуха, подсасываемого в зазор
 $V_{ух.г.}$ — объемный расход продуктов дожигания

Рис. 11. Изменение объемного расхода отводимых на очистку отходящих газов в зависимости от температуры в зоне дожигания.

Применение подобных систем дожигания в комплекте со спрейерным испарительным охлаждением на выходе позволяет обеспечить сокращение объемов технологических газов, поступающих на очистку до двух и более раз. При этом, за счет увеличения времени выдержки до 2 с и выполнения других вышеперечисленных условий, обеспечивается эффективное дожигание не только традиционных горючих компонентов отходящих газов, но и приводит к деструкции диоксинов/фуранов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов исследований по диссертационной работе на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему: **«Совершенствование путем оптимизации процессов использования отходящих газов из дуговых сталеплавильных печей для подогрева сырья»**, были сделаны следующие выводы:

1. Разработана технология использования физического тепла отходящих газов из дуговой сталеплавильной печи на основе физических свойств составляющих элементов шихты. Это служит для сокращения времени на плавку металлической шихты в дуговых сталеплавильных печах.

2. Разработана технология сжигания вредных примесей в составе отходящих газов из дуговой сталеплавильной печи на основе теплофизических свойств элементов, образующих газы. Это позволит снизить нагрузку на газо-пыле очистительную систему электросталеплавильного цеха.

3. Разработана инновационная технология равномерного распределения процесса теплообмена в двухкамерном подогревателе на основе теплового баланса и законов переноса тепла.

4. Разработана технология обеспечения покрытия максимальной площади и объёма столба металлолома принудительной конвекцией и тепловым изучением, за счёт определения зависимости от типа потока и характера движения газов.

5. Разработана конструкция камеры подогрева, которая обеспечивает максимальное расширение объёма металлолома в области принудительной конвекции. Это послужит в обеспечении стабильности средней температуры в области свободной конвекции.

6. Разработана технология равномерного распределения тепла по всему столбу металлолома за счет симметричного отсоса воздуха с обратной стороны двухкамерного подогревателя. Это послужит для того, чтобы температура металлолома в 1-2 зонах находилась в пределах нормы за счет конвективного теплообмена.

7. Разработана конструктивное решение по дополнительной и эффективной тепломеханической защиты как самих стен двухкамерного подогревателя, так и панелей водяного охлаждения. Это позволит накапливать тепло отходящих газов во время отсутствия металлолома в камере подогрева двухкамерном подогревателе и отдавать его после завалки.

**SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY named after ISLAM KARIMOV.**

KHALIKULOV UTKIR MIRZAKAMOLOVICH

**IMPROVEMENT BY OPTIMIZING THE PROCESSES OF USING
WASTE GASES FROM ARE STEEL FURNACES FOR HEATING RAW
MATERIALS**

**05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry. Heat treatment and
metal pressure treatment. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals (Foundry
and metal processing)**

**DISSERTATION ABSTRACT
OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)**

Tashkent- 2021

The theme of doctoral dissertation (PhD) on technics is registered at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2020.4.PhD/T1492.

The dissertation was completed at the Islam Karimov Tashkent State Technical University. The abstract of the thesis in two languages (Uzbek, Russian and English (summary)) is posted on the web page (www.tdtu.uz) and the information and educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant:

Samadov Alisher Usmanovich
Doctor of technical science, professor

Official opponents:

Nurmuradov Sallokhiddin Dusmurodovich
Doctor of technical science, professor

Yakubov Laziz Ergashhonovich
Doctor of PhD, docent

Leading organization:

JSC "Almalyk MMC"

The defense of the thesis will take place on «___» _____ 2021 at _____ hours at a meeting of the Scientific Council DSc.03 / 30.12.2019.T.03.04. at the Tashkent State Technical University and the National University of Uzbekistan. (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya st., 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

The dissertation can be found in the Information Resource Center of the Tashkent State Technical University (registered under No. ___). (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya str., 2. Tel.: (99871) 227-10-32.)

The abstract of the dissertation was sent out «___» _____ 2021.

(register of the dispatch protocol No. ___ dated «___» _____ 2021).

K.A.Karimov
Chairman of the Scientific Council
for awarding scientific degrees,
Doctor of technical science, Professor
N.D.Turaxodjaye
Scientific Secretary of the Scientific Council
for awarding scientific degrees,
Doctor of technical science, Professor
F.S.Abdullayev
Chairman of the Scientific seminar under the
Scientific council for awarding scientific degrees,
Doctor of technical science, Professor

INTRODUCTION (abstract of the thesis of the doctor of Philosophy(PhD))

Relevance of the dissertation topic. At present, the process of intensification of production by improving the quality of the output of the metallurgical industry and increasing labor productivity is of particular importance in the world. At the same time, one of the important tasks is the diversification of the production process, aimed at ensuring energy efficiency in steel production and compliance with environmental standards. In this regard, a lot of research is being carried out both by scientists and by operators of the world, in particular in countries with a developed industrial sector, such as Germany, Japan, China and Russia.

In the world, the issue of reducing the cost of steel production by reducing the consumption of electricity, which is about 50-60% of the total cost, and the replacement of electrical energy with cheaper heat generators is becoming more and more urgent. A number of technologies have been developed in this direction, and technologies aimed at using the thermal energy of waste gases are gaining increasing importance.

The dynamic growth of the economy of the Republic of Uzbekistan, especially in terms of a sharp increase in construction sites as a whole in the republic, obliges to increase the capacity of the domestic steel production industry. Given the lack of mineral resources and the limited volume of recycled scrap, pose new challenges for scientists to diversify production towards saving energy resources, as well as compliance with environmental standards and rules. The Strategy of Actions for the Further Development of the Republic of Uzbekistan in 2017-2021 defines tasks, including "... strengthening macroeconomic stability and maintaining high rates of economic growth, increasing its competitiveness, ... reducing the energy intensity and resource intensity of the economy, widespread introduction of energy-saving technologies into production"²

This dissertation research, to a certain extent, serves to fulfill the tasks stipulated by the decrees of the President of the Republic of Uzbekistan "On additional measures to reduce the dependence of economic sectors on fuel and energy products by increasing the energy efficiency of the economy and using available resources" dated July 10, 2020 No. PP-4779 and "On additional measures to improve the public administration system in the field of ecology and environmental protection "dated October 3, 2018 No. PP-3956.

Compliance of research to the priority directions of development of science and technologies in the republic. This study was carried out in accordance with the priority direction of the development of science and technology of the republic II "Energy, energy and resource conservation".

The aim of the research work is the development of scientific foundations of an effective technology for the use of physical heat of waste man-made gases for preliminary heating of raw materials.

² No. UP-4947 dated February 7, 2017 "On the strategy of actions for the further development of the Republic of Uzbekistan"

The tasks of the research work are:

- to show the advantages of an innovative unit, which is simultaneously integrated into both the furnace space and the gas cleaning system of the shop;
- to develop a technology for a new combined process of preheating scrap metal and afterburning off gases that meets modern requirements of electrometallurgical production and meets environmental standards;
- to improve the design of an integrated preheater that improves the flow and heat exchange of waste gases in the process of preheating scrap metal;
- to develop a thermal design of a two-chamber heater, which improves the characteristics of heating scrap metal and the system for afterburning off gases;
- to develop a mathematical model of the heat balance of the combined process of heating scrap metal in a two-chamber heater.

The object of the research work are the waste man-made gases of the steel arc furnace.

The scientific novelty of the research work consist of the following:

- a technology has been developed for using the physical heat of exhaust gases from an arc steel-making furnace based on the physical properties of the constituent elements of the charge;
- a technology has been developed for the combustion of harmful impurities in the composition of exhaust gases from an arc steel-making furnace based on the thermophysical properties of the elements that form gases;
- an innovative technology has been developed for the uniform distribution of the heat exchange process in a two-chamber heater based on the heat balance and the laws of heat transfer;
- developed the characteristics of the movement of gases in semi-closed systems in integrated preheating units;
- a combined technology for preheating scrap metal based on the laws of heat transfer and afterburning of waste gases has been developed;
- a technology for afterburning exhaust gases at the exit from the heating chamber has been developed based on the requirements for the boundary concentration of emission of harmful impurities into the atmosphere in the composition of combustion products – (MAC);
- the thermal design of the integrated two-chamber preheater of the charge was developed based on the indicators of resource saving;
- determined the main physical and chemical processes occurring during the preliminary heating of raw materials and zones, depending on the nature of the heat exchange processes of the column of scrap metal in the heating chamber of the combined two-chamber heater.

Implementation of the research results. Based on the studies carried out to improve the use of physical heat of waste gases for preheating raw materials by optimizing technological processes:

the technology of using the physical heat of waste gases from the steelmaking furnace "DSP-100 UMK" was introduced (certificate of JSC

"Uzmetkombinat" No. 01 / 02-03.02-138 of November 20, 2020). The applied technology made it possible to reduce the time of the steel melting process by 10-15%.

a technology was introduced for the afterburning of harmful impurities in the composition of exhaust gases (certificate of JSC "Uzmetkombinat" No. 01 / 02-03.02-138 dated November 20, 2020). Application of the development allowed to reduce the load on the dust and gas cleaning system of the electric arc furnace shop by 15-20%.

an innovative technology of uniform distribution of the heat exchange process in a two-chamber heater has been introduced (reference JSC "Uzmetkombinat" No. 01 / 02-03.02-138 dated November 20, 2020). Due to convective heat transfer, the average temperature of scrap metal increased by 558-560 ° C, which made it possible to save 1 ton of steel on smelting 100 kWh of electricity.

Approbation of scientific results. The research results were announced at 2 republican and 4 international conferences.

Publication of the research results: 13 scientific papers have been published on the topic of the dissertation. Of these, 11 scientific articles, including 2 articles in republican and 2 articles in a foreign journal, recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations. On the topic of the main scientific results of the doctoral dissertation, 1 monograph and 1 certificate of official registration of a computer program were published.

The outline of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusion, bibliography and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works

I–бўлим (I – част; I–part)

1. Халикулов У.М. Сулайманов А.А. Совершенствование обеспечения безопасности сталеплавильных печей. Монография. Саарбрюкен, Германия: “LAMBERT Academic Publishing”, 2019. 75-с.

2. Халикулов У.М. Металлургик печлардан ажралаётган газларнинг кайта рециклингида ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш. Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисида Гувоҳнома № DGU 07822. 30.01.2020.

3. Халикулов У.М. Сулайманов А.А. Джураев О. Анализ факторов, формирующих угрозы безопасности в процессе рециклинга отходящих газов для подогрева сырья // Горный вестник Узбекистана, №4, 2019. С. 81-85. (05.00.00; №7).

4. Халикулов У.М. Improvement of waste gas recycling technology in arc steel furnace (ASF) // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 7, Issue 11 , November 2020, IJARSET, India, Journal impact factor 6.126 – S. 15522-15528. (05.00.00; №8).

5. Халикулов У.М. Процесс применения физического тепла отходящих газов из дуговых сталеплавильных печей для подогрева металлолома // Ўзбекистон Миллий ахборот агентлиги – ЎЗА Илм-фан бўлими (электрон журнал), 2020, Ноябрь. Ташкент, С. 219-230. (ОАК 28.03.2019 й. 263/7.1 ва 263/7.4).

6. Халикулов У.М. Analysis Of The Processes Of Using The Exhaust Gases From Arc Steel Melting Furnaces For Raw Material Heating // The American Journal of Engineering and Technology 04 S. Jones Blvd #5245 Las Vegas, NV 89107 USA November 2020, S. – 81-88.

7. Халикулов У.М. Heating of metal crowd by exhaust gases from an arc-steel melt Furnaces (chipboard) // International journal of advanced science and technology, Vol/ 29 No.7 (2020), Q4 SJR2019 0.11, S. – 7931-7936.

II –бўлим (II – част; II –part)

8. Халикулов У.М. Пулат ишлаб чиқаришда металлломни олдиндан киздириш учун интеграциялашган агрегатларни қўллаш энергетик тежамкорликнинг муҳим омили // “Тежамкорликнинг концептуал асослари ва унинг ижтимоий-иқтисодий шарт-шароитлари” мавзусидаги илмий-амалий конференция материаллари. –Тошкент, ноябрь, 2016. –277-280 б.

9. Халикулов У.М. Инновационное развитие черной металлургии и роль металловедения в разработке новых материалов и технологий как рост экономического развития страны // Материалы X международной научно-практической конференции «Инновационное развитие Российской экономики», РЭУ им. Г.В. Плеханова, РФ, Москва, октябрь, 2017, С.311-315.

10. Халикулов У.М. Мусаев В.Н., Сулейманов А.А. Development of management decisions of activity of divisions at ecological catastrophes in the industrial sphere // Материалы Республиканской научно-технической конференции: «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы».- Навоий, ноябрь, 2019. – С.718-721.

11. Халикулов У.М. Сулейманов А.А. Арипходжаева М. Снижение рисков опасных факторов на дуговых сталеплавильных печах // 21 век. Техносферная безопасность, Том 5, №1 2020. С. 108-115.

12. Халикулов У.М. Utilization of the physical heat of the waste gases from the steel arc furnace (ASF) // Proceedings of Online International Conference on Innovative Solutions and Advanced Research, Organized by Novateur Publications, Pune, Maharashtra, India, Journal NX- A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal ISSN: 2581-4230, Website: journalnx.com, October 11th, 2020.

13. Халикулов У.М. Advantages of integrated plants in relation to with pre-heating of raw materials in metallurgy // “Рақамли иқтисодиётни шакллантиришнинг хориж тажрибасидан самарали фойдаланиш йўллари” мавзусидаги халқаро онлайн илмий-амалий конференция материаллари., – Тошкент, ноябрь, 2020. –960-962 б.

14. Халикулов У.М. Преимущества интегрированных установок в отношении автономных установок при предварительном подогреве сырья в металлургии // LX Международная научная конференция «Техноконгресс»., - Кемерово, декабрь, 2020. – С. 6-10.