

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.30.05.2018.ФМ/Т.34.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДА ТУЗИЛГАН БИР МАРТАЛИК
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

КУРБОНОВ МИРТЕМИР ШОДИЕВИЧ

**ТЕХНИК КРЕМНИЙ ВА КРЕМНИЙЛИ ҚОТИШМАЛАРНИНГ
ЭРИТИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

Фан доктори (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc)

Contents of dissertation abstract of science (DSc)

Курбонов Миртемир Шодиевич

Техник кремний ва кремнийли қотишмаларнинг эритиш

технологиясини такомиллаштириш 3

Курбонов Миртемир Шодиевич

Совершенствование технологии выплавки технического кремния и

кремнистых сплавов 27

Kurbonov Mirtemir Shodievich

Perfection of the technology of smelting of technical silicon and

siliceous alloys 51

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 55

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.30.05.2018.ФМ/Т.34.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДА ТУЗИЛГАН БИР МАРТАЛИК
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

КУРБОНОВ МИРТЕМИР ШОДИЕВИЧ

**ТЕХНИК КРЕМНИЙ ВА КРЕМНИЙЛИ ҚОТИШМАЛАРНИНГ
ЭРИТИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.4.DSc/T195 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган.

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

Илмий маслаҳатчи: **Ашуров Хатам Бахронович**
техника фанлари доктори

Расмий оппонентлар: **Ёлкин Константин Сергеевич**
техника фанлари доктори, профессор

Шарипов Хасан Турапович
кимё фанлари доктори, профессор

Алиев Райимжон
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот: **Навоий давлат кончилик институти**

Диссертация ҳимояси Физика-техника институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.30.05.2018.FM/T.34.01 рақамли Илмий кенгаш асосида тузилган бир марталик Илмий кенгашнинг 2018 йил «___» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Чингиз Айтматов кўчаси, 26-уй. Тел./факс: (+99871) 235-42-91, e-mail: ftikans@uzsci.net, Физика-техника институти мажлислар зали.

Докторлик диссертацияси билан Физика-техника институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Чингиз Айтматов кўчаси, 26-уй, Физика-техника институти. Тел./факс: (+99871) 235-30-41.

Диссертация автореферати 2018 йил «___» _____ куни тарқатилди.

(2018 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

Н.Р. Авезова

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш раиси, т.ф.д.

О.А. Абдулхаев

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф. фалсафа доктори

Н. Талипов

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д.

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва заруряти. Ҳозирги вақтда дунё миқёсида техник кремний ишлаб чиқаришнинг йиллик ҳажми 2,2 млн.т.ни, кремнийнинг темир билан қотишмаси – ферросилицийнинг ҳажми эса - 7,5 млн.т.ни ташкил этади. Амалиётда қўлланилаётган кремний ва кремнийли қотишмаларни эритишнинг технологик жараёнларини такомиллаштириш, мавжуд камчиликларни бартараф қилиш ҳамда бир вақтнинг ўзида маҳсулот сифатини оширишга ва унинг таннархини пасайтиришга имкон берувчи янги технологик усуллар ва услубларни ишлаб чиқиш долзарб муаммолардан биридир. Бу борада энергия ва ресурс тежамкорлигига ва янги самарали углеродли тикловчиларни излаш ва аниқлаш, уларнинг комбинацияларидан фойдаланиш орқали шихталарнинг тикловчи хусусиятларини яхшилашга йўналтирилган шихтали материалларни эритишга тайёрлаш тамойилларини такомиллаштиришга алоҳида аҳамият берилмоқда.

Бугунги кунда жаҳонда техник кремний ва унинг қотишмаларини ишлаб чиқариш жараёнида кўп миқдордаги экологик зарарли, майда дисперсли, кремний чанглари ҳосил бўлиши билан боғлиқ муаммоларни ҳал қилиш масалалари бўйича кўп илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шунинг учун, шихта материаллари тайёрлашнинг янги усулларини яратиш, альтернатив хомашё материалларидан фойдаланиш ва кремний ишлаб чиқариш техноген чиқиндиларини асосий ишлаб чиқариш жараёнига қайтариш орқали қайта ишлашга ҳамда бир вақтнинг ўзида экологик муаммоларни ҳал этишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар олиб бориш долзарб ҳисобланади.

Республикада илм-фан ривожига, жумладан, техник кремний ва кремнийли қотишмаларни олиш технологиясини ва уларни ишлаб чиқаришни ривожлантиришга алоҳида эътибор берилмоқда. Бу борада мамлакатимизда охириги йилларда кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, Навоий шаҳрида техник кремний, Ангрен ва Бекобод шаҳарларида кремнийли қотишмаларни ишлаб чиқариш амалга оширилди ва юқори сифатли импорт ўрнини босувчи материаллар олишга эришилди. Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда ривожлантириш стратегиясига асосан «иктисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш, иқтисодиёт тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш»¹ вазифалари белгилаб берилган. Бу борада, жумладан, импорт ўрнини босувчи маҳаллий хомашёга асосланган, энергия ва ресурс тежамкорлигига йўналтирилган кремний ва кремнийли қотишмаларни эритишнинг замонавий технологияларини яратиш ҳамда уларни ишлаб чиқаришга қўллаш муҳим аҳамият касб этади.

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

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 7 майдаги ПҚ-3698-сон «Иқтисодиёт тармоқлари ва соҳаларига инновацияларни жорий этиш механизмларини такомиллаштириш бўйича чора-тадбирларни жадаллаштириш тўғрисида»ги ва 2018 йил 14 июлдаги ПҚ-3855-сон «Илмий ва илмий-техникавий фаолият натижаларини тижоратлаштириш самарадорлигини ошириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотларнинг республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг: II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги», VII. «Кимёвий технология ва нанотехнологиялар» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи². Техник кремний ва кремнийли қотишмаларни олишнинг самарали усулларини аниқлаш бўйича илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва университетларида, жумладан, Elkem Group, Norwegian University of Science and Technology (Норвегия), Ferro Atlantica (Испания), Global Speciality Metals (США), Technical University of Berlin, SMS Siemag (Германия), ОК «Русал», Иркутск давлат техника университети (Россия), Украина Миллий металлургия академияси (Украина), Кимё-металлургия институти (Қозоғистон), Ион-плазма ва лазер технологиялари ва Физика-техника институти (Ўзбекистон)да олиб борилмоқда.

Жаҳонда техник кремний ва унинг қотишмаларини олиш технологиясини такомиллаштириш йўналишида қатор, жумладан, қуйидаги натижалар олинган: брикетларнинг мустаҳкамлиги ва уларни ташиш имкониятларини яхшилаш мақсадида термоишлов бериш усуллари ишлаб чиқилган (Global Speciality Metals, АҚШ; Elkem Group, Норвегия); кремний ва ферросилиций олиш учун табиий газ (CH_4 -метан)ни қўллаш имкониятлари тадқиқ қилинган ва ундан кўп босқичли жараёнда фойдаланишга асосланган усул ишлаб чиқилган (Norwegian University of Science and Technology, Норвегия; Ўта тоза материаллар илмий-тадқиқот институти, Россия); гидролизли биокимё ишлаб чиқаришидаги чиқинди – лигнин, тошкўмирларни термик ишлов беришдаги маҳсулотлар ва пиролиз маҳсулотлари – торфли коксларни кремний ва ферросилиций эритишда углеродли тикловчи сифатида қўллаш мумкинлиги кўрсатилган (Иркутск давлат техника университети, Россия); техник кремний олиш учун

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи:

<https://worldwidescience.org/topicpages/s/silicone+based+materials.html>;

<http://adsabs.harvard.edu/abs/>;

<http://www.pyrometallurgy.co.za/InfaconXIII/0283>; <http://pyrometallurgy.co.za/> ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

бойитилган кўмир («дирексил»)дан қаттиқ углеродли тикловчилар ва гуруч шелухаси асосида кремнийуглеродли янги композит материаллар олиш усуллари ишлаб чиқилган (Кимё-металлургия институти, Қозоғистон); Бойсун кони тошкўмиридан фойдаланиб, кули 3% дан кўп бўлмаган ва кремний ишлаб чиқаришга яроқли полукокс олиш мумкинлиги кўрсатилган («Мелма» илмий-ишлаб чиқариш маркази, Ўзбекистон).

Ҳозирда жаҳонда техник кремний ва унинг қотишмаларини олиш технологиясини такомиллаштириш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: янги углеродли тикловчиларни излаш ва уларнинг хоссаларини аниқлаш; кремний ва кремнийли қотишмалар ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган майда дисперсли ва чанг кўринишидаги экологик зарарли чиқиндилардан шихта тайёрлашда фойдаланишнинг усуллари ишлаб чиқиш; хом-ашё ва энергия тежамкорлигига асосланган кремний ва унинг қотишмаларини эритишнинг истиқболли технологияларини ўзлаштириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Электротермик усулда техник кремний олиш бўйича В.Н. Веригин раҳбарлигида бир қатор олимлар тадқиқот ишларини олиб борганлар. Саноат ишлаб чиқариши шароитларида В.А. Ткаченко гуруҳи томонидан турли конлар кварцитлари текширув синовларидан ўтказилган ва ҳар хил углеродли тикловчиларнинг яроқлилик даражалари баҳоланган. Саноат миқёсида бир фазали (Россияда) ҳамда уч фазали (США, Италия, Францияда) очиқ типдаги электр ёйли печларда кремний олиш технологияси ишлаб чиқилган. Норвегиянинг «Элкем» компанияси, Фан ва технологиялар университети, Россиянинг «Русал» компанияси ва Иркутск давлат техник университети, Хитойнинг Канминг Фан ва технологиялари университетларида рудатикловчи электропечлар конструкцияларини, кремний ва унинг қотишмаларини эритиш технологиясини такомиллаштириш бўйича фаол назарий ва экспериментал тадқиқотлар олиб борилган.

J.Vangskasen, M. Tangstad (Норвегия), W. Lin, L.Man, D.Yongnian, M.Wenhui (Китай), В. Хакалаше (Жанубий Африка), К.Ёлкин, Н. Толстогузов, О.Катков, Б.Зельберглар (Россия) кремний ва юқори кремнийли қотишмаларни тиклаш механизми устида тадқиқотлар олиб боришган, шихтани эритиш ва уни печга юклашнинг янги усуллари, шу жумладан кварцит, тикловчи ва дарахт қипиғидан иборат аралашмани ичи ковак электрод орқали печга юклаш усуллари ишлаб чиққанлар.

P.Hannesson, V.Sigurdsson, V.Kloytz, Н. Немчинова, Л.Черняховскийлар кремнийли ферроқотишмаларни эритишда кўпроқ қўлланиладиган рудауглеродли композицияларни олиш, яъни шихтани ташкил қилувчи руда ва углеродни биргаликда бўлаклаш усуллари ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар ўтказганлар. Ўтказилган тадқиқотлар шихта материалларини эритишга тайёрлаш усуллари ҳамда кремний ва кремнийли қотишмаларни олиш жараёнини кремний ва углеродли материаллардан тайёрланган брикетлардан фойдаланиш орқали оптималлаштиришга имкон берган.

Ўзбекистонлик олимлар Абдурахманов К.П., Абдурахманов Б.М. ва Костецкий М.А. томонидан маҳаллий хомашёдан фойдаланиб, техник кремний олиш имкониятлари электр ёйли печда олиб борилган тажрибалар асосида ўрганилган ва Kp1 маркали техник кремний олиш мумкинлиги аниқланган.

Мавжуд ишлар таҳлиliga кўра, кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш технологиясини такомиллаштириш масалалари амалда ҳал қилинмаган. Ҳозиргача технологик жараёнда кўп энергия сарфланиши, қиммат хомашё материалларини талаб қилиниши ва шихта материалларини эритишга такомиллашмаган тайёрлаш тизимидан фойдаланиш давом этиб келмоқда. Ишлаб чиқариш жараёнида ҳосил бўладиган катта миқдордаги чиқиндиларни қайта ишлаш йўлга қўйилмаган ва бу ўз навбатида ишлаб чиқаришнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларига салбий таъсир кўрсатади. Бу эса кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш технологиясини такомиллаштириш бўйича тадқиқотларнинг етарли эмаслиги билан изоҳланиб, ушбу диссертация ишининг мазмуни ҳам шунга бағишланади.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ион-плазма ва лазер технологиялари институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг ФА-ИК-918 (2011-2012 йй.) «Қуёш энергияси учун ноанъанавий тикловчилардан фойдаланиб юқори тозаликдаги техник кремний олиш технологияси», ИК-2013-1 (2013-2014 йй.) «Электр ёйли печда маҳаллий кварц қумидан техник кремний олиш технологиясини ўзлаштириш», ФА-И7-Ф007 (2015-2016 йй.) «Брикетланган шихтадан фойдаланиб ферросилиций олиш технологияси», ИОТ-2017-2-9 (2017-2018 йй.) «Ферросилиций ва кремний ишлаб чиқаришдаги майда дисперсли чиқиндиларни жараёнга қайтариш технологиясини ўзлаштириш» илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади маҳаллий хомашё манбаалари ва альтернатив углерод тикловчилардан фойдаланган ҳолда руда тикловчи электр ёйли печда техник кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш технологиясини такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

техник кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш тажрибаларини ўтказиш учун зарур техник инфратузилмалар ва тажрибавий рудатикловчи доимий токли электр ёйли печни ишлаб чиқиш ва яратиш;

Ўзбекистоннинг минерал хомашё базасини таҳлил қилиш ва юқори маркали техник кремний ишлаб чиқаришга яроқли таркибида кремний бўлган хом-ашёларни тажриба йўли билан аниқлаш, кремний ва унинг қотишмаларини эритишда ишлатиладиган анъанавий углеродли тикловчиларни тўла ёки қисман алмаштириш имконини берувчи алтернатив углеродли тикловчиларни излаш;

кремний ва унинг қотишмаларини ишлаб чиқариш учун кремнийли хомашёларнинг янги манбааларини аниқлаш, маҳаллий кварц қумларининг

асосий физик-кимёвий тавсифларини аниқлаш ва уларни самарали ҳамда энергия тежамкор бойитиш усулларини танлаш;

боғловчи модда асосида маҳаллий кварц кумлари ва углеродли тикловчиларни брикетлаш технологияларини ишлаб чиқиш ҳамда техник кремний ва кремнийли қотишмаларни электр ёйли печларда эритишга яроқли брикетларни олиш ва уларни синовдан ўтказиш;

табiiй газни (метанни) асосий углеродли тикловчи сифатида электр ёйли печга етказиб бериш усулини ишлаб чиқиш;

маҳаллий хомашё манбаалари ва алтернатив углеродли тикловчилар асосида техник кремний ва кремнийли қотишмаларни (турли маркали ферросилиций) олишнинг карботермик жараёнидаги технологик операцияларни такомиллаштириш;

Ангрен шаҳри ферросилиций ишлаб чиқариш заводи майда дисперсли чиқиндиларининг асосий хусусиятлари ва тавсифларини ўрганиш;

ферросилиций ишлаб чиқаришдаги майда дисперсли чиқиндиларни брикетлаш технологиясини ишлаб чиқиш ва брикетлар тайёрлаш;

майда дисперсли чиқиндилардан тайёрланган брикетланган шихтадан фойдаланиб техник кремний и кремнийли қотишмаларни эритиш технологиясини ишлаб чиқиш ва синовдан ўтказиш.

Тадқиқотнинг объекти таркибида кремнезём бўлган Ўзбекистоннинг турли конларига тегишли томирли кварц ва кварц кумлари кўринишидаги хомашё, углеродли тикловчилар, углеродли тикловчи ва кварцдан иборат брикетлар, кремний и ферросилиций ишлаб чиқаришдаги саноат чиқиндилари ва уларни ташкил этувчи брикетлар ҳамда ўзгармас токли электр ёйли печдан иборат.

Тадқиқотнинг предмети техник кремний ва кремнийли қотишмаларни тиклашнинг физик-кимёвий жараёнлари, таркибида углерод ва кремнезем бўлган материаллардан брикетлар тайёрлаш ва уларни синовдан ўтказиш, брикетларнинг физик ва механик хусусиятлари, брикетланган шихталарни электр ёйли эритиш жараёнлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида масс-спектрометрия ва рентгенофлуоресцентция усулларида ва майда дисперсли ҳамда майда фракцияли сочилувчи материалларни элакдан ўтказиш орқали таҳлил қилиш усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

печнинг электр ёйи ёниш зонасига метанни узатиб беришни назарда тутувчи кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш усули ишлаб чиқилган;

боғловчи сифатида натрийли суюқ шиша ишлатиб, маҳаллий кварц кумлари ва углеродли тикловчилардан ташкил топган брикетланган шихтадан фойдаланиш асосида кремний ва унинг қотишмаларини электр ёйли эритиш технологияси ишлаб чиқилган;

илк бор маҳаллий кварц томиридан тозалиги 99,0% дан кам бўлмаган олий маркадаги техник кремний олиш мумкинлиги асосланган;

анъанавий тикловчиларни қўллаб, бўлакчи шихтадан фойдаланишга асосланган технологияга нисбатан, ишлаб чиқилган технология – брикетланган шихта асосида техник кремний ва ферросилиций эритиш жараёнида солиштирма электр энергия сарфини, мос равишда, 8–10 % ва 16–20 % га камайтириши аниқланган;

майда дисперсли шихта чиқиндилари ҳамда кремний ва кремнийли қотишмалар ишлаб чиқаришнинг газ тозалаш системаси чанги – микрокремнеземни брикетлаш технологияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотларнинг амалий натижалари куйидагилардан иборат:

техник кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш учун зарур техник инфратузилмалар ва тажрибавий рудатикловчи ўзгармас тоқли электр ёйли печ ишлаб чиқилган;

боғловчи модда асосида маҳаллий кварц кумлари, майда дисперсли углеродли тикловчилар ва микрокремнеземни брикетлаш технологияси ишлаб чиқилган;

кремний ва унинг қотишмаларини ишлаб чиқариш учун маҳаллий кварц кумларидан фойдаланиш имконияти асосланган;

брикетлаш усулидан саноатнинг металлургия корхоналарида руда концентратларини эритиш технологияларини ишлаб чиқишда ва тўпланиб қолган ҳамда мунтазам пайдо бўлиб турадиган чиқиндилардан металлургияда хомашё сифатида фойдаланиш мумкинлиги асосланган.

Олинган натижаларнинг ишончлилиги металлургиядаги замонавий усул ва ёндошувлардан фойдаланилганлиги билан асосланади. Ишнинг ҳар бир босқичида юқори аниқликдаги замонавий аналитик қурилмалардан фойдаланилган ҳолда тадқиқотлар ва тажриба шарт-шароитлари батафсил таҳлил қилинган. Олинган натижалар ва ҳулосалар руда тикловчи печларда кремний ва унинг қотишмаларини карботермик тиклашга бағишланган назарий ишларнинг асосий ҳолатларига асосланган бўлиб, бошқа муаллифларнинг олган натижалари билан тўлиқ мос тушади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти кремний ва унинг қотишмаларини маҳаллий кварц кумлари, кремний ва унинг қотишмалари ишлаб чиқаришида пайдо бўладиган чиқиндилардан тайёрланган шихталарни брикетлашдан фойдаланган ҳолда кремний ва ферросилицийни эритишнинг янги технологияларини ишлаб чиқилганлиги ва асосланганлиги, ноанъанавий тикловчи сифатида табиий газдан фойдаланиш мумкинлиги илмий асослаб берилганлиги, шунингдек кремний ва кремнийли қотишмаларни карботермик тиклаш жараёнларини жиддий яхшилаш ва ишлаб чиқилган технологиялардан назарий тадқиқотларда фойдаланиш мумкинлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган майда дисперсли чиқиндиларни брикетлаш технологияси металлургия, тоғ жинсларини қазиб олиш саноати ва энергетик-ёнилғи комплексларида пайдо бўладиган саноат чиқиндиларини хомашё сифатида ишлаб чиқаришга қайтариш мумкинлиги билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Техник кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш технологияларини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

техник кремний олиш усули учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти (№IAP 05440, 2014 й.) олинган. Натижада кремний олишнинг янги технологияси қиммат кварцитлар ва томир кварцини ўрнига маҳаллий кварц кумларидан фойдаланиш, импорт қилинувчи анъанавий углеродли тикловчиларни 80 % ни табиий газга алмаштириш ва солиштирма электр энергия сарфини 8–10 % га камайтириш имконини берган;

ферросилицийни эритиш усули учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти (№IAP 05557, 2015 й.) олинган. Натижада ферросилиций олишнинг янги технологияси қиммат кремнийли хомашё ва углеродли тикловчилар ўрнига кремний ва кремнийли қотишмалар ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган майда дисперсли чиқиндилардан фойдаланиш, углеродли тикловчиларни 80 % ни табиий газга алмаштириш ва солиштирма электр энергия сарфини 16–20 % га камайтириш имконини берган;

ферросилицийни янги эритиш усули «Uz-Shindong Silicon» кўшма корхонасининг Ангрен шаҳридаги ферросилиций ишлаб чиқариш заводида жорий этилган («Uz-Shindong Silicon» Ўзбекистон Корея кўшма корхонасининг 2018 йил 5 апрелдаги 91–Т–сон маълумотномаси). Натижада янги эритиш усули 1 т маҳсулот ишлаб чиқариш учун 205 кг кварцит ва 140 кг коксни тежаш имконини берган;

кремний эритиш технологияси Ўзбекистон Республикаси Давлат геология қўмитаси тизимида амалиётга жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Давлат геология қўмитасининг 2018 йил 2 апрелдаги 06–906–сон маълумотномаси). Натижада «Оқбуйро» кварц томири таркиби 99,2– 99,3% бўлган олий марказдаги техник кремний ишлаб чиқариш учун яроқлилиги тўғрисида хулоса қилиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 10 та халқаро ва 6 та республика илмий-амалий анжуманларда маъруза кўринишида баён этилган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 33 та иш эълон қилинган. Шулардан 13 та илмий мақола Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан докторлик диссертациясининг асосий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган журналларда, шу жумладан 2 таси халқаро журналларда, 11 таси республика миқёсидаги журналларда нашр этилган, 2 та ихтиро учун патент олинган ва 2 та монография чоп этирилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 198 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ҳамда предмети тавсифланган. Тадқиқотнинг илмий янгилиги, олинган натижаларнинг илмий-амалий аҳамияти баён этилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, натижаларнинг жорий этилиши, ишнинг апробацияси ва диссертациянинг тузилиши бўйича қисқа маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Техник кремний ва кремнийли қотишмаларни олиш технологияси**» деб номланган биринчи бобида техник кремний и кремнийли қотишмаларни эритиш технологияларини такомиллаштириш соҳаси бўйича адабиётларда келтирилган илмий тадқиқот натижалари таҳлил қилинган. Кремний и кремний асосли қотишмаларни эритиш технологияларининг ҳали ҳануз такомиллаштирилмаганлиги ва уларда қатор ҳал қилинмаган муаммолар мавжудлиги кўрсатиб берилган.

Технологияларни такомиллаштириш учун қуйидаги вазифаларни амалга ошириш зарур деб хулоса қилинган:

юқори сифатли техник кремний олиш учун яроқли ҳамда техник кремний ва кремнийли қотишмаларни саноатда ишлаб чиқариш учун маҳаллий хомашё базаларини кенгайтириш, янги манбааларини излаш;

анъанавий қиммат ва четдан келтириладиган углеродли тикловчиларни алмаштириш имконини берувчи самарали альтернатив углеродли тикловчиларни излаш;

аниқланган хомашёларнинг янги манбаалари асосида кремнеземни карботермик тиклашнинг технологик операцияларини такомиллаштириш.

Диссертациянинг «**Экспериментал технологик база, тадқиқотнинг объектлари, асбоб-ускуналар ва тадқиқотнинг усуллари**» деб номланган иккинчи бобида тажриба тадқиқотларини ўтказиш учун объектлар танлаш баён қилинган ва асосланган. Яратилган 125 кВт қувватли ўзгармас токда ишловчи электр ёйли печ экспериментал қурилмасининг тузилиши ва ишлаш тамойиллари тўғрисида маълумотлар келтирилган, уни йиғиш ва ишга туширишнинг ўзига хос хусусиятлари баён қилинган. Экспериментал қурилманинг конструкцияси совутиладиган ёпиқ қопқоқли ва остки таглигидан ток ўтказувчи ўзгармас токли катталаштирилган электр ёйли лаборатория печи кўринишида қилинган. Бундай конструкция ўзгарувчан токли очиқ типдаги ёйли печларга қараганда бир қатор афзалликларга эга бўлиб, шихта материаллари ва энергия сарфини камайтириш имконини беради. Кремний ва унинг қотишмаларини электр ёйли печларда эритиш жараёни хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда тажрибалар ўтказиш учун технологик инфратузилма тайёрланди. Шундан келиб чиққан ҳолда технологик соҳа қурилмалари қуйидагилардан ташкил топди: электр ёйли печ, печ трансформатори ва ўзгармас токни тўғирлаш блоки, сув билан совутиш тизими, табиий газни узатиш учун газ тақсимлагичнинг компрессор тармоқлари ва вентиляция. Яратилган экспериментал қурилманинг умумий кўриниши 1-расмда келтирилган.

Печда кремнезем ва метан реакциясини самарали амалга ошириш учун метанни бевосита печнинг юқори температурали қисмига етказиб бериш зарур. Шундан келиб чиқиб, ичи ковак графитли юқори электрод орқали метанни электр ёйли печнинг ёниш соҳасига узатиш усули амалга оширилди.

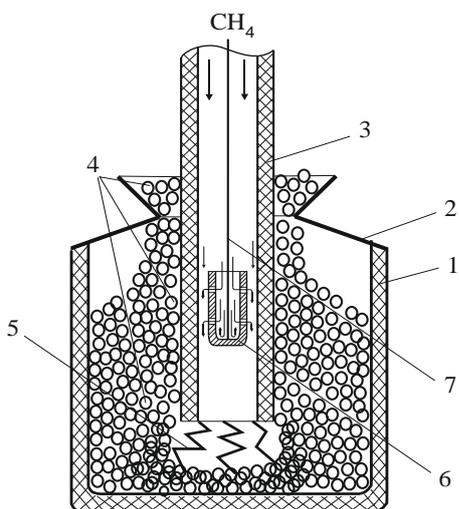


1-расм. Экспериментал қурилманинг умумий кўриниши

Ишлаб чиқилган усулнинг янги ва энг муҳим элементи ичи ковак графитли электроднинг марказий тирқиши орқали печга узатиладиган метаннинг парчаланишидир. Бу усулнинг асоси никелдан ясалган катализаторнинг қизиган сирти билан газнинг ўзаро таъсирлашиши натижасида метаннинг водород ва углеродга парчаланиш физик ҳодисасидир. Айни шу физик ҳодиса ушбу усулда қўлланилган бўлиб, у туфайли метан (CH_4) нинг реакция қобиляти ортади. Углерод ва водород печга кириб, асосий (SiO_2 , SiO , SiC) ва ихтиёрий таркибида кислород бўлган, электр ёйли жараёнда ҳосил бўладиган технологик жараёнлар комплекслари билан ўзаро таъсирлашади.

2-расмда метандан фойдаланган ҳолда кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш амалга оширилган электр ёйли печнинг схемаси келтирилган. Метанни узатиб бериш ва уни пуркалаши металл трос ёрдамида графит электроди ўқи бўйлаб силжиш имкониятига эга никель катализатор орқали амалга оширилган. Метаннинг ўзига хос ҳаракати ингичка стрелкалар ёрдамида кўрсатилган.

Никелли катализатор температурасини бошқариш уни ичи ковак графитли электрод ўқи бўйлаб оддий силжитиш орқали амалга оширилади. Ичи ковак графитли электрод ичида жойлашган берк таглик ва ён томонларида тирқишлар мавжуд бўлган ичи ковак цилиндрик шаклда никелдан тайёрланган катализатор CH_4 ичида қолади, бу эса қиздирилган катализаторнинг катта сиртига CH_4 молекулалари диссоциациялари маҳсулотларининг бевосита тегиб туришини таъминлайди. Кремнеземнинг тикланиш реакцияларида CH_4 молекулаларининг парчаланишида углерод атомларидан ташқари яна тўртта водород атоми қатнашади. CH_4 нинг юқори ионлашиш қобиляти айнан шу билан тушунтирилади, бу эса ушбу усулни амалга оширишда таркибида углерод бўлган кўплаб моддалардан фойдаланиш имконини беради.



2-расм. Печнинг юқори температурали соҳасига табиий газни етказиб бериш усулини акс эттирувчи электр ёйли печ схемаси:

1– печ корпуси, 2– печ қопқоғи, 3 – диаметри 76 мм бўлган ичи бўш графитли электрод, 4 – шихта (брикетлар), 5 – электр ёйининг ёниш соҳаси, 6 – никелдан ясалган ионизатор, 7– металл трос.

Ишлаб чиқилган технологияни саноатда синовдан ўтказишда фойдаланилган Ангрен шаҳридаги «Uz-Shindong Silicon» МЧЖ қўшма корхонаси заводига тегишли саноат рудатикловчи электрпечининг асосий тавсифлари келтирилган ҳамда шихталарни тайёрлаш операциялари ва эритиш жараёнининг ўзи баён қилинган.

Диссертация ишида ИСР ва рентгенофлуоресцент масс-спектрометрлардан фойдаланиб, замонавий таҳлил қилиш имкониятига эга бўлган Давлат Геология қўмитасининг «Марказий лаборатория» ва Навоий тоғ-кон металлургия комбинатининг аккредитациядан ўтган лабораторияларида кварц кумлари, микрокремнезем ва олинган кремний ҳамда унинг қотишмаларининг кимёвий таҳлили натижалари келтирилган. Кварц кумларининг гранулометриқ таркибини аниқлашда элак усулидан фойдаланилган. Тайёрланган брикетлар лаборатория шароитида ҳамда мустақил равишда «Стром» илмий- текшириш ва синовдан ўтказиш Марказининг аккредитланган лабораториясида синовлардан ўтказилган.

«Ўзбекистон Республикасида техник кремний ва кремнийли қотишмаларни ишлаб чиқиш хом-ашё базаси» деб номланган учинчи бобда дунё амалиётида таърифланган хомашёларга қўйиладиган асосий талаблар таҳлили билан бир қаторда кварц, кварцит, кварц кумлари ва углеородли тикловчилар олинадиган конларнинг асосий тавсифларини ўрганиш бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари келтирилган. Ушбу натижалар техник кремний ва кремнийли қотишмалар олишга яроқли таркибида кремний бўлган хомашё манбааларининг Ўзбекистон геологлари билан ҳамкорликда ўтказилган кенг қамровли таҳлил натижаларига асосланган. Олиб борилган катта ҳажмдаги тоғ қовлаш, бурғулаш ва лаборатория ишлари шуни кўрсатдики, ўтилган тоғларда кварц хомашёсини 115 та кварц томирларида P_1 ва P_2 категориялари бўйича ресурслар башоратини ҳисоблашга ва баҳолашга имкон берди. Юқорида қайд қилинган тоғлардаги кварц хомашёларининг ресурслар башорати ҳаммаси бўлиб 21,2 млн.тоннани ташкил қилади. Геологлар билан ҳамкорликда олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, саноатда ишлатилиши учун энг қулай ва истиқболли ресурслар башорати P_1 ва P_2 категориялари бўйича 7,6 млн.

тоннани ташкил этувчи Қоратепа тоғларида ўта тоза кварц томирлари борлиги аниқланди. Қоратепа тоғининг шимолида жойлашган №1 «Оқбуйро» кварц томирлари таркибида 99% дан юқори SiO_2 га эга бўлган тоза кварц хомашёси эканлиги аниқланди.

Оқбуйронинг кварц томирларидан олинган хомашё сифатини баҳолаш фақатгина кимёвий ва спектрал таҳлил усуллари билан эмас, балки ҳар 100 кг дан олинган технологик намуналарида кремний эритиш орқали ҳам баҳоланди. Кремнийни эритиш натижалари асосида ватанимиздаги кварц хомашёсидан, мазкур диссертациянинг бешинчи бобида баён этилган, юқори маркали KpO_0 техник кремний эритиш имкони кўрсатиб берилди.

Кремний ва унинг қотишмаларини ишлаб чиқариш маҳаллий хомашё базасини кварц томирлари ва кварцитлардан фойдаланиш билан бир қаторда маҳаллий кварц қумларини ҳам жалб қилиб кенгайтириш зарурияти қўйидаги ҳолатлардан келиб чиқади: биринчидан, қатор маҳаллий кварц қумлари юқори тозалikka эга, бу эса юқори маркали кремнийни эритиб олиш ва уни умумий ишлаб чиқаришида ҳам ўта муҳим. Иккинчидан, томир кварцларини қазиб олишга нисбатан, кварц қумларини қазиб олиш анчагина соддароқ усулларни талаб қилади. Учинчидан, Ўзбекистонда 96 тадан кўпроқ кварц ва кварц-далашпатли конлари кўринишида ғоят катта миқдорда табиий манбаалар мавжуд. Айниқса, қизилқум тоғ-кон ҳудудидаги кварц қумлари конлари катта қизиқиш ўйғотади, чунки улар таркибида кремний икки оксиди 98-99 % ни ташкил қилади. Республика саноат корхоналарининг яқинлиги ва шунингдек ташқи йўлларнинг қулайлиги бу кварц қумларидан кремний ишлаб чиқаришда фойдаланиш имкониятларини оширади. Шундан келиб чиқиб, республика геологлари билан ҳамкорликда Навоий вилоятида жойлашган Жерой кони кварц қумлари ҳар томонлама ўрганилди. Коннинг захираси 26 млн.тоннани ташкил қилади. Тадқиқотлар бу қумлардан кремний ва кремнийли ферроқотишма - ферросилиций олиш мақсадида ўтказилди. Қумлар элаклаш, фракцияларга ажратиш ва ювиш каби содда ва тежамкор усулларда бойитилди.

Олиб борилган тадқиқотлар бойитишнинг оддий усуллари қўлланилганидан сўнг Жерой кварц қумларини SiO_2 бўйича 99,2 % гача тозалаш мумкинлигини кўрсатди. Кварц қумларининг доналарини тузилиши ва грануламетриқ таркиби ҳам ўрганилди. Ушбу тадқиқот натижалари бўйича Жерой қумларининг 85-90 фоизи 0,3-0,5 мм ли заррачалардан иборат эканлиги аниқланди. Бу жойлардаги қумларда 15 % доначалар бурчакли, 10 % доначалар кесилган, 75 % - маълум нуқсонлар билан ўралган ҳолда бўлиши аниқланди. Заррачаларнинг нотозалиги сиртини қопланганлиги билан характерланади.

Углеродли тикловчилар кремний ва кремний асосли қотишмаларни олишда карботермик жараённинг муҳим ва ажратиб бўлмайдиган компоненти ҳисобланади. Ўзбекистон Республикасининг металлургия ишлаб чиқариш корхоналари четдан харид қилиб олиб келинадиган кокс ва коксикларни истемол қилади. Лекин республикада кремний ва унинг қотишмаларини, хусусан ферросилицийни ишлаб чиқаришда фойдаланса

бўладиган углеродли тикловчиларнинг бошқа турлари мавжуд. Масалан, Фарғона нефтни қайта ишлаш заводи нефт коксларини ишлаб чиқаради. Шунингдек тошкўмир қазиб олинган Бойсун ва Шарғун конлари мавжуд. Республикада мавжуд тикловчилар тавсифларини ўрганиш асосида улардан кремний ва кремнийли тикловчиларни эритишда фойдаланиш даражаси таҳлил қилинди. Фарғона нефт кокси таркибида олтингугуртнинг масса улуши > 6,0 %, умумий намлиги > 6 % ва бошқа қолдиқлар масса улушлари 70 % эканлиги аниқланди ва бу кўрсаткичлар уларнинг кремний ва кремнийли қотишмаларини эритишда яроқсиз эканлигини кўрсатади. Шарғун кўмири 25,5-30 % юқори даражада кулга эга бўлганлиги сабабли кремний ишлаб чиқариш саноати учун яроқсиздир. Ишлаб чиқариш ҳажми 2015 йилда 124 минг тоннани ташкил этган Бойсун кўмирлари кам куллилиги билан фарқ қилади. Уларни 550 °C ҳароратда ҳаво киритмасдан куйдириш орқали куллилиги 2,5% бўлган яримкўмирли кокс олиш мумкин ва бу кремний ва ферросилицийларни эритишга яроқлидир.

Энг истиқболли углеродли тикловчи Ўзбекистон ҳудудида етарлича катта захирага эга бўлган табиий газ (CH₄, метан) ҳисобланади. Маҳаллий табиий газ таркибининг кимёвий таҳлили шуни кўрсатадики, у 94% метан 3,29 % этан ва 0,5% пропандан иборат бўлиб, унинг деярли барча компонентлари кремнезем учун углеродли тикловчи бўла олади.

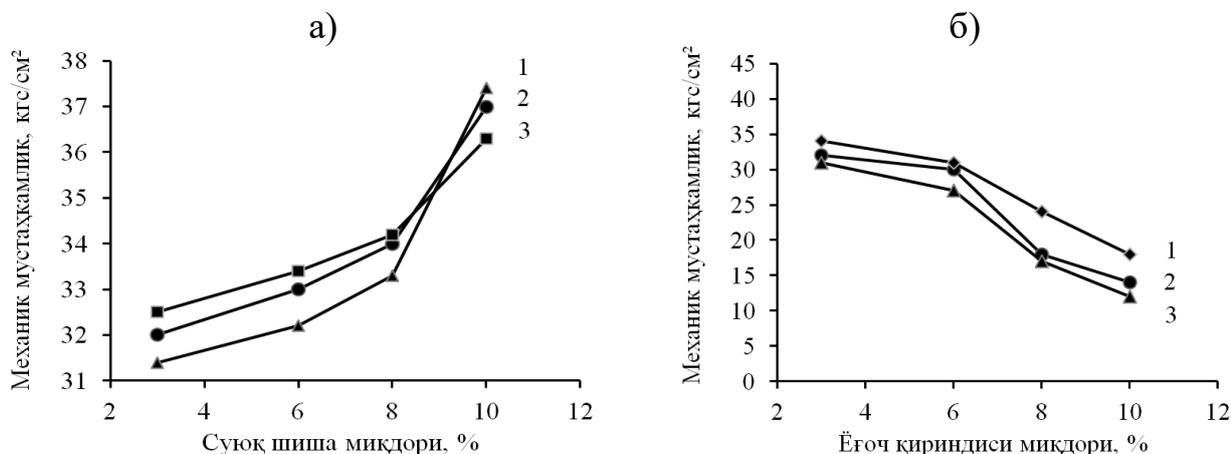
CH₄ нинг юқори даражадаги тозаллиги, куллилигининг йўқлиги ва реакцияга киришиш қобилятининг юқорилиги табиий газдан, бизнинг синов тажрибаларимизнинг кўрсатишича, энг юқори маркали кремний ва ҳар қандай маркадаги кремнийли ферроқотишмалар олишда фойдаланиш имконини беради.

«Кварц қумлари ва кремний ва кремний қотишмаларини ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган чиқиндилар асосида брикетланган шихтани тайёрлаш технологиясини ишлаб чиқиш» деб номланган тўртинчи бобда натрийли суюқ шиша асосида майдадисперсли ва майдафракцияли материалларни металлургик қайта ишлаш учун брикетлашнинг янги методикаси ишлаб чиқилди. Электр ёйли печда эритиш учун керакли характеристикали брикетларни олиш учун экспериментлар ўтказилди.

Маҳаллий кварц қумларини брикетлаш ва углеродли тикловчиларни қўшиб ғовакли ва бир вақтнинг ўзида мустаҳкам тузилмалли брикетларни олиш учун қуйидаги турли вариантлар ўрганиб чиқилди: техник углерод, ёғоч қириндилари, кокс, техник кремний ва бирорта ҳам компонент қўшмасдан, фақат кварц қумдан иборат брикетлар тайёрланди. Боғловчи сифатида суюқ шишадан фойдаланган ҳолда брикетлаш методикасини ишлаб чиқишда биз структура ҳосил қилувчи жараёнлар боришини суюқ ва қаттиқ фаза ўзаро контактлашган вақтида улар чегараларидаги физик-кимёвий жараёнлар белгилаб беришини ва аралашмани зичлаштириш интенсивлиги ва пресслаш даврида зарраларнинг контактлашиш шартларига боғлиқ эканлигини инобатга олдик.

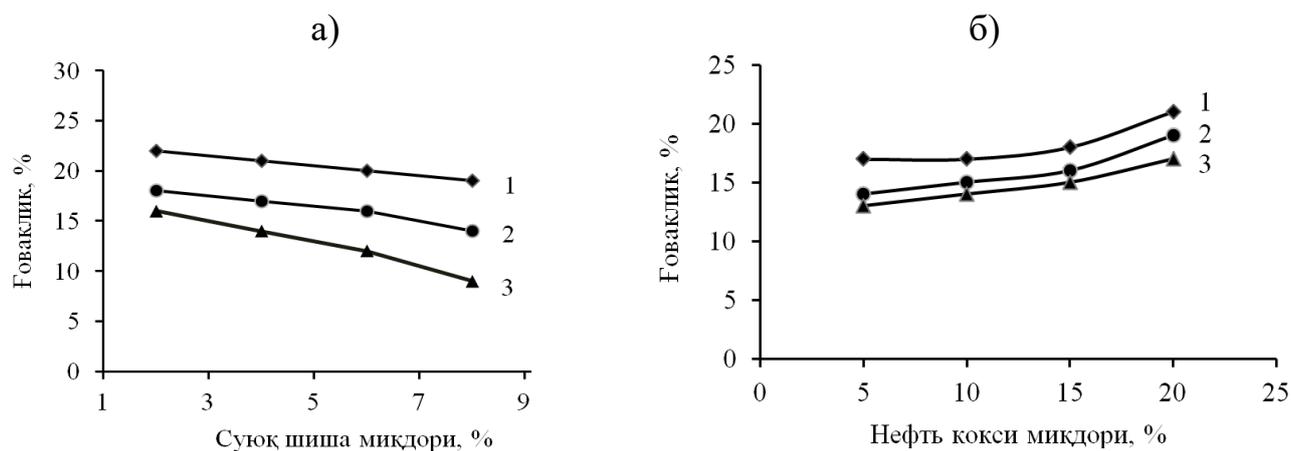
Ўтказилган тадқиқотлар тайёрланган брикетнинг мустаҳкамлиги суюқ шиша ва брикет компонентларининг миқдорига жиддий боғлиқлигини

кўрсатди. Тадқиқотлар натижасида аниқланган брикет мустаҳкамлигининг суюқ шиша ва дарахт қириндилари миқдориға боғлиқлиги 3-расмда келтирилган (расмдаги ҳар бир эгри чизиқ алоҳида экспериментга тегишли).



Суюқ шиша миқдори 3 дан 10 % гача ошганда, брикет мустаҳкамлиги 7-8 % га ошиши 3а-расмдан кўриниб турибди, шу билан бир қаторда, шундай брикетга уни ғовақлигини ошириш учун, масалан, ёғоч қириндилари қўшилганда, брикет мустаҳкамлиги 2,3 мартага камаяди.

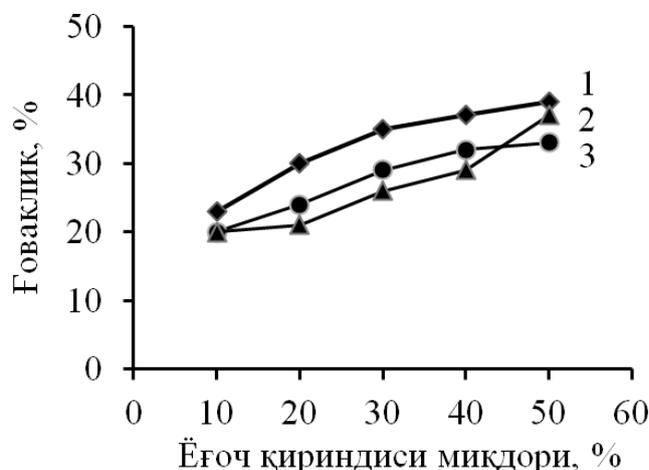
Брикет ғовақлигига суюқ шиша миқдори, углеродли тикловчилар ва уларнинг фракциялари ўлчамларининг таъсирини ўрганиш бўйича тадқиқотлар ўтказилди. 4-расмда тайёрланган брикетлар ғовақлигининг суюқ шиша ва углеродли тикловчилар миқдориға боғлиқлиги келтирилган.



Брикетларда суюқ шиша миқдорининг 2 дан 8 % га ошиши билан уларнинг ғоваклиги 9 дан 16% гача пасаяди (4а-расм, 3-эгри чизиқ), шу билан бир қаторда худди шу брикетга 40% техник углерод кўшилганда ғоваклик 19 дан 21 % гача камаяди (4а-расм, 1-эгри чизиқ).

Бу натижалар брикетда суюқ шиша миқдорини кўпайтириш унинг ғоваклигини ошишига олиб келмаслигини кўрсатади. Шу билан бирга, брикетга нефт кокси (4б- расм) ва дарахт қириндиларини (5- расм) кўшиб, унинг ғоваклигини ошишига эришилади.

Ушбу тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, брикетларнинг ғоваклигини уларга кўшиладиган углеродли материал фракцияларининг размери орқали афзалроқ томонга ўзгартириш мумкин. Тикловчиларнинг фракция ўлчамлари 0,063 дан 1,5 мм гача ошириб борилганда брикет ғоваклиги 13-17% дан (4б- расм) 37-40% гача (5-расм) ошиш тенденцияси кузатилади.



5-расм. Брикет ғоваклигининг дарахт қириндилари миқдорига боғлиқлиги:

1 – брикет кварц куми ва 0,4÷0,6 мм фракцияли дарахт қириндисидан ташкил топган; 2 – 0,063÷0,4 мм; 3- 0,063÷1,5 мм.

Тадқиқот натижалари бўйича эришилган ғоваклик 40% ни ташкил қилади. Бундай етарли даражада юқори ғоваклик газўтказувчанликка, барқарор электр режимига ижобий таъсир кўрсатади ва электр энергия сарфини камайишига имконият тўғдиради.

3 % суюқ шиша кўшилиб, кварц кумларидан тайёрланган брикетлар мустаҳкамлиги, ғоваклиги ва термик турғунлиги бўйича энг оптимал бўлиб, электр ёйли печда эритиш шартларига жавоб беради ва иқтисодий нуқтаи назардан маъқул вариантдир. 1- жадвалда ФС65 ва ФС75 маркали ферросилиций олиш учун тайёрланган брикетларнинг физик-механик тавсифлари келтирилган. Техник кремний ва ферросилицийни электр ёйли печда эритиш орқали тайёрланган брикетларнинг электроэритиш жараёнларига яроқлилиги экспериментал тасдиқланди.

Техник кремний ва кремний қотишмаларини ишлаб чиқариш жараёни кўп миқдорда чанг кўринишидаги чиқинди – микрокремнезем ҳосил бўлиши билан характерланади.

Бизнинг фикримизга кўра, микрокремнеземни бевосита кремний ва кремнийли қотишмалар ишлаб чиқариш жараёнига шихтанинг кремнеземли асосий муҳим ташкил этувчиларидан бири сифатида қайтариш бу

махсулотларни ишлаб чиқариш рентабеллигини ошириш ва бир вақтнинг ўзида у билан боғлиқ бўлган экологик муаммоларни бартараф қилишга имкон беради.

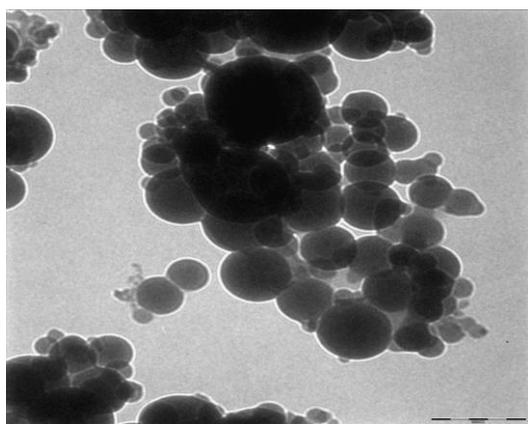
1 жадвал

ФС65 ва ФС75 маркали ферросилиций эритиш учун тайёрланган брикетларнинг физик-механик параметрлари синови натижалари

Физик-механик тавсифлари	КҚ ¹	ФС65		ФС75	
		КП+Кокс ¹	КП+Кокс+Fe ¹	КП+Кокс	КП+Кокс+Fe
Механик мустаҳкамлик, кг·с/см ²	280	220	170	200	130
Говаклик, %	20,2	39,7	30,9	38,6	27,9
Термик мустаҳкамлик, °С	1450	1350	1300	1350	1300
Ташлашга мустаҳкамлик, %	100 ²	100	100	100	100

Изоҳ: ¹ - КҚ – кварц қуми; КҚ+Кокс – брикет кварц қуми ва кокс майдасидан иборат; КҚ+Кокс+Fe - брикет кварц қуми, кокс майдаси, темир қипиғидан ташкил топган. ² – «100» брикет 2 м баландликдан метал полга ташланганда майда ҳосил бўлмаслигини ва ташлашга мустаҳкамлик – 100 % эканлигини англатади.

Микрокремнеземни утилизация қилишнинг энг маъқул ечимини топиш учун, масалан, брикетлаш орқали, унинг тавсифлари ўрганилган. Ангрен шаҳридаги «Uz-Shindong Silicon» МЧЖ ҚҚ заводи ишлаб чиқариш чиқиндиларининг электрон микроскопда олинган тузилиши (6-расм) ва гранулометрик таркибини ўрганиш натижалари шуни кўрсатдики, микрокремнеземнинг асосий қисми (91%) ўлчами 0,1-1 мкм бўлган сфероидлашган SiO₂ заррачалардан иборат.



6-расм. Ангрен заводи микрокремнеземининг ёритиш электрон микроскопида олинган тасвири

Натрийли суяқ шиша асосида кокс қолдиқлари билан брикетлаш жараёнида эътиборга олинган микрокремнеземнинг гранулометрик таркиби 2-жадвалда, унинг кимёвий таркиби эса 3-жадвалда келтирилган.

Микрокремнезем таркибининг кимёвий таҳлили шуни кўрсатдики, у асосан SiO₂ дан иборат бўлиб (3-жадвал), бу эса ушбу турдаги чиқиндини ишлаб чиқаришга қайтариш мақсадга мувофиқлигини тасдиқлайди.

2-жадвал

Ферросилиций ишлаб чиқариш бўйича Ангрен шахридаги «Uz-Shindong Silicon» ҚҚ заводи микрокремнеземининг гранулометрик таркиби

Зарра размери, мкм	0.1	0.1–0.2	0.2–0.4	0.4–1.0	1.0–2.5	2.5
Таркиби, %	3.7	32.2	34.1	24.6	4.0	1.4

3-жадвал

Микрокремнеземининг кимёвий таркиби, %

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	MnO
92,7	1,49	1,26	1,18	0,95	0,68	0,59	0,12

«Узметкомбинат» АЖ ишлаб чиқариш шароитида Ангрен шахридаги ферросилиций ишлаб чиқариш заводининг майда дисперсли чиқиндилари, шу жумладан микрокремнеземдан брикетлар тайёрланди. «Стром» илмий-тадқиқот ва синов марказида ўтказилган синов тажрибалари брикетларнинг сиқилиш ҳолатида механик мустаҳкамлиги 18,5-21,0 МПа бўлиб, электротермик ишлаб чиқариш учун қўйилган талаблардан жиддий равишда юқори эканлигини, ташлашга (зарбага) қаршилиги 96 – 97 %, ғоваклиги 32-33% ни кўрсатди. Булар ҳам ўрнатилган талабларга жавоб беради.

«Кремний ва кремнийли қотишмаларни такомиллаштирилган технологияларини синовдан ўтказиш» деб номланган бешинчи бобда саноат ва тажриба электр ёйли печларида брикетланган шихтадан фойдаланиб, техник кремний ва кремнийли қотишма - ферросилицийни эритиш бўйича тадқиқот натижалари келтирилган.

Четдан олиб келинадиган дарахт кўмири масаласини ҳал қилиш доирасида углеродли тикловчи сифатида табиий газ (метан)дан фойдаланган ҳолда Заргар кони кварц томирларидан кремний тиклашнинг карботермик жараёнлари ишлаб чиқилди. Электр ёйли печда эритиш стандарт технология бўйича анъанавий тикловчилардан фойдаланилган ҳолда ва метанни электр ёйли печнинг ёниш зонасига бевосита узатиш орқали амалга оширилди. Олинган натижалар Заргар кварц томиридан кимёвий-металургик қайта ишлаш орқали поликристал кремний олиш учун яроқли бўлган Кр0 маркали ва ундан юқори сифатли кремний олиш мумкин эканлигини кўрсатди (4-жадвал).

4-жадвал

Заргар кварц томиридан стандарт технологияни қўллаб (а) ва электр ёйи ёниш зонасига метан оқимини узатиш (б) орқали олинган техник кремний кимёвий таркиби, %

	Si	Fe	Al	Ca	Mg	Mn
а)	98,30	0,66	0,38	0,21	0,180	0,069
б)	98,85÷98,89	0,41÷0,44	0,20÷0,22	0,07÷0,11	0,01÷0,02	0,03÷0,07

Эритиш натижалари қаттиқ углеродли тикловчилар метан билан алмаштирилганда маҳсулотнинг максимал тозалигига эришиш мумкин эканлигини кўрсатди.

Юқори маркали кремний олиш учун яроқли таркибида кремнезем бўлган хомашёларни аниқлаш масаласини ҳал қилиш доирасида республика кварц хомашёлари бўйича геологик хизматларнинг тўплаган маълумотлари ўрганиб чиқилди. Самарқанд шаҳри яқинида таркибида юқори SiO₂ бўлган юқори сифатли Окбуйро кварц томирлари аниқланди. Окбуйро кварц томири техник кремний олиш учун яроқлилигини электр ёйли печда эритишлар орқали ўрганиш бўйича тадқиқотлар олиб борилди. Олинган одатдаги намуналарнинг кимёвий таҳлили ва кремнийни эритиш натижалари 5-жадвалда келтирилган.

5-жадвалдан кўринадики, олинган кремний тозалиги бўйича Кр00 маркали маҳсулотларга қўйиладиган ГОСТ 2169-69 талабларига тўла жавоб беради

5-жадвал

Окбуйро кварц томиридан эритилган кремний таркибининг масс-спектрометрик таҳлили

Проба	Si	Аралашмалар, %							
		Fe	Al	Ca	K	Ti	P	Mg	Mn
Ж-1Р-10	99,23	0,342	0,200	0,071	0,032	0,023	0,012	0,006	0,007
Ж-1К-2	99,29	0,296	0,196	0,072	0,027	0,022	0,012	0,006	0,006
Ж-1К-5	99,33	0,274	0,180	0,106	0,029	0,012	0,013	0,009	0,011
Ж-1К-сб	97,11	0,478	1,601	0,685	0,045	0,034	0,013	0,010	0,008

Олинган маҳсулотда бор аралашмаларнинг «Окбуйро» конини бу кўрсаткич бўйича ноёб разрядга қўшиш имконини беради ва ундан турли саноат соҳаларида фойдаланиш имкониятларини, хусусан микроэлектроника ва қуёш элементларини олишда фойдаланиш имкониятларини оширади.

Маҳаллий кварц қумларидан техник кремний ва ферросилиций олиш технологиясини синовдан ўтказиш. Турли хил углеродли тикловчилар ва маҳаллий кварц қумларидан фойдаланиб тайёрланган брикетларни электр ёйли печда бир қатор эритишлар бўйича синовлар ўтказилди. Бунда табиий газдан асосий углеродли тикловчи сифатида фойдаланилди.

Синов натижалари шуни кўрсатдики, кварц қумлари ва одатдаги дарахт кўмири, нефт кокси ва дарахт қириндиси каби углеродли тикловчиларни турли хил комбинациясидан ва ўзаро нисбатидан ташкил топган брикетланган шихта асосида кимёвий элементлари қуйидаги диапазонларда бўлган техник кремний олиш мумкин, %: Si – 97,51÷ 97,82; Al - 0,60÷0,74; Fe - 0,64÷0,66; Ca – 0,39; Na – 0,18÷0,30; Ti- 0,14÷0,20; K– 0,04÷0,09;

Mg – 0,01÷0,03. Маҳсулотнинг максимал тозалиги эса, б-жадвалда келтирилганидек, кўрсатилган қаттиқ углеродли тикловчиларни газсимон метан билан тўлиқ алмаштирилганда олинган.

б-жадвал

Табиий газ (метан) дан углеродли тикловчи сифатида фойдаланиб, брикетланган кварц қумидан олинган техник кремнийнинг кимёвий таҳлили натижалари

Si	Al	Fe	Ca	Ti	Na	K	Mg
98,14	0,59	0,58	0,26	0,24	0,09	0,04	0,01
98,38	0,37	0,60	0,12	0,37	0,06	0,03	0,01
98,10	0,61	0,59	0,24	0,30	0,05	0,02	0,02

Ҳақиқатдан ҳам, республикада топилиши мумкин бўлган қаттиқ углеродли тикловчилардан фойдаланиб олинган техник кремний К1 маркасига тўғри келади. Шунинг учун кейинги цикл эритишларида газсимон ва қаттиқ углеродли тикловчиларнинг ўзаро муносабати 50/50 % дан 80/20 % гача диапазонда ўрнатилган. Бунда токнинг кескин ўзгаришлари йўқотилган. Метаннинг максимал миқдори углеродли тикловчининг умумий миқдоридан 80 % ни ташкил қилган. Эритишлар натижасида қуйидаги таркибдаги техник кремний олинган, %: Si – 97,95÷ 98,15; Al - 0,60÷0,65; Fe - 0,41÷0,60; Ca – 0,19÷0,35.

Ишлаб чиқилган технология асосан таркибида талаб даражасидаги аралашмалар бўлган маҳаллий хомашё базасига асосланган ҳолда юқори маркали техник кремний олиш имконини беради. Технологиянинг энг муҳим афзаллиги шундаки, у солиштирма электр энергия сарфини ўртача 8 % га камайтиради. Анъанавий технологияни ўта даражада кўп энергия сарфлашини инобатга олсак, бу натижа фақатгина жиддий ютуқ бўлиб қолмай, балки бу соҳада эришилган энг яхши ютуқлар қаторида туради

Юқорида баён қилинган технология асосида кремнийли қотишма ферросилицийни эритиш амалга оширилди. Асосий тикловчи сифатида табиий газдан фойдаланган ҳолда ФС25, ФС45, ФС65, ФС75 и ФС90 маркадаги турли хил ферросилицийлар олинди. Олинган қотишмаларда асосий элемент – кремний ва С, Р, S, Al, Mn, Cr аралашма элементларининг масса улуши ГОСТ 1415-93 талабларига мос келади.

Ангрен шаҳридаги завод чиқиндиларидан брикетланган шихталардан фойдаланган ҳолда техник кремний ва ферросилицийларни эритиш технологиялари синови экспериментал электр ёйли печда, ферросилицийни эритиш учун эса Ангрен шаҳридаги «Uz-Shindong Silicon» ҚК МЧЖ заводининг рудатикловчи саноат печида ўтказилди. Синов натижалари микрокремнезем, кварц томири, кварцит, кокс чиқиндилари ва шунингдек кварц қумларидан тайёрланган брикетларнинг электр ёйли печда турли маркали кремний ва ферросилицийларни эритиш учун яроқли эканлигини

кўрсатди. Синовлар натижасида кимёвий таҳлиллари 7-жадвалда келтирилган кремний ва ферросилиций намуналари олинди.

7-жадвал

Ангрен ферросилиций ишлаб чиқариш заводи чиқиндиларидан фойдаланиб олинган техник кремний (а) ва ФС65 маркали ферросилиций (б) одатдаги намуналарининг кимёвий таҳлили натижалари

а)	Si	Al	Fe	Ca	Ti	Na	
	98,11	0,58	0,56	0,32	0,25	0,09	
б)	Si	Al	Mn	Cr	C	P	S
	66,23	1,14	0,32	0,28	0,09	0,04	0,02

Ўтказилган синовлар қуйидаги хулосалар қилишга имкон берди: ишлаб чиқаришнинг майдадисперсли чиқиндиларини асосий жараёнга уларни брикетлаш орқали қайтариш мумкин; ишлаб чиқилган технология ГОСТ 2169-69 и 1415-93 талабларига кимёвий таркиби бўйича жавоб берувчи кремний ва ферросилицийни барқарор олишга имкон беради; технология одатдаги шихтани эритишга нисбатан чиқиндилардан фойдаланиш ҳисобига кварцли хомашёни 15-16% га, углеводди тикловчиларни 10 % гача ҳамда брикетларнинг юқори газ ўтказувчанлиги ҳисобига кремний эритишда солиштирма электр энергияни ўртача 8-10 % га, ферросилиций эритишда эса 16-20 % гача камайтиришга имкон беради.

9600 КВА печда ишлаб чиқариш чиқиндиларидан ташкил топган брикетланган шихтада ферросилиций эритишнинг саноат-тажриба синовлари Ангрен шахридаги «Uz-Shindong Silicon» ҚК МЧЖ заводида амалга оширилди. Тажриба эритиш жараёнида қуйидаги таркибли шихталар синовдан ўтказилди: Ангрен заводининг стандарт шихтаси; стандарт шихт 6% га алмаштирилган 1–тажриба шихта ва 12% брикетланган шихтага алмаштирилган 2–тажриба шихта. 8–жадвалда синов жараёнида фойдаланилган шихта материаллари ва ферросилицийни эритиш жараёнидаги 9600 КВА печнинг асосий кўрсаткичлари келтирилган.

Брикетлар асосан ишлаб чиқариш чиқиндилари - микрокремнезем, кокс майдалари ва шунингдек кварц кумларидан иборат. Синов жараёнларида брикетларнинг етарлича катта термомустаҳкамликка эга эканлиги ва қизариш температурасига етгунча парчаланмаслиги кузатилди.

Эритилган ФС45 нинг кимёвий таҳлили эритиш натижалари бўйича таркибида 44,3 – 46,65% бўлган ферросилиций олинганлигини кўрсатди. Олинган қотишмалардаги кремний ва асосий аралашма элементларнинг Al, P, S, Cr и Mn улуши ГОСТ 1415-93 талабларига жавоб беради.

**Саноат синови натижалари бўйича 45%-ли ферросилицийни
эритишнинг асосий технологик кўрсаткичлари**

Материаллар номи ва технологик кўрсаткичлар	Ўлчов бирлиги.	Стандарт шихта	1-тажриба шихта	2-тажриба шихта
Хом ашё ва материаллар:				
<i>кварцит</i>	т/т	1,180	1,105	1,027
<i>нефт кокси</i>	т/т	0,671	0,621	0,569
<i>нефт пеки</i>	т/т	0,088	0,088	0,088
<i>брикетлар</i>	т/т	-	0,148	0,300
<i>темир қириндиси</i>	т/т	0,534	0,534	0,534
<i>дарахт парахаси</i>	т/т	0,177	0,177	0,177
<i>электрод массаси</i>	т/т	0,069	0,070	0,068
Электроэнергия	МВт·ч/т	6, 5- 7,2	6,9	7,1
Самарадорлик	т/ч	0,76 - 1,05	1,03	1,04

Ўтказилган синовлар якуни майда дисперсли чиқиндиларни брикетланган шихталар кўринишида ферросилиций ишлаб чиқаришига қайтариш мумкин эканлигини; чиқиндилардан тайёрланган брикетлардан саноат ишлаб чиқариш шароитида ферросилиций эритишда самарали фойдаланиш мумкинлигини; тавсия қилинаётган майда дисперсли чиқиндиларни ишлаб чиқаришга қайтариш технологияси бир тонна ферросилиций эритилаётганда 205 кг кварцит ва 140 кг кокснн тежаш имконини беришни кўрсатди.

ХУЛОСАЛАР

1. Республикадаги кремнезёмли хомашёни комплекс ўрганиш асосида таркибида 98,0 дан 99,6 % гача SiO_2 бўлган «Оқбуйро» кварц томири тозалиги бўйича 99,0 % дан кам бўлмаган олий маркадаги техник кремний эритиш учун яроқли эканлиги илк бор кўрсатилди. Сифат ва захира кўрсаткичлари бўйича ушбу хомашё базаси техник кремнийнинг юқори маркаларини ва кремнийли қотишмаларни саноат ишлаб чиқарилиши учун тавсия этилди.

2. Маҳаллий кварц қумлари элаклаш, класслар бўйича классификация қилиш ва ювишдан иборат оддий усуллар билан бойитилгандан кейин SiO_2 бўйича 98,45–99,2% тозалikka эришилди. Бунда энг зарарли аралашмаларнинг таркиби (% да) Al_2O_3 – 0,32; CaO – 0,09; Fe_2O_3 – 0,10 дан иборат бўлиб, уларни кремний ва кремнийли қотишмаларни эритиш учун етарли шарт ҳисобланади. Кварц қумларини кремний ва унинг қотишмаларини ишлаб чиқариш учун альтернатив маҳаллий хомашё сифатида ишлатиш тавсия этилди.

3. Импорт қилинувчи дарахт кўмири ва кокс кўринишидаги углеродли тикловчиларнинг 80 % ни табиий газ (метан)га алмаштиришга ҳамда Kp0 ва Kp00 маркали техник кремний ва ҳар хил маркали ферросилиций олишга имкон берувчи, печнинг электр ёйи ёниш зонасига метанни узатиб беришни ва брикетланган шихтадан фойдаланишни назарда тутувчи кремний ва кремнийли қотишмаларни эритишнинг янги усули илк бор таклиф этилди ва амалга оширилди.

4. Суюқ шиша асосида боғловчидан фойдаланиб, кремний ва кремнийли қотишмаларни эритишга мослаб маҳаллий кварц қумлари ва углеродли тикловчиларни брикетлаш технологияси ишлаб чиқилди. Маҳаллий кварц қумларидан тайёрланган брикетларнинг ўрнатилган талабларга тўғри келувчи $280 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ гача – механик мустаҳкамликка, 40 % гача ғоввакликка ва $T=1400^\circ\text{C}$ да термик турғунликка эга бўлишига эришилди.

5. Брикетланган шихтадан фойдаланишга асосланиб, ишлаб чиқилган кремний ва ферросилиций эритишнинг янги технологиялари, анъанавий тикловчиларни қўллаб, бўлакли шихтадан фойдаланишга асосланган технологияга нисбатан, солиштирама электр энергия сарфини кремний учун 8–10 % га, ферросилиций учун эса – 16–20 % га камайтиришга имкон беради.

6. Ангрен ферросилиций заводи майдадисперсли шихта ва чанг кўринишидаги чиқиндиларининг физик-кимёвий тавсифлари аниқланди. Газ тозалаш тизимида ушлаб қолинадиган микрокремнезем заррачаларининг ўлчамлари 0,1-1,0 мкм, таркибининг 92 % дан кам бўлмаган қисми SiO_2 ни ташкил этиши ва бу эса уларни брикетлаш орқали утилизация қилиш ҳамда технологик жараёнга қайтариш учун асос бўлиши аниқланган.

7. Брикетларда микрокремнезем улушини бу соҳада эришилган энг яхши ютуқларга нисбатан 3 мартагача оширишга имкон берувчи ҳамда шихта чиқиндиларининг ўртача ўлчамларини ва тўкилиш зичлигини инобатга

олувчи кремний ва унинг қотишмаларини ишлаб чиқаришдаги майдадисперсли чиқиндиларни брикетлаш технологияси ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган технология бўйича «Узметкомбинат» АЖ шароитида тайёрланган тажрибавий брикетлар партияси, саноат ишлаб чиқаришида брикетларни эритиш учун уларга қўйиладиган талабларга мос келувчи 18,0 дан 21,0 МПа гача – юқори мустаҳкамликка, 96-97 % ташлашга қаршилиқ мустаҳкамлигига ва 33 % - гача ғовақликка эгаллиги кўрсатилган.

8. Ангрен заводининг майдадисперсли чиқиндиларини ферросилиций ишлаб чиқариш технологик жараёнига қайтариш мумкинлиги ишлаб чиқилган технологияни 9600 КВА қувватли электр ёйли печда саноат ишлаб чиқариши шароитида ўтказилган синовлар асосида исботланди. Саноат синови натижаларига кўра, ушбу технологияни қўллаш ҳар бир тонна ишлаб чиқарилаётган ферросилиций учун 205 кг кварцит и 140 кг коксни тежашни таъминлаши кўрсатилди. Технологияни қўллашдаги иқтисодий самарадорлик 360 минг сум/т ни ташкил қилди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ DSc.30.05.2018.FM/Т.34.01
ПРИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КУРБОНОВ МИРТЕМИР ШОДИЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ
ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ И КРЕМНИСТЫХ СПЛАВОВ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

ТАШКЕНТ – 2018

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2017.4.DSc/T195.

Докторская диссертация выполнена в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий.

Автореферат диссертации размещен на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме) на веб-странице Научного совета (www.fti.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyounet.uz).

Научный консультант: **Ашуров Хатам Бахранович**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Ёлкин Константин Сергеевич**
доктор технических наук, профессор

Шарипов Хасан Турапович
доктор химических наук, профессор

Алиев Райимжон
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: Навоийский государственный горный институт

Защита состоится «___» _____ 2018 г. в ___ часов на заседании разового Научного совета на основе Научного совета DSc.30.05.2018.FM/T.34.01 при Физико-техническом институте. Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Чингиз Айтматов, 26. Тел./факс: (+99871) 235-42-91, e-mail: ftikans@uzsci.net.

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Физико-технического института за №_____, с которой можно ознакомиться в ИРЦ по адресу: 100084, г. Ташкент, ул. Чингиз Айтматов, 26. Тел./факс: (99871) 235-30-41.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018 года
(протокол рассылки №___ от «___» _____ 2018 года).

Н.Р. Авезова

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

О.А. Абдулхаев

Ученый секретарь разового Научного совета по присуждению ученых степеней, доктор философии ф.-м.н.

Н. Талипов

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время мировой объем производства технического кремния составляет 2,2 млн. т в год, а ферросилиция – сплава кремния с железом, 7,5 млн. т. Усовершенствование действующих технологических операций, а также разработка новых методов и приемов выплавки кремния и кремнистых сплавов, направленных на устранение существующих недостатков и одновременно способствующих повышению качества продукта и снижению его себестоимости, являются актуальными. В этом аспекте особое внимание уделяется совершенствованию принципов подготовки шихтовых материалов к плавке, направленное на энерго- и ресурсосбережение, и улучшению восстановительных свойств шихты путем поиска и выявления новых эффективных углеродистых восстановителей и использования их комбинаций.

На сегодняшний день в мире проводится много научных исследований по решению проблем, связанных с значительным количеством экологически опасных, мелкодисперсных, кремниевых пылевидных отходов, образующихся в процессе производства технического кремния и его сплавов. В связи с этим научные исследования, направленные на разработку новых способов подготовки шихтовых материалов, использование альтернативных сырьевых материалов и переработку техногенных отходов кремниевого производства путем возврата их в основное производство с одновременным решением экологических проблем, считаются актуальными.

В нашей республике особое внимание уделяется развитию науки, в том числе, технологии получения и производству технического кремния и кремнистых сплавов. В этом аспекте, осуществляя в стране широкомасштабные меры, организовано производство технического кремния в г.Навои и кремнистых сплавов в гг.Ангрен и Бекабад, а также достигнуто получение импортозамещающих материалов высокого качества. Согласно стратегическому развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи «снижение расхода энергии и ресурсов в экономике, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, повышение производительности труда в отраслях экономики»¹. В этом аспекте, создание современных технологий выплавки кремния и его сплавов, основанных на местном сырье взамен импортируемых и направленных на энерго- и ресурсосбережение, а также применение их в производстве приобретает важное значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит решению задач, сформулированных в постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, №ПП-

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» от 07 февраля 2017 г.

3698 «О дополнительных мерах по совершенствованию механизмов внедрения инноваций в отрасли и сферы экономики» от 7 мая 2018 года и №ПП-3855

«О дополнительных мерах по повышению эффективности коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности» от 14 июля 2018 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследовательская работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и VII. «Химическая технология и нанотехнология».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации². По определению эффективных методов получения технического кремния и кремнистых сплавов проводятся исследования в ведущих зарубежных научных центрах и университетах, в том числе в Elkem Group, Norwegian University of Science and Technology (Норвегия), Ferro Atlantica (Испания), Global Speciality Metals (США), Technical University of Berlin, SMS Siemag (Германия), ОК Русал, Иркутском государственном техническом университете (Россия), Национальной металлургической академии Украины (Украина), Химико-металлургическом институте (Казахстан), Институте ионно-плазменных и лазерных технологий и Физико-техническом институте (Узбекистан).

В мире по усовершенствованию технологии получения технического кремния и его сплавов получен ряд результатов, в том числе: разработаны способы получения брикетов, в которых была предусмотрена их термическая обработка для упрочнения и транспортабельности (Global Speciality Metals, США; Elkem Group, Норвегия); исследована возможность применения природного газа (метана – CH_4) для получения кремния и ферросилиция и разработан способ использования метана, основанный на многостадийном процессе (Norwegian University of Science and Technology, Норвегия; НИИ особочитых материалов, Россия); показана возможность применения при выплавке кремния и ферросилиция лигнина - отхода гидролизного биохимического производства, продуктов термической обработки каменных углей и продуктов пиролиза – торфяного кокса в качестве углеродистых восстановителей (Иркутский государственный технический университет, Россия); разработаны способы получения твердого углеродистого восстановителя из обогащенного угля («дирексил») и нового материала – кремнеуглеродистого композита из рисовой шелухи для получения технического кремния (Химико-металлургический институт, Казахстан); с использованием каменного угля Бойсунского месторождения показана

² Обзор международных научных исследований по теме диссертации проведен на основе: <https://worldwidescience.org/topicpages/s/silicone+based+materials.html>; <http://adsabs.harvard.edu/abs/>; <http://www.pyrometallurgy.co.za/InfaconXIII/0283>; <http://pyrometallurgy.co.za/> и др. источников.

возможность получения полукокса с зольностью не более 3%, пригодного для производства кремния (научно-производственный центр “Мелма”, Узбекистан).

В настоящее время в мире по усовершенствованию технологии получения технического кремния и его сплавов проводятся научно-исследовательские работы по таким актуальным направлениям как поиск новых углеродистых восстановителей и определение их свойств, разработка современных способов использования мелкодисперсных и экологически вредных пылевидных отходов, возникающих при производстве кремния и кремнистых сплавов, в шихтоподготовке и освоение перспективных технологий выплавки кремния и его сплавов, основанных на ресурсо- и энергосбережении.

Степень изученности проблемы. Исследовательские работы по получению технического кремния электротермическим способом были проведены группой ученых под руководством В.Н.Веригина. В промышленных условиях группой Ткаченко В.А. были опробованы кварциты различных месторождений и сделана оценка пригодности различных углеродистых восстановителей. Разработана технология получения кремния в промышленных масштабах как в однофазных (в России), так и в трехфазных (США, Италия, Франция) открытых дуговых электропечах. В норвежском Университете науки и технологии, а также компании «Элкем», в российской компании «Русал» и Иркутском государственном техническом университете, в китайском Канмингском университете науки и технологии активно велись теоретические и экспериментальные исследования по усовершенствованию конструкции рудовосстановительных электродуговых печей, технологии выплавки кремния и его сплавов.

Vangskasen J., Tangstad M. (Норвегия), W. Lin, L.Man, D.Yongnian, M.Wenhui (Китай), Хакалаше В. (Южная Африка), Ёлкиным К.С., Толстогузовым Н.В., Катковым О.М., Зельбергом Б.И. (Россия) исследованы механизмы восстановления кремния и высококремнистых сплавов, разработаны новые методы плавки и режимы загрузки шихты, в том числе загрузку и проплавление шихты из кварцита, смеси восстановителей и древесной щепы в печи с полыми электродами.

Hannesson P., Sigurdsson V., Kloytz V., Немчинова Н., Черняховский Л.В. проводили исследования по разработке способов получения рудоуглеродистых композиций, то есть совместного окускования рудных и углеродистых составляющих шихты, особенно при выплавке кремнистых ферросплавов. Проведенные исследования позволили оптимизировать способы подготовки шихтовых материалов к плавке и процесс получения кремния и кремнистых сплавов путем использования брикетов из кремнийсодержащих и углеродистых материалов.

Учеными Узбекистана Абдурахмановым К.П., Абдурахмановым Б.М. и Костецким М.А. на основе экспериментов, проведенных в электродуговой

печи, изучена возможность получения технического кремния с использованием местного сырья и показана возможность выплавки технического кремния марки Кр1.

Несмотря на усилие ученых мира, технология выплавки кремния и кремнистых сплавов еще не доведена до совершенства. Технологический процесс все еще остается чрезвычайно энергоемким, требующим большого расхода дорогих сырьевых материалов, а также используется несовершенная система подготовки шихтовых материалов к плавке. Образующееся значительное количество отходов производства не учитывается при шихтоподготовке, что в свою очередь отрицательно отражается на технико-экономических показателях производства. Это означает, исследования по совершенствованию технологии выплавки кремния и кремнистых сплавов характеризуются своей недостаточностью, чему посвящено содержание данной диссертации.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертационная работа. Диссертационное исследование выполнено в рамках исследований научных проектов Института ионно-плазменных и лазерных технологий ФА-И4-Ф18 «Технология получения технического кремния повышенной чистоты для солнечной энергетики с использованием нетрадиционных восстановителей» (2011-2012), ИК-2013-1 «Освоение технологии получения технического кремния из местного кварцевого песка в электродуговой печи» (2013-2014), ФА-И7-Ф007 «Технология получения ферросилиция с использованием брикетированной шихты» (2015-2016), ИОТ-2017-2-9 «Освоение технологии возврата мелкодисперсных отходов производства ферросилиция и технического кремния в процесс» (2017-2018).

Целью исследования является совершенствование технологии выплавки технического кремния и кремнистых сплавов в рудовосстановительной электродуговой печи с использованием местных сырьевых ресурсов и альтернативных углеродистых восстановителей.

Задачи исследования:

разработка и создание экспериментальной укрупненно-лабораторной рудовосстановительной электродуговой печи постоянного тока и необходимой технической инфраструктуры для проведения опытных плавки технического кремния и кремнистых сплавов;

изучение минерально-сырьевой базы Узбекистана и экспериментальное определение пригодности местного кремнеземсодержащего сырья для получения технического кремния высших марок, а также поиск альтернативных углеродистых восстановителей для полной или частичной замены дорогих импортируемых углеродистых восстановителей, традиционно применяемых при выплавке технического кремния и его сплавов;

поиск новых источников кремнийсодержащего сырья, изучение основных физико-химических характеристик местных кварцевых песков и обработка эффективных и малоэнергоёмких методов их обогащения;

разработка технологии брикетирования местных кварцевых песков и углеродистых восстановителей с применением связующих. Получение брикетов, соответствующих техническим требованиям для выплавки технического кремния и кремнистых сплавов в электродуговой печи, и проведение их испытаний;

разработка способа подачи природного газа (метана) в электродуговую печь в качестве основного углеродистого восстановителя;

совершенствование технологических операций карботермического процесса получения технического кремния и кремнистых сплавов (ферросилиция разных марок) на основе местных сырьевых ресурсов и альтернативных углеродистых восстановителей;

изучение свойств и характеристик мелкодисперсных отходов завода в г. Ангрен по производству ферросилиция;

разработка технологии брикетирования мелкодисперсных отходов производства ферросилиция и изготовление брикетов;

разработка и испытание технологии выплавки кремния и ферросилиция с использованием брикетированной шихты из мелкодисперсных отходов.

Объектами исследования являются кремнеземсодержащее сырьё различных месторождений Узбекистана в виде жильного кварца и кварцевых песков, углеродистые восстановители, брикеты из кварца и углеродистого восстановителя, отходы производства кремния и ферросилиция, электродуговая печь постоянного тока.

Предметами исследования являются физико-химические процессы восстановления технического кремния и его сплавов, изготовление и испытание брикетов из кремнезем- и углеродосодержащих материалов, физико-механические свойства брикетов, электродуговая плавка брикетированной шихты.

Методы исследования. В диссертационной работе применены методы рентгенофлуоресцентной и масс-спектрометрии, а также ситового анализа мелкодисперсных и мелкофракционных сыпучих материалов.

Научная новизна исследования:

разработан способ выплавки кремния и кремнистых сплавов, предусматривающий подачу метана в зону горения электрической дуги печи;

разработана технология электродуговой выплавки технического кремния и его сплавов с использованием брикетированной шихты, сформированной из местных кварцевых песков и мелочи углеродистых восстановителей с введением связующего на основе натриевого жидкого стекла;

впервые обоснована возможность выплавки технического кремния высших марок с чистотой не менее 99,0 % из местного жильного кварца;

определено, что разработанная технология на основе брикетированной шихты позволяет при выплавке кремния и ферросилиция снизить удельный расход электроэнергии соответственно на 8-10 % и 16-20 % по сравнению с технологией, основанной на использовании кусковой шихты с применением традиционных восстановителей;

разработана технология брикетирования мелкодисперсных шихтовых отходов и пыли системы газоочистки производства кремния и кремнистых сплавов – микрокремнезема.

Практические результаты исследования:

создана техническая инфраструктура и разработана рудовосстановительная электродуговая печь постоянного тока, необходимые для выплавки технического кремния и кремнистых сплавов;

разработаны методы брикетирования кварцевых песков и мелкодисперсных углеродистых восстановителей на основе связующего вещества;

обоснована возможность использования местных кварцевых песков для производства кремния и его сплавов;

обоснована и рекомендована возможность использования способа брикетирования в промышленных металлургических предприятиях при разработке технологий по выплавке рудных концентратов и утилизации накопленных и текущих отходов в металлургический передел в виде сырья.

Достоверность полученных результатов обосновывается применением современных методов и подходов металлургии. Тщательно проанализированы условия эксперимента и опытных плавов, на каждом этапе работ использовано современное аналитическое оборудование с высокой точностью. Полученные результаты и выводы основаны на базовых положениях теоретических работ, посвященных карботермическому восстановлению кремния и его сплавов в рудовосстановительных печах, и полностью согласуются с результатами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований состоит в разработке и научном обосновании новых технологий выплавки кремния и ферросилиция, базирующихся на использовании брикетированной шихты, сформированной из местных кварцевых песков и отходов самого производства кремния и его сплавов, на применении нетрадиционного углеродистого восстановителя – природного газа, а также в возможности существенного улучшения процесса карботермического восстановления кремния и кремнистых сплавов и использования разработанной технологии для проведения теоретических исследований.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанная технология брикетирования мелкодисперсных отходов может быть эффективно применена для брикетирования отходов металлургического, горнодобывающего производств и топливно-энергетического комплекса с целью дальнейшего их применения в виде сырья.

Внедрение результатов исследования. По результатам исследования совершенствования технологии выплавки технического кремния и кремнистых сплавов:

на способ получения технического кремния получен патент на изобретение Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№ IAP 05440, 2014 г.). В результате новая технология выплавки кремния позволила использование местных кварцевых песков взамен дорогих кварцитов и жильного кварца, импортозамещение 80% традиционного углеродистого восстановителя природным газом и снижение удельного расхода электроэнергии на 8–10%;

на способ выплавки ферросилиция получен патент на изобретение Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№ IAP 05557, 2015 г.). В результате новая технология выплавки ферросилиция позволила использование мелкодисперсных отходов, образующихся при производстве кремния и кремнистых сплавов, взамен дорогих кремнеземсодержащих материалов и углеродистых восстановителей, замену 80% углеродистых восстановителей на природный газ и снижение удельного расхода электроэнергии на 16–20%;

новая технология выплавки ферросилиция внедрена на заводе СП «Uz-Shindong Silicon» в г. Ангрен по производству ферросилиция (справка СП «Uz-Shindong Silicon» № 91–Т от 5 апреля 2018 года). В результате новая технология выплавки позволила для производства 1 т продукта сэкономит 205 кг кварцита и 140 кг кокса;

новая технология выплавки кремния внедрена в системе Госкомгеологии Республики Узбекистан (справка Госкомгеологии Республики Узбекистан №06–906 от 2 апреля 2018 года). Результаты внедрения позволили сделать заключение о пригодности кварцевой жилы проявления «Акбуйринское» для производства технического кремния высших марок с содержанием кремния 99,2–99,3%;

Апробация результатов исследования. Результаты исследований докладывались и обсуждались на 10 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов. Полученные результаты по теме диссертации изложены в 33 научных трудах. Из них 13 научных статей опубликованы в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 2 - в международных журналах, 11 – в республиканских журналах, получено 2 патента и опубликованы 2 монографии.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Диссертация изложена на 198 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект, предмет и методы исследования, изложена научная новизна, научно-практическая значимость полученных результатов, обоснована достоверность результатов, приведены сведения о внедрении результатов, апробации работы и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Технология получения технического кремния и кремнистых сплавов»** проанализированы литературные данные исследований в области совершенствования технологии выплавки технического кремния и кремнистых сплавов. Показано, что технология выплавки кремния и кремнистых сплавов всё еще остаётся не совершенной и содержит ряд нерешенных проблем.

Сделано заключение, что для совершенствования технологии необходимо выполнение следующих основных задач:

поиск новых источников сырья, пригодных для получения технического кремния высших марок и позволяющих расширить местную сырьевую базу для промышленного производства кремния и кремнистых сплавов;

поиск эффективных альтернативных углеродистых восстановителей для замены традиционных дорогих импортируемых восстановителей;

совершенствование технологических операций карботермического восстановления кремнезёма на основе выявленных новых источников сырья.

Во второй главе **«Экспериментальная технологическая база, объекты исследования, оборудование и методы исследований»** изложен и обоснован выбор объектов исследования, описаны экспериментальные установки и методы исследований. Приведена информация об устройстве и принципе действия созданной экспериментальной установки электродуговой печи постоянного тока мощностью 125 кВт, описаны особенности ее монтажа и запуска. Описан состав и назначение технологического участка для проведения опытных плавки кремния и его сплавов. Экспериментальная установка была сконструирована в виде укрупненной лабораторной электродуговой печи постоянного тока с токопроводящей подиной и закрытым охлаждаемым сводом. Такая конструкция имеет ряд преимуществ перед открытыми дуговыми печами переменного тока и позволяет снизить расход шихтовых материалов и электроэнергии. Технологическая инфраструктура для проведения экспериментов была подготовлена с учетом особенностей процесса плавки кремния и его сплавов в электродуговых печах. Исходя из этого схема цепи аппаратов технологического участка состояла из электродуговой печи, печного трансформатора и выпрямительного блока постоянного тока, системы водоохлаждения, вентиляции и компрессионного газораспределительного узла для подачи природного газа. Общий вид созданной экспериментальной установки показан на рис.1.

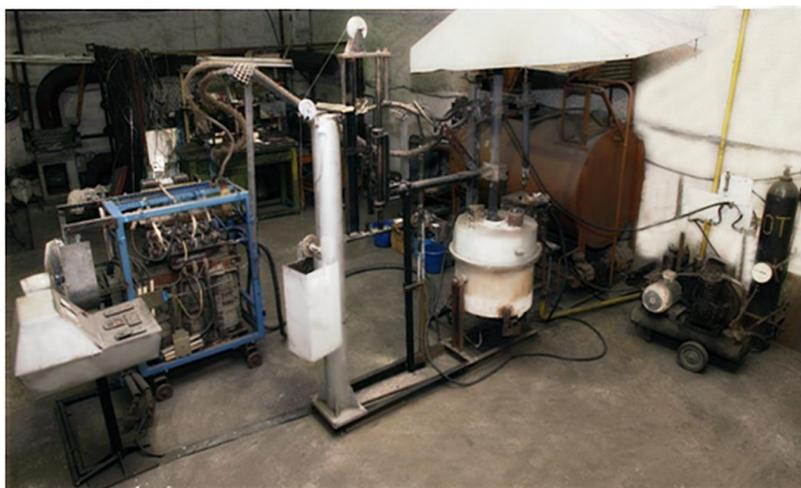


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

Для обеспечения эффективной реакции кремнезема и метана в горне печи необходимо организовать поступление метана непосредственно в зону высокой температуры печи. Исходя из этого, нами был реализован способ подачи метана в зону горения электрической дуги через верхний полый графитовый электрод.

Новым и существенным элементом разработанного способа является процесс распада молекулы метана, подаваемого в печь по центральному отверстию в полой графитовом электроде. Основой этого приема является физический эффект распада молекулы метана на активный углерод и водород при контакте этого газа с нагретой поверхностью катализатора, в качестве которого использован никель. Именно этот физический эффект применен в предлагаемом способе, благодаря чему повышается реакционная способность метана (CH_4). Углерод и водород, поступая в печь, активно взаимодействуют, как с основными (SiO_2 , SiO , SiC), так и с любыми кислородосодержащими комплексами технологического процесса, которые образуются в электродуговом процессе.

На рис. 2 приведена схема электродуговой печи, в которой были проведены выплавки кремния и кремнистых сплавов с использованием метана, распад которого осуществлялась с помощью никелевого катализатора, перемещаемого вдоль оси графитового электрода с помощью металлического троса и обдуваемого потоком метана. Характерный ход метана показан тонкими стрелками.

Регулирование температуры поверхности никелевого катализатора достигается его простым перемещением вдоль оси отверстия в полой графитовом электроде. Обтекание потоком CH_4 тела катализатора, выполненного в виде полого цилиндра из никеля с глухим дном и боковыми отверстиями, размещенного в полости графитового электрода, обеспечивает большую площадь контакта молекул газа с нагретой поверхностью катализатора реакции диссоциации молекулы CH_4 . При развале молекулы CH_4 в реакциях восстановления кремнезема кроме атома углерода участвуют еще и четыре атома водорода. Именно этим объясняется высокая

реакционная способность ионизированного CH_4 , что позволяет применять при реализации этого способа широкую гамму углеродосодержащих веществ.

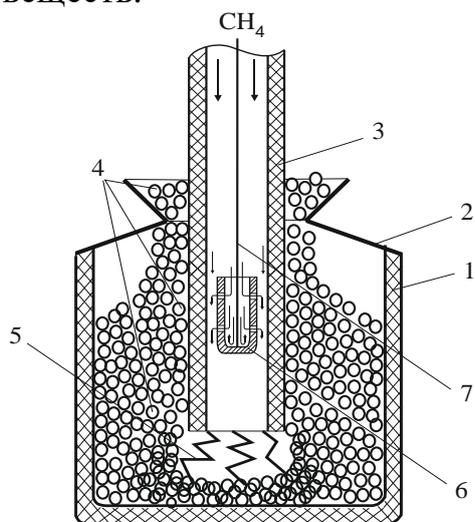


Рис. 2. Схема электродуговой печи, иллюстрирующая способ подачи природного газа в зону горения дуги печи:

1 – корпус печи, 2 – крышка печи, 3 – полый графитовый электрод диаметром 76 мм, 4 – шихта (брикеты), 5 – зона горения электрической дуги, 6 – ионизатор из никеля, 7 – металлический трос.

Приведены основные технические характеристики промышленной рудовосстановительной электропечи завода СП ООО «Uz-Shindong Silicon» в г. Ангрен, использованной для промышленных испытаний разработанной технологии, а также описаны операции подготовки шихты и самой плавки.

В диссертационной работе даны результаты анализов химического состава кварцевого песка, микрокремнезема, полученных образцов кремния и его сплавов, которые проводились в аккредитованных лабораториях ГП «Центральная лаборатория» Госкомгеологии РУз и Навоийского горно-металлургического комбината, использующие современные методы анализа с применением рентгенофлуоресцентных и ИСР масс-спектрометров. Для определения гранулометрического состава кварцевых песков был использован ситовый анализ. Испытания изготовленных брикетов проводились в лабораторных условиях и независимо тестировали в аккредитованной лаборатории научно-исследовательского и испытательного Центра «Стром».

В третьей главе «**Сырьевая база производства технического кремния и кремнистых сплавов в Республике Узбекистан**» наряду с анализом основных требований к сырью, сформулированных в мировой практике, приведены результаты исследований по изучению основных характеристик месторождений и проявлений жильного кварца, кварцита, кварцевых песков и углеродистых восстановителей. Эти результаты базируются на обширном анализе местных ресурсов кремнеземсодержащего сырья, пригодных для получения технического кремния и кремнистых сплавов, осуществленном совместно с геологами Узбекистана. Большой объем выполненных горнопроходческих, буровых и лабораторных работ позволил произвести подсчет и дать оценку прогнозных ресурсов кварцевого сырья по кат. P_2 и P_1 по 115 кварцевым жилам в вышеуказанных горах. Всего прогнозных ресурсов кварцевого сырья в вышеуказанных горах составило 21, 2 млн. т. Исследования, проведенные совместно с геологами, показали, что наиболее благоприятными для промышленной разработки и перспективными

оказались высокочистые кварцевые жилы в горах Каратюбе с прогнозными ресурсами по P_1 и P_2 – 7,6 млн.т. Выявлено, что кварцевая жила №1 «Акбуйринское», расположенная на северном склоне горы Каратюбе, является наиболее чистым источником кварцевого сырья с содержанием $SiO_2 \geq 99\%$.

Оценку качества сырья из Акбуйринского проявления жильного кварца вели не только методами химического и спектрального анализов, но и выплавкой кремния из технологических проб весом по 100 кг каждая. Выплавка кремния проводилась в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий. Результаты выплавки показали, что из этого отечественного кварцевого сырья можно выплавлять технический кремний высших марок Кр00, которые описаны в главе 5 настоящей диссертации.

Необходимость расширения местной сырьевой базы производства кремния и его сплавов за счет применения наряду с жильным кварцем и кварцитами также и местных кварцевых песков вызвано следующими обстоятельствами. Во-первых, ряд месторождений местных кварцевых песков обладает высокой чистотой, что особо важно как для выплавки высших марок кремния, так и для валового производства. Во-вторых, добыча кварцевых песков отличается значительно большей простотой по сравнению с добычей жильного кварца. В-третьих, в Узбекистане имеются огромные природные ресурсы в виде более чем 96 месторождений и проявлений кварцевых и кварц-полевошпатовых песков.

Наибольший интерес представляют месторождения кварцевых песков в Кызылкумском горнорудном регионе с изначально высоким содержанием двуоксида кремния – 98÷99%. Благоприятное географическое расположение вблизи промышленного региона республики, а также наличие транспортных путей создает хорошую перспективу для вовлечения этих песков в производство кремния. В связи с этим, нами совместно с геологами республики всесторонне были изучены кварцевые пески Джеройского месторождения, расположенного в Навоийской области. Запасы месторождения составляют 26,0 млн. т. Исследования проводились на предмет получения из этих песков кремния и кремнистого ферросплава – ферросилиция. Пески подвергались экономичным и простым способам обогащения – просеиванию, классификации по фракциям и промывке.

Проведенные исследования показали, Джеройские пески месторождения после применения простой схемы обогащения могут быть очищены до 99,2% по SiO_2 . Были изучены также структура зерен и гранулометрический состав кварцевых песков. По результатам этих исследований установлено, что пески Джеройского месторождения на 85–90% представлены частицами размером 0,3–0,5 мм. В песках этого месторождения 15 % зерен имеют угловатую конфигурацию, 10 % – изрезанную, 75 % – окатанную, с небольшим количеством дефектов. Загрязнение частиц носит поверхностный характер в виде намазок.

Углеродистый восстановитель является неотъемлемым, важнейшим компонентом карботермического процесса получения кремния и кремнистых

сплавов. Metallургические предприятия Республики Узбекистан потребляют импортируемые из-за рубежа кокс и коксиков. Однако в республике имеются и другие виды углеродистых восстановителей, которые могут представлять интерес для производства кремния и его сплавов, в частности ферросилиция. Так, Ферганский нефтеперерабатывающий завод выпускает нефтяные коксы. Имеются также каменные угли Байсунского и Шаргуньского месторождений.

На основе изучения характеристик имеющихся в республике восстановителей проанализирована степень их использования для выплавки кремния и кремнистых сплавов. Показано, что ферганские нефтяные коксы имеют высокое содержание массовой доли серы $> 6,0\%$, общей влаги $> 6,0\%$ и массовой доли мелочи – $70,0\%$, что не позволяет использовать их при плавке кремния и кремнистых сплавов. Шаргуньские угли не пригодны для производства кремния из-за повышенной зольности – $25,5-30\%$. Байсунские угли, объем производства которых в 2015 году составил 124 тыс. т, отличаются меньшей зольностью. При их прокалке при температуре $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ без доступа воздуха из них можно получить каменноугольный полукокс с зольностью не более $2,5\%$, приемлемый для выплавки кремния и ферросилиция.

Наиболее перспективным углеродистым восстановителем, большие запасы которого имеются на территории Узбекистана, является природный газ (метан, CH_4). Анализ химического состава местного природного газа показал, что он состоит из метана 94% , этана $3,29\%$, пропана $0,5\%$, которые являются углеродистыми восстановителями для кремнезема.

Вследствие высокой чистоты CH_4 , отсутствия зольности и высокой реакционной способности использование природного газа позволяет, как показали проведенные нами опытные плавки, получать кремний самых высоких марок и любые марки кремнистых ферросплавов.

В четвертой главе **«Разработка технологии изготовления брикетированной шихты на основе кварцевых песков и отходов производства кремния и кремнистых сплавов»** нами были разработаны новые методики брикетирования мелкодисперсных и мелкофракционных материалов к металлургическому переделу на основе натриевого жидкого стекла. Были проведены эксперименты по получению брикетов с необходимыми физико-механическими характеристиками для плавки их в электродуговой печи.

Для брикетирования местных кварцевых песков и получения пористой и одновременно прочной структуры брикета с углеродистыми восстановителями были изучены различные варианты: с добавлением технического углерода, древесных опилок, мелочи древесного угля, кокса, технического кремния и без добавления каких-либо других компонентов, а только из кварцевых песков. При разработке методики брикетирования с использованием в качестве связующего жидкого стекла мы исходили из того, что структурообразующие процессы определяются физико-химическими явлениями на границе раздела твердой и жидкой фаз в момент их

взаимодействия и зависят от интенсивности уплотнения смеси и условий контактирования частиц, покрытых клеевой пленкой, в период прессования.

Проведенные исследования показали, что механическая прочность брикета существенным образом зависит от количества жидкого стекла и компонентов брикета. Зависимости механической прочности брикета от количества жидкого стекла и древесных опилок, полученные по результатам исследований, приведены на рис. 3 (каждая кривая на рисунке соответствует отдельному испытанию).

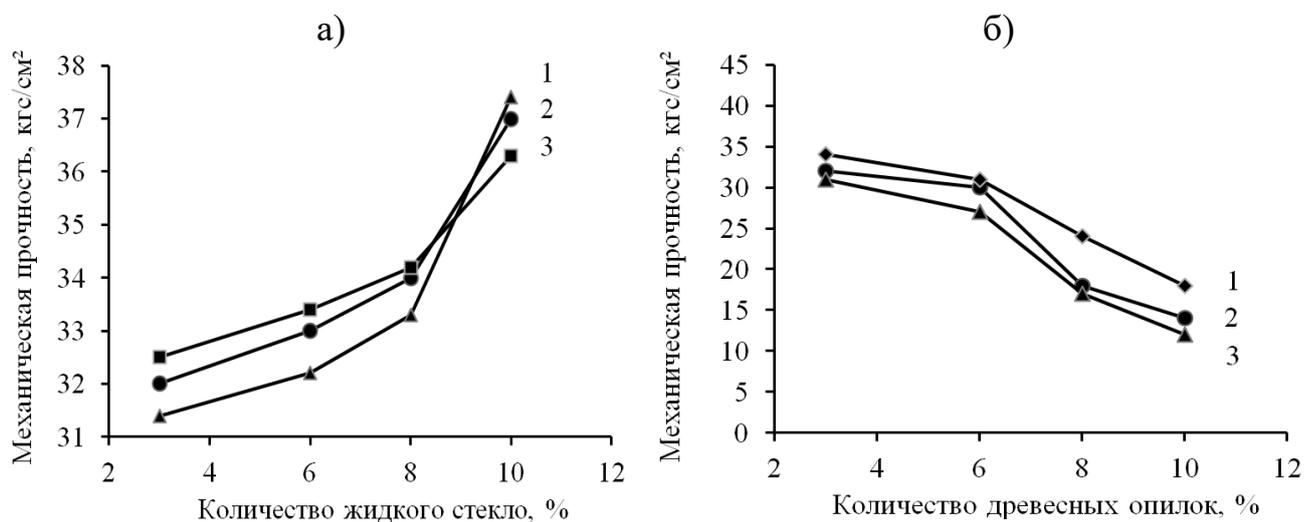


Рис. 3. Зависимость механической прочности брикета от количества жидкого стекла и древесных опилок:
 а) зависимость от количества жидкого стекла;
 б) зависимость от количества древесных опилок

Из рисунка 3а видно, что с увеличением количества жидкого стекла от 3 до 10 % брикет становится прочнее на 7-8%, в то же время при добавлении в брикет в целях увеличения пористости, например, древесных опилок от 3 до 10 %, прочность брикета, как видно из рис. 3б, снижается в 2,3 раза.

Проведены также испытания по изучению влияния количества жидкого стекла, углеродистых восстановителей и размеров их фракций на пористость брикета. На рис. 4 представлены полученные зависимости пористости изготовленных брикетов от количества жидкого стекла и углеродистых восстановителей. С увеличением содержания жидкого стекла в брикетах от 2 до 8 % их пористость падает от 9 до 16 % (рис. 4а, кривая 3), в то же время при добавлении технического углерода в этот же брикет до 40%, снова наблюдается снижение пористости от 19 до 21 % (рис. 4а, кривая 1).

Эти результаты показывают, что увеличение количества жидкого стекла в брикете не приводит к повышению его пористости. В то же время при добавлении в брикет нефтяного кокса (рис. 4б) и древесных опилок (рис. 5) достигается увеличение его пористости.

Как показывают результаты этих исследований, пористость брикетов можно изменять в лучшую сторону в зависимости от размера фракции добавляемых им углеродистых материалов. С увеличением размера фракции

восстановителей от 0,063 до 1,5 мм наблюдается тенденция увеличения пористости брикета от 13-17 % (рис. 4б) до 37-40% (рис. 5).

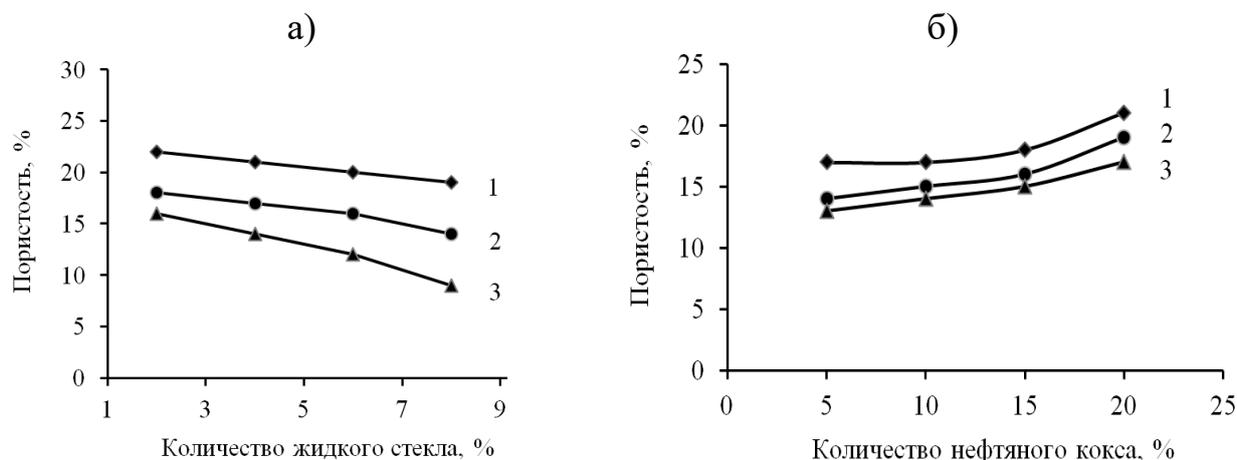


Рис. 4. Зависимость пористости брикета от количества жидкого стекла, а также от количества и размера фракции нефтяного кокса:

- а) Зависимость пористости брикета от количества жидкого стекла: 1- брикет из 60% кварцевого песка и 40% технического углерода; 2- брикет из 80 % кварцевого песка и 20 % технического углерода; 3- брикет из 100 % кварцевого песка;
- б) Зависимость пористости брикета от количества и размера фракции нефтяного кокса: 1 – брикет из кварцевого песка с фракциями нефтяного кокса 0,6÷1,5 мм; 2 – 0,063÷0,4 мм; 3- 0,4÷0,6 мм

По результатам исследований достигнутая пористость составляет 40%. Такая достаточно высокая пористость положительно влияет на газопроницаемость, стабильность электрического режима и способствует снижению расхода электроэнергии.

Брикеты, изготовленные из кварцевых песков с добавлением 3% жидкого стекла, по прочности, пористости и термической устойчивости являются оптимальными и отвечают требованиям плавки в электродуговой печи и приемлемы с экономической точки зрения.

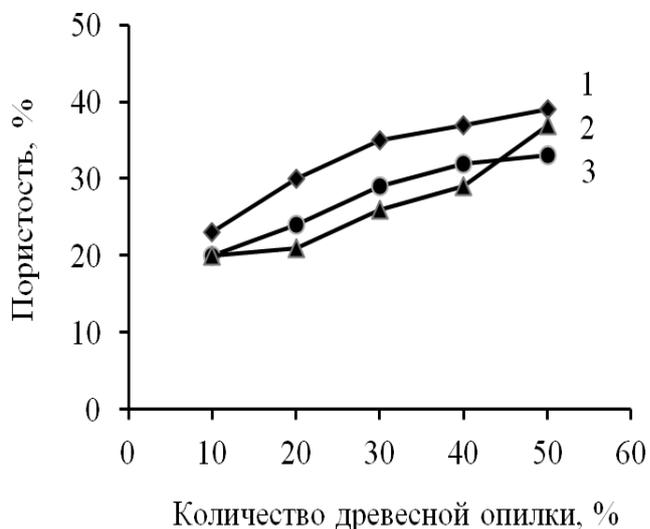


Рис. 5. Зависимость пористости брикета от количества древесных опилок:

- 1 – брикет из кварцевого песка с фракциями древесных опилок 0,4÷0,6 мм; 2 – 0,063÷0,4 мм; 3- 0,063÷1,5 мм

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики брикетов, изготовленных для получения ферросилиция марок ФС65 и ФС75. Пригодность изготовленных брикетов для электроплавки была экспериментально подтверждена выплавками в электродуговой печи как технического кремния, так и ферросилиция.

Таблица 1

Результаты испытания физико-механических параметров брикетов для выплавки ферросилиция марок ФС65 и ФС75

Физико-механические характеристики	КП ¹	ФС65		ФС75	
		КП+Кокс ¹	КП+Кокс+Fe ¹	КП+Кокс	КП+Кокс+Fe
Механическая прочность, кг·с/см ²	280	220	170	200	130
Пористость, %	20,2	39,7	30,9	38,6	27,9
Термическая прочность, °С, не менее	1450	1350	1300	1350	1300
Прочность на сбрасывание, %	100 ²	100	100	100	100

Примечание: ¹ - КП – кварцевой песок; КП+Кокс – брикет сформирован из кварцевого песка и мелочи кокса; КП+Кокс+Fe – брикет сформирован из кварцевого песка, мелочи кокса и железной стружки. ² – «100» означает, что при сбрасывании брикетов с высоты 2 м на металлический пол мелочи не образовались и прочность на сбрасывание (удар) была максимальной – 100 %.

Производство кремния и кремнистых сплавов характеризуются образованием большого количества пылевидного отхода в виде микрокремнезема.

На наш взгляд, возврат микрокремнезема непосредственно в производство кремния и кремнистых сплавов в качестве одного из важных кремнеземсодержащих компонентов шихты позволит повысить рентабельность производства и решит одновременно связанную с ними экологическую проблему. Для того чтобы найти оптимальное решение утилизации микрокремнезема, например, через брикетирование, были изучены его характеристики. Изучение структуры и гранулометрического состава отходов производства завода СП «Uz-Shindong Silicon» в г. Ангрен, проведенное на электронном микроскопе, показало (рис. 6), что в структуре микрокремнезема четко выявляются сфероидизированные частицы SiO₂, размеры основной части (91%) которых составляют 0,1-1,0 мкм.

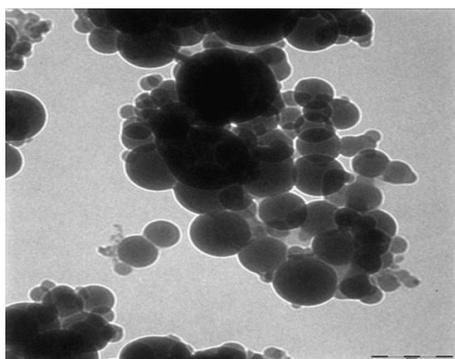


Рис. 6. Изображение микрокремнезема завода в г. Ангрен, полученное на просвечивающем электронном микроскопе

Гранулометрический состав микрокремнезема, который учитывался при брикетировании с коксовой мелочью на основе жидкого стекла, приведен в таблице 2, а химический состав его – в таблице 3.

Химический анализ состава микрокремнезема показал, что он в основном состоит из SiO₂ (табл. 3), что подтверждает целесообразность возврата этого вида отхода в производственный процесс.

Таблица 2

**Гранулометрический состав микрокремнезема завода
СП «Uz-Shindong Silicon» в г. Ангрен по производству ферросилиция**

Размер частиц, мкм	0.1	0.1–0.2	0.2–0.4	0.4–1.0	1.0–2.5	2.5
Содержание, %	3.7	32.2	34.1	24.6	4.0	1.4

Таблица 3

Химический состав микрокремнезема, %

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	MnO
92,7	1,49	1,26	1,18	0,95	0,68	0,59	0,12

В промышленных условиях АО «Узметкомбинат» а были изготовлены брикеты из мелкодисперсных отходов, в том числе из микрокремнезема, завода в г. Ангрен. Испытания изготовленных брикетов в НИИЦ «Стром» показали, что механическая прочность брикетов на сжатие составляет 18,5–21,0 МПа, что существенно превышает требования, установленные для электротермических производств, сопротивление сбрасыванию (удару) – 96–97 % и пористость 32–33 % также удовлетворяют установленным требованиям.

В пятой главе «Испытания усовершенствованной технологии выплавки кремния и кремнистых сплавов» представлены результаты исследования выплавки технического кремния и кремнистого сплава – ферросилиция с использованием брикетированной шихты на экспериментальной и промышленной электродуговых печах.

В рамках решения задачи импортозамещения древесного угля был отработан карботермический процесс восстановления кремния из жильного кварца Заргарского месторождения с использованием в качестве углеродистого восстановителя природного газа (метана). Выплавки проводились в электродуговой печи по стандартной технологии с использованием традиционных восстановителей и подачей непосредственно в зону горения электрической дуги метана. Полученные результаты (табл. 4) показывают, что из Заргарского жильного кварца может быть получен кремний соответствующей марке Кр0 и выше, пригодный для химико-металлургического передела в поликристаллический кремний.

Таблица 4

Химический состав технического кремния, полученного по стандартной технологии (а) и с подачей в зону горения электрической дуги потока метана (б) с использованием Заргарского жильного кварца, в %

	Si	Fe	Al	Ca	Mg	Mn
а)	98,30	0,66	0,38	0,21	0,180	0,069
б)	98,85÷98,89	0,41÷0,44	0,20÷0,22	0,07÷0,11	0,01÷0,02	0,03÷0,07

Результаты плавки показали, что максимальная чистота продукта может быть получена при замене твердого углеродистого восстановителя метаном.

В рамках решения задачи – выявление кремнеземсодержащего сырья, пригодного для получения кремния высших марок, была изучена совокупность данных геологических служб о кварцевом сырье республики. Было выявлено высококачественное проявление кварцевой жилы «Акбуйринское» вблизи г. Самарканд с высоким содержанием SiO₂. Проводились исследования применимости жильного кварца «Акбуйринское» для получения технического кремния путем опытных плавки в электродуговой печи. Результаты выплавки кремния из акбуйринского жильного кварца и химический анализ типичных полученных образцов приведены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что полученный кремний по чистоте соответствует требованиям ГОСТ 2169-69, предъявляемым к продукту марки Кр00. Отсутствие в полученном продукте примеси бора позволяет отнести проявление «Акбуйринское» к разряду редких по этому показателю и особо привлекательных при производстве кремния для различных отраслей промышленности, в том числе для микроэлектроники и солнечной энергетики.

Таблица 5

Масс-спектрометрический анализ состава технического кремния, выплавленного из Акбуйринского жильного кварца

Проба	Si	Примеси, не более, %							
		Fe	Al	Ca	K	Ti	P	Mg	Mn
Ж-1Р-10	99,23	0,342	0,200	0,071	0,032	0,023	0,012	0,006	0,007
Ж-1К-2	99,29	0,296	0,196	0,072	0,027	0,022	0,012	0,006	0,006
Ж-1К-5	99,33	0,274	0,180	0,106	0,029	0,012	0,013	0,009	0,011
Ж-1К-сб	97,11	0,478	1,601	0,685	0,045	0,034	0,013	0,010	0,008

Испытания технологии выплавки технического кремния и ферросилиция из местных кварцевых песков. Испытания проводились в экспериментальной электродуговой печи серией опытных плавки брикетов,

изготовленных из местных кварцевых песков с использованием различных углеродистых восстановителей, в том числе, природного газа в качестве основного восстановителя.

Результаты испытаний показали, что при формировании брикетированной шихты, состоящей из кварцевых песков и твердого углеродистого восстановителя в различных сочетаниях и соотношениях типовых восстановителей, то есть древесного угля, нефтекокса и т.д. можно получить технический кремний с содержанием химических элементов в следующих диапазонах, в %: Si – 97,51÷ 97,82; Al – 0,60÷0,74; Fe – 0,64÷0,66; Ca – 0,39; Na – 0,18÷0,30; Ti – 0,14÷0,20; K – 0,04÷0,09; Mg – 0,01÷0,03. А максимальная чистота продукта была получена при полной замене указанных твердых восстановителей газообразным метаном, что иллюстрируется таблицей 6.

Действительно, по сортности полученный с использованием доступных в республике твердых углеродистых восстановителей технический кремний соответствует марке К1. Поэтому в циклах опытных плавов был установлен диапазон приемлемых соотношений между газообразным и твердым углеродистыми восстановителями, составляющий от 50/50 % до 80/20 %, в пределах которого исключались спонтанные броски тока. Максимальное содержание метана составило до 80 % от общего содержания углеродистого восстановителя. В результате плавов получен технический кремний с содержанием (в %): Si – 97,95÷98,15; Al – 0,60÷0,65; Fe – 0,41÷0,60; Ca – 0,19÷0,35.

Таблица 6

Результаты химического анализа технического кремния, полученного из брикетированного кварцевого песка с использованием углеродистого восстановителя в виде природного газа (метан)

Si	Al	Fe	Ca	Ti	Na	K	Mg
98,14	0,59	0,58	0,26	0,24	0,09	0,04	0,01
98,38	0,37	0,60	0,12	0,37	0,06	0,03	0,01
98,10	0,61	0,59	0,24	0,30	0,05	0,02	0,02

Разработанная технология позволяет стабильно получать технический кремний высоких марок с базированием исключительно на местное сырье. Важным преимуществом технологии является снижение удельных затрат электроэнергии в среднем на 8 %, что с учетом чрезвычайно высокой энергоемкости традиционной технологии представляется существенным обстоятельством.

По описанной выше технологии проводились выплавки кремнистого сплава - ферросилиция. Из местных кварцевых песков с использованием природного газа получены различные марки ферросилиция ФС25, ФС45, ФС65, ФС75 и ФС90. Массовая доля основного элемента – кремния Si и

примесных элементов С, Р, S, Al, Mn, Cr в полученных сплавах соответствует требованиям ГОСТ 1415-93.

Испытания технологии выплавки технического кремния и ферросилиция на брикетированной шихте с использованием отходов производства завода в г. Ангрэн проводились на экспериментальной электродуговой печи, а для выплавки ферросилиция – на промышленной электродуговой печи завода СП ООО «Uz-Shindong Silicon» в г. Ангрэн. Результаты испытаний на экспериментальной электродуговой печи показали пригодность брикетов, изготовленных из отходов – микрокремнезема, мелочи жильного кварца, кварцита, кокса, а также кварцевого песка для выплавки кремния и ферросилиция различных марок в электродуговой печи. По результатам испытаний получены образцы кремния и ферросилиция, химический анализ которых приведен в таблице 6.

Проведенные испытания позволили сделать следующие выводы: мелкодисперсные отходы производства могут быть возвращены в основной процесс путем их брикетирования; разработанная технология позволяет стабильно получать кремний и ферросилиций, соответствующие по химическому составу требованиям ГОСТ 2169-69 и 1415-93; технология позволяет за счет высокой газопроницаемости брикетов снизить удельный расход электроэнергии в среднем 8-10 % при выплавке кремния и до 16-20 % при выплавке ферросилиция различных марок по сравнению с плавками на обычной шихте, экономит кремнеземсодержащее сырье на 15-16% и углеродосодержащее сырье до 10% за счет использования отходов производства.

Таблица 7

Результаты химического анализа типичного образца технического кремния (а) и ферросилиция марки ФС65 (б), полученных с использованием брикетированной шихты из мелкодисперсных отходов Ангрэнского завода по производству ферросилиция

а)	Si	Al	Fe	Ca	Ti	Na
	98,11	0,58	0,56	0,32	0,25	0,09

б)	Si	Al	Mn	Cr	C	P	S
	66,23	1,14	0,32	0,28	0,09	0,04	0,02

Опытно-промышленные выплавки ферросилиция в печи 9600 КВА брикетированной шихтой из отходов производства проводились на заводе СП ООО «Uz-Shindong Silicon» в г. Ангрэн. Во время опытных плавки испытывались шихты следующих составов: стандартная шихта завода в г. Ангрэн; опытная шихта 1 – с заменой стандартной шихты на 6% и опытная шихта 2 – с заменой стандартной шихты на 12% брикетированной шихтой. В таблице 8 приведены данные об использованных шихтовых материалах в

ходе испытания и основные показатели печи 9600 КВА при выплавке ферросилиция.

Брикеты состояли из отходов производства – микрокремнезема, мелочи кокса, а также кварцевого песка. В ходе испытаний брикеты показали достаточную термостойкость и не разрушались на колошнике до температуры красного каления.

Таблица 8

**Основные технологические показатели выплавки
45%-го ферросилиция по результатам промышленных испытаний**

Наименование материалов и технологические показатели	Ед. изм.	Стандартная шихта	Опытная шихта 1	Опытная шихта 2
1. Сырье и материалы:				
<i>кварцит</i>	т/т	1,180	1,105	1,027
<i>нефтяной кокс</i>	т/т	0,671	0,621	0,569
<i>нефтяной пек</i>	т/т	0,088	0,088	0,088
<i>брикеты</i>	т/т	-	0,148	0,300
<i>железная стружка</i>	т/т	0,534	0,534	0,534
<i>древесная щепа</i>	т/т	0,177	0,177	0,177
<i>электродная масса</i>	т/т	0,069	0,070	0,068
2. Электроэнергия	МВт·ч/т	6, 5- 7,2	6,9	7,1
3. Производительность	т/ч	0,76 - 1,05	1,03	1,04

Химический анализ выплавленного ФС45 показал, что получен ферросилиций со содержанием кремния в пределах 44,3–46,65%. Содержание кремния и основных примесных элементов Al, P, S, Cr и Mn в полученных сплавах находится в пределах, регламентированных ГОСТ 1415-93.

Итоги проведенных испытаний показали: мелкодисперсные отходы могут быть возвращены в процесс производства ферросилиция в виде брикетированной шихты; предлагаемая технология возврата мелкодисперсных отходов в процесс позволяет экономит 205 кг кварцита и 140 кг кокса на тонну выплаваемого ферросилиция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе комплексного изучения кремнеземсодержащего сырья республики впервые показано, что жильный кварц из проявления «Акбуйринское» с содержанием SiO_2 от 98,0 до 99,6% пригоден для выплавки технического кремния высших марок с чистотой не менее 99,0%. Рекомендовано, что по качественным показателям и запасам данное сырье представляет интерес для промышленной разработки и освоения производства технического кремния высокой марки и кремнистых сплавов.

2. Достигнуто, что чистота местных кварцевых песков после обогащения простыми методами – просеиванием, классификации по классам и промывкой достигают по SiO_2 98,45-99,2 % при содержании наиболее вредных примесей на уровне (в %) Al_2O_3 - 0,32; CaO - 0,09; Fe_2O_3 - 0,10, что является достаточным условием их применения для выплавки кремния высших марок и кремнистых сплавов. Рекомендовано использование кварцевых песков для производства кремния и его сплавов в качестве местных альтернативных сырьевых материалов.

3. Впервые предложен и реализован новый способ выплавки кремния и кремнистых сплавов, предусматривающий подачу метана в зону горения электрической дуги печи и использование брикетированной шихты, позволяющий заменить импортируемые традиционные углеродистые восстановители в виде древесного угля и кокса на 80% природным газом (метаном) и получить технический кремний марки Кр0 и Кр00, а также ферросилиций любых марок.

4. Разработана технология брикетирования местных кварцевых песков и углеродистых восстановителей с использованием связующего на основе жидкого стекла применительно к выплавке кремния и кремнистых сплавов. Достигнуто, что брикеты, изготовленные из местных кварцевых песков, имеют механическую прочность на сжатие – до 280 кг·с/см², пористость – до 40 % и термическую устойчивость при $T=1400$ °С, что соответствует установленным требованиям.

5. Разработанные новые технологии выплавки технического кремния и ферросилиция на основе использования брикетированной шихты позволяют снизить удельный расход электроэнергии, соответственно, на 8-10 % и 16-20 % при получении этих продуктов по сравнению с технологией, основанной на использовании кусковой шихты с применением традиционных восстановителей.

6. Определены основные физико-химические характеристики мелкодисперсных шихтовых и пылевидных отходов Ангреного завода ферросилиция. Установлено, что размеры частиц микрокремнезема, улавливаемого в системе газоочистки, составляют 0,1-1,0 мкм при содержании SiO_2 в них – не менее 92 %, что явилось основой для утилизации его путем добавления в состав брикетов и возврата в технологический процесс.

7. Разработана технология брикетирования мелкодисперсных отходов производства кремния и его сплавов, предусматривающая измельчение шихтовых отходов с учетом их средних размеров и насыпной плотности, позволившая до 3 раз увеличить содержание микрокремнезема в брикетах по сравнению с лучшими достижениями в этой отрасли. Опытная партия брикетов, изготовленная по разработанной технологии в АО «Узметкомбинат», обладает высокой механической прочностью – от 18,0 до 21,0 МПа, прочностью на сбрасывание - 96 – 97 % и пористостью - до 33 %, что соответствует требованиям к брикетам для плавки в промышленном производстве.

8. Проведением промышленных испытаний разработанной технологии в электродуговой печи мощностью 9600 КВА доказана возможность возврата мелкодисперсных отходов производства завода в г. Ангрен в технологический процесс производства ферросилиция. По результатам промышленных испытаний показано, что применение данной технологии обеспечивает экономию 205 кг кварцита и 140 кг кокса на 1 тонну производимого продукта. Экономическая эффективность применения технологии составила 360 тыс. сум/т.

**ONE TIME SCIENTIFIC COUNCIL ON THE BASE OF SCIENTIFIC
COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.30.05.2018.FM/T.34.01 AT PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE**

INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

KURBONOV MIRTEMIR SHODIEVICH

**PERFECTION OF THE TECHNOLOGY OF SMELTING
OF TECHNICAL SILICON AND SILICEOUS ALLOYS**

**05.02.01 – Material science in mechanical engineering. Foundry.
Heat treatment and processing of metals under pressure.
Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals**

**ABSTRACT
OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc) ON TECHNICAL SCIENCES**

TASHKENT – 2018

The subject of doctoral dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.4.DSc/T195.

Dissertation has been prepared at the Institute of Ion-plasma and laser technologies.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been posted on the website of the Scientific Council (www.fti.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (<http://www.ziynet.uz/>).

Scientific consultant: **Ashurov Khatam Bahronovich**
doctor of sciences in technics

Official opponents: **Yolkin Konstantin Sergeevich**
doctor of sciences in technics

Sharipov Khasan Turapovich
doctor of sciences in chemics

Aliev Rayimjon
doctor of sciences in technics

Leading organization: **Navoi State Mining Institute**

The defense will take place on «___» _____ 2018 at _____ at the meeting of one time Scientific Council on the base of Scientific Council number DSc.30.05.2018.FM/T.34.01 at Physical-technical institute. Address: 100084, 2b, Chingiz Aytmatov str., Tashkent city, Uzbekistan. Phone: (99871) 235-42-91, e-mail: ftikans@uzsci.net.

The doctoral dissertation is can be looked through in the Information resource centre of the Physical-technical institute (is registered №____). Address: 100084, 2b, Chingiz Aytmatov str., Tashkent city, Uzbekistan. Phone: (+99871) 235-30-41.

The abstract of the dissertation sent out on «___» _____ 2018.
(mailing report № _____ on «___» _____ 2018).

N.R. Avezova

Chairman of scientific council on award of scientific degree of doctor of sciences, doctor of sciences in technics

O.A. Abdulkhaev

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degree of doctor of sciences, PhD

N. Talipov

Chairman of scientific seminar at Scientific council on award of scientific degree of doctor of sciences, doctor of sciences in technics

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The aim of the study is to improve the technology of smelting technical silicon and siliceous alloys in the ore reduction arc furnace using local raw materials and alternative carbonaceous reductants.

Scientific novelty of the study:

a method has been developed for smelting silicon and siliceous alloys, which involves the supply of methane to the combustion zone of the electric arc of the furnace;

the technology of electric arc melting of technical silicon and its alloys with the use of a briquetted charge formed from local quartz sands and fines of carbonaceous reductants with the introduction of a binder based on sodium liquid glass was developed;

the possibility of using local quartz sands for the production of silicon and its alloys is justified;

the possibility of smelting high-grade technical silica with a purity of at least 99.0% of local vein quartz was demonstrated for the first time;

it has been established that the developed technology based on briquetted charge allows to reduce the specific electricity consumption by 8-10% and 16-20% in silicon and ferrosilicon smelting, respectively, compared to the technology based on the use of lumps with traditional reductants;

the technology of briquetting of fine-dispersed batch waste and dust of a gas cleaning system for the production of silicon and siliceous alloys, microsilica, has been developed.

Introduction of research results. Based on the results of a study on improving the technology of smelting of technical silicon and siliceous alloys:

on the method of obtaining technical silicon received a patent for the invention of the Agency of Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan (No. IAP 05440, 2014). As a result, the new technology of silicon smelting allowed the use of local quartz sands instead of expensive quartz and veined quartz, import substitution of 80% of the traditional carbonaceous reductant with natural gas and a reduction in the specific electricity consumption by 8-10%;

on the method of smelting ferrosilicon received a patent for the invention of the Agency of Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan (No. IAP 05557, 2015). As a result, the new technology of ferrosilicon smelting allowed the use of fine waste generated in the production of silicon and silicon alloys, instead of expensive silica-containing materials and carbonaceous reducing agents, replacing 80% of carbonaceous reducing agents with natural gas and reducing specific consumption by 16–20%;

the new technology of ferrosilicon smelting was introduced at the Uz-Shindong Silicon JV in Angren for the production of ferrosilicon (reference No. 91-T dated April 5, 2018 to Uz-Shindong Silicon JV). As a result, 205 kg of quartzite and 140 kg of coke are saved for the production of 1 ton of product, as well as the economic efficiency of 360 thousand sum;

a new silicon smelting technology was introduced in the system of the State Committee on Geology of the Republic of Uzbekistan (reference No. 06-906 of the State Committee of Geology of the Republic of Uzbekistan on April 2, 2018). The results of the implementation made it possible to draw a conclusion on the suitability of the quartz vein of the Akbairinskoye manifestation for the production of technical grade silicon with a silicon content of 99.2 - 99.3%.

Structure and scope of the dissertation. The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, a list of references and an appendix. The thesis is set out on 198 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Абдурахманов Б.М., Ашууров М.Х., Ашууров Х.Б., Кадыров А.Л., Курбанов М.Ш., Оксенгендлер Б.Л. Проблемы и перспективы кремниевого производства в Центральной Азии // Худжанд, Нури маърифат, 2016, 420 с.

2. Абдурахманов Б.М., Ашууров Х.Б., Курбанов М.Ш. Химико-металлургический передел кремнезема в моносилановое сырье для солнечной энергетики и наноэлектроники // Ташкент, Navroz, 2018, 505 с.

3. Abdurakhmanov B.M., Ashurov H.B., Kurbanov M.Sh., Nuraliev U.M. Modernization of the Technology for Obtaining Technical Silicon for Solar Energy. Applied Solar Energy. – USA. 2014, Vol. 50. No 4. pp. 282-286 (№41, SCImago, IF=0,279).

4. Kurbanov M.Sh., Abdurakhmanov B.M., Ashurov H.B. Prospects for the development of silicon production and solar energy products in the Republic of Uzbekistan // Applied Solar Energy. – USA. 2018, Vol. 54, N2, -pp. 85-90 (№41, SCImago, IF=0,279).

5. Абдурахманов Б.М., Адиллов М.М., Ашууров М.Х., Ашууров Х.Б., Курбанов М.Ш. Оптимизация технологии переработки узбекистанских кварцитов в кремниевое сырье для солнечной энергетики // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2011, - С. 83-87 (04.00.00; №8)

6. Ашууров М.Х., Ашууров Х.Б., Курбанов М.Ш. Оптимизация карботермического процесса выплавки технического кремния // Доклады Академии наук РУз, 2013, №3. -С. 26-29 (01.00.00; №7).

7. Абдуллаев А.Н., Абдурахманов Б.М., Атабаев И.Г., Ашууров Х.Б., Курбанов М.Ш., Лутпуллаев С.Л., Хажиев М. Об оптимизации технологии получения технического кремния и использовании перекристаллизации для его очистки // Узбекский физический журнал, 2013, №1-2, -С. 75-81 (01.00.00; №5).

8. Турамуратов И.Б., Ашууров Х.Б., Панченкова Л.А., Курбанов М.Ш., Абдурахманов Б.М. Сырьевая база кремниевой солнечной энергетики и микроэлектроники в Республике Узбекистан // Геология и минеральные ресурсы, 2014, №4, -С. 3-12 (04.00.00; №2).

9. Спешилов Е.Г., Дошлов О.И., Курбанов М.Ш. Эффективный углеродистый восстановитель для производства карбида кремния на основе глубокой переработки нефтяного кокса // Узбекский физический журнал, 2014, №6. -С. 459-465 (01.00.00; №5).

10. Ашууров Х.Б., Курбанов М.Ш., Абдурахманов Б.М., Салихов Ш.И. Разработка технологии выплавки ферросилиция на основе отечественного сырья. ДАН РУз, 2016, №1, -С. 31-34 (01.00.00; №7).

11. Абдурахманов Б.М., Ашууров Х.Б., Курбанов М.Ш., Федоров Е.Г. Комплексная оценка пригодности жильного кварца из вновь открытого

узбекистанского месторождения «Акбуйринское» для промышленного производства технического кремния и ферросилиция // Узбекский физический журнал, 2016, т. 18, №4. -С. 282-289 (01.00.00; №5).

12. Ашуров М.Х., Абдурахманов Б. М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш. Использование микрокремнезема в технологических процессах выплавки технического кремния и ферросилиция // Доклады Академии наук РУз, 2017 г, №2, -С. 24-27 (01.00.00; №7).

13. Абдурахманов Б.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М. Повышение рентабельности и экологической чистоты производства технического кремния и ферросилиция // Узбекский физический журнал, 2017г, Vol. 19 (5), -С. 314-322 (01.00.00; №5).

14. Миркамалов Р.Х., Федоров Е.Г., Курбанов М.Ш. Минерально-сырьевая база кварцевого сырья Узбекистана для новейших технологий // Геология и минеральные ресурсы, 2017, №5, -С. 77-83 (04.00.00; №2).

15. Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М., Курбанов С.С. Использование микрокремнезема в технологии получения кремния и ферросилиция // Химия и химические технологии, 2018г, №1, -С. 8-12 (02.00.00; №3).

16. Патент РУз № IAP 05440, Способ получения технического кремния/ Абдурахманов Б.М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Салихов Ш.И. // Расмий ахборотнома №8 от 31.08.2017, -С.41.

17. Патент РУз № IAP 05557, Способ получения ферросилиция/ Абдурахманов Б.М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Салихов Ш.И. // Расмий ахборотнома, №3 от 30.03.2018, -С.73.

II бўлим (II часть; part II)

18. Абдурахманов Б.М., Адилов М.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Кадыров А.Л., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М. Пути повышения экономических и экологических показателей технологических процессов выплавки технического кремния и ферросилиция // Ученые записки, №3 (42), 2017, -С. 86-101.

19. Абдурахманов Б.М., Адилов М.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш. Задачи и перспективы кремниевого и фотоэлектрического производств в Республике Узбекистан //Материалы Международного научного симпозиума «Возобновляемые источники энергии: проблемы и перспективы», г.Худжанд, 2011, -С. 19-29.

20. Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М. Брикетирование мелкодисперсных сырьевых материалов для выплавки технического кремния в электродуговой печи. //Материалы Республиканской научно-технической конференции «Перспективы и достижения комплексной химической переработки топливных и минеральных сырьевых ресурсов Узбекистана», 17-18 октября 2013г, Ташкент. -С. 67-68.

21. Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М. Технология получения технического кремния из местных кварцевых песков в электродуговой печи//

Материалы 6-й Международной конференции по физической электронике ИРЕС-6, 23-25 октября 2013г, Ташкент 2013. -С. 130-132.

22. Курбанов М.Ш., Ашуров Х.Б., Абдурахманов Б.М., Нуралиев У.М. Особенности технологии получения технического кремния с учетом сырьевой базы Республики Узбекистан. //Сб. тезисов X Конференции по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе «Кремний - 2014», Иркутск, 7-12 июля 2014г, -С.98.

23. Абдурахманов Б.М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М. Использование местных кварцевых песков для получения технического кремния и ферросилиция //Сб. трудов Республиканской научно-технической конференции «Актуальные проблемы инновационных технологий химической, нефтегазовой и пищевой промышленности», Ташкент, 2014 й, - С.127-128.

24. Абдурахманов Б.М., Ахмедов М.К., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М. Технология выплавки металлургического кремния и высококремнистого ферросилиция с использованием местных кварцевых песков на брикетированной шихте //Материалы Республиканской научно-практической конференции «Экономика и перспективы развития возобновляемых источников энергии в Республике Таджикистан», Худжанд, 12 – 13 ноября 2015г, -С. 10-21.

25. Абдурахманов Б.М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М., Мухтаров З.Э. Освоение технологии выплавки технического кремния и высококремнистого ферросилиция с использованием брикетированной шихты на основе местного сырья // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Технологии и физика микроэлектроники, наночастиц», г. Андижан, 4-5 декабря 2015г, -С. 29-30.

26. Абдурахманов Б.М., Ахмедов М.К., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М. Технология выплавки ферросилиция с использованием брикетированной шихты на основе местного сырья // Сб. трудов Республиканской научно-технической конференции «Актуальные проблемы инновационных технологий химической, нефтегазовой и пищевой промышленности», Ташкент, 18-19 ноября 2015 г, -С. 92-93.

27. Абдурахманов Б.М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М., Адилов М.М. Новые ресурсо – и энергосберегающие технологии получения технического кремния и ферросилиция с использованием отечественного сырья // Сб. научных статей III Международной научно-практической конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении», 19-21 апреля 2016 года, Андижан, -С. 121-126.

28. Курбанов М.Ш., Нуралиев У.М., Курбанов С.С. Ресурсосберегающие технологии выплавки кремния и ферросилиция с использованием окускованной шихты // Сб. научных статей IX научно-технической конференции «Проблемы физики и роль одаренной молодежи в ее развитии», Ташкент, 11-12 мая 2016 года, -С. 279-283.

29. Курбанов М.Ш., Абдурахманов Б.М., Ашууров Х.Б., Нуралиев У.М., Ким Е.П. Эффективные технологии выплавки кремния и ферросилиция с использованием отходов производства и нетрадиционного углеродистого восстановителя // Сб. тезисов VIII Международного Конгресса «Цветные металлы и минералы», г. Красноярск, Россия, 13-15 сентября 2016 г., разд. 3 «Производство кремния», -С. 174.

30. Курбанов М.Ш., Абдурахманов Б.М., Ашууров Х.Б., Ким Е.П. Возврат мелкодисперсных отходов производства технического кремния и ферросилиция в технологический процесс // Сб. тезисов XI Конференции по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе, «Кремний - 2016», г. Новосибирск, Россия, 12-15 сентября 2016, -С. 87.

31. Курбанов М.Ш., Абдурахманов Б.М., Ашууров Х.Б., Федоров Е.Г. Получение технического кремния из жильного кварца вновь открытых месторождений Республики Узбекистан // Сб. тезисов XI Конференции по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе, «Кремний - 2016», г. Новосибирск, Россия, 12-15 сентября 2016, -С. 135.

32. Abdurakhmanov B., Ashurov M.Kh., Ashurov Kh., Kurbanov M.Sh. // Technical silicon, as the basis for the creation in the Republic of Uzbekistan of new technologies and industries of ferrous and non-ferrous metallurgy, electronic engineering and solar energy // International Conference «Fundamental and applied problems of physics», Tashkent, Uzbekistan, June 13-14, 2017, -pp.104-109

33. Kurbanov M., Abdurakhmanov B., Ashurov Kh., Nuraliev U., Tulaganov S. The usage of fine disperse waste production to obtain silicon and ferrosilicon // International Conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects, Navoi, Uzbekistan, Oktober 26-27, 2017,-pp.203-207.

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририяида таҳрирдан
ўтказилди (05.10.2018 йил)

Босишга рухсат этилди: 26.10.2018 йил
Бичими 60x45 ¹/₈, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3,7. Адади: 100. Буюртма: № _.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.