

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА  
ДАУКЕЕВА»

ISSN 2790-0886

# В Е С Т Н И К

## АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Учрежден в июне 2008 года

Тематическая направленность: энергетика и энергетическое машиностроение, информационные,  
телекоммуникационные и космические технологии

---

**4 (59)**

**2022**

Импакт-фактор - 0.095

Научно-технический журнал  
Выходит 4 раза в год

Алматы

# ВЕСТНИК АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ14VPY00024997

выдано

Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

Подписной индекс – 74108

---

### Бас редакторы – главный редактор

Стояк В.В.

к.т.н., профессор

Заместитель главного редактора  
Ответственный секретарь

Жауыт Алгазы, доктор PhD  
Шуебаева Д.А., магистр

### Редакция алкасы – Редакционная коллегия

**Главный редактор – Стояк В.В.**, кандидат технических наук, профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

**Заместитель главного редактора – Жауыт А.**, доктор PhD, ассоциированный профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

**Сагинтаева С.С.**, ректор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, доктор экономических наук, кандидат физико-математических наук, профессор математики, академик МАИН;

**Ревалде Г.**, доктор PhD, член-корреспондент Академии наук, директор Национального Совета науки, Рига, Латвия;

**Илиев И.К.**, доктор технических наук, Русенский университет, Болгария;

**Белоев К.**, доктор технических наук, профессор Русенского университета, Болгария;

**Обозов А.Д.**, доктор технических наук, НАН Кыргызской Республики, заведующий Лабораторией «Возобновляемые источники энергии», Кыргызская Республика;

**Кузнецов А.А.**, доктор технических наук, профессор Омского государственного технического университета, ОмГУПС, Российская Федерация, г. Омск;

**Алипбаев К.А.**, PhD, доцент Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

**Зверева Э.Р.**, доктор технических наук, профессор Казанского государственного энергетического университета, Российская Федерация, г. Казань;

**Лакно В.А.**, доктор технических наук, профессор Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, кафедра компьютерных систем, сетей и кибербезопасности, Украина, Киев;

**Омаров Ч.Т.**, кандидат физико-математических наук, директор Астрофизического института имени В.Г. Фесенкова, Казахстан;

**Коньшин С.В.**, кандидат технических наук, профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

**Тынымбаев С.Т.**, кандидат технических наук, профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан.



## ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

FTAMP 44.31.35

[https://doi.org/10.51775/2790-0886\\_2022\\_59\\_4\\_28](https://doi.org/10.51775/2790-0886_2022_59_4_28)

### ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ҚОНДЫРҒЫЛАР ТӨСЕМДЕРІНІҢ БҰЗЫЛУ СЕБЕПТЕРІН ТАЛДАУ

Н.М. Арипова\*, А.Е. Карманов, Е.В. Приходько, А.С. Никифоров

Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

E-mail: nazgul\_2010@mail.ru, [Aman270685@mail.ru](mailto:Aman270685@mail.ru), [john1380@mail.ru](mailto:john1380@mail.ru), [aleke4599@mail.ru](mailto:aleke4599@mail.ru)

*Аңдатпа.* Мақалада жоғары температуралы қондырғылардың: айналмалы пештердің және ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштерінің футеровкасының бұзылу сипаттамасы қарастырылады. Жоғары температуралы қондырғыларды зерттеудің бірінші кезеңі термовизиялық тексеру жүргізілді, ол футеровканың қалыңдығы мен біркелкі қызуын бағалауға және шөміштің ішкі және сыртқы бетіндегі температура өрістері туралы деректерді жанасусыз алуға мүмкіндік берді.

Бұзылу себептерін талдау үшін ақпарат алудың екінші кезеңі қаптаманың ішкі бетін және қаптаманың жеке элементтерін зерттеу болды. Екі жағдайда да қарапайым көзбен бекітілген айтарлықтай жарықтар тіркеледі, бұл төсемнің жылу режимдерінің бұзылуын көрсетеді.

Айналмалы пештер мен құю шөміштерін зерттеу нәтижелері мен пайдалану жағдайларын талдау олардың төсемдерінің тұрақтылығына келесі факторлар көбірек әсер ететінін көрсетеді:

- жұмыс ортасымен жанасатын аймақта пайда болатын температуралық қысу кернеулері. Құю шөміштері үшін, сонымен қатар, төсемнің сыртқы жағында салқындаған кезде пайда болатын температуралық кернеулер, бұл жағдайда-балқыту кезеңінде;

- жұмыс ортасының балқымасының химиялық әсері;

- металды төгу кезінде балқыма ағынының механикалық әсері (құю шөміші үшін).

Жүргізілген талдау қаптаманың беріктігіне әсер ететін ең маңызды жұмыс факторы төсем қимасы бойынша температура айырмашылығынан туындаған термиялық кернеулер екенін көрсетті.

**Түйін сөздер:** футеровка, жоғары температуралы қондырғылар, бұзылу, жылыту.

#### Кіріспе

Қазіргі уақытта әртүрлі жоғары температуралы қондырғылар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады: өнеркәсіптік пештер, құю шөміштері, кептіру және жылу электр станциялары және т.б.

Жоғары температуралы қондырғылардың төсемі физикалық тұрғыдан тез тозады және оның беріктігі, әдетте, қондырғылардың жөндеу науқанының ұзақтығын анықтайды. Сондықтан төсемнің беріктігі мен сенімділігін арттыру пештің жөндеу аралық жұмыс науқанын ұзартуды қамтамасыз етеді.

Жабдықты пайдалану процесінде қарастырылып отырған агрегаттардың қаптамасы бұзылады және жөндеуге жатады. Отқа төзімді материалдарға жұмсалатын шығындар түпкілікті өнімнің құнына айтарлықтай әсер ететіндігін ескере отырып, агрегаттарды кептірудің, жылытудың және салқындатудың технологиялық режимдерін әзірлеу арқылы шығарылатын өнімнің бірлігіне шаққандағы отқа төзімділіктің үлестік шығынын азайту үшін инновациялық технологияларды қолдану қажеттілігі туындайды.

Жүргізілген талдау жоғары температуралы қондырғылар төсемдерінің қызмет ету мерзімінің төмендеуі бірқатар факторлардың әсерінен болатындығын көрсетті:

- отқа төзімді материалды коррозияға ұшырататын технологиялық материалдың агрессивті ортасымен химиялық өзара әрекеттесу [1-2].

Температураның жоғарылауымен қождың сұйық қозғалғыштығы артады, отқа төзімді көміртекнің тотығу процестері, шлак компоненттерінің отқа төзімді оксид компонентімен әрекеттесуі жеделдетіледі және төсемнің беріктігі төмендейді.

Агрессивті қождың әсері тек жергілікті түрде әсер етеді (әдетте, отқа төзімді материалдардың 4-5 қатарында). Отқа төзімді материалдарды пайдалану және төсеніштің ішкі бетінде қайық жасау бұл фактордың өзектілігін айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік берді [3].

Сонымен қатар, кейбір жұмыстарда технологиялық материалдың қаптамаға агрессивті әсері айтарлықтай әсер етпейтіні атап өтілген, дегенмен отқа төзімді материалды сіндіру термомеханикалық сипаттағы жарықтардың пайда болуына ықпал етеді. Сонымен, авторлар [4] отқа төзімді материал мен технологиялық материал арасында айтарлықтай термохимиялық реакция жүрмейтінін көрсетеді. Шын мәнінде, балқыма 5 мм терендікке дейін капиллярлық әсер ету арқылы ашық тесіктерге енеді. Бұл инфильтрация аймағының астында кірпіштің барлық түрлерінде жүйелі түрде елеулі жарықтар көрінеді.

- төсемді орнату кезінде жоғары температура мен температуралық кернеудің айтарлықтай жоғарлауы көрінеді. Жоғары температура отқа төзімді материалды ерітіп, оны балқытуда еріту қауып туады. Футеровканың қимасы бойынша температураның өзгеруі температура кернеулерінің болуына байланысты футеровканың бұзылуына әкеледі [5-6] жұмысында, авторлар айналмалы пеште қыздыру кезінде төсемнің механикалық бұзылуына термиялық әсердің өзектілігін атап өтеді. Сонымен қатар, осы саладағы зерттеулердің көпшілігі қыздыру процесінде механикалық кернеу жағдайына термиялық әсердің өзектілігіне қарамастан, стационарлық жұмыс режимін зерттеуге бағытталған.

- тозған жұмыс қабатын механикалық жабдықпен алып тастау кезінде, сондай-ақ тасымалдаумен (стационарлық емес агрегаттар үшін және т. б.) туындайтын механикалық зақымданулар; қолданылатын технологияға сәйкес келмейтін отқа төзімді заттарды пайдалану; технологиялық режимдерді жүргізу кезіндегі қателер нәтижесінде қондырғылар тез істен шығады.

### **Амалдар**

Отқа төзімді материалдар қызметінің талдауы жоғары сапалы отқа төзімділікті қажет ететін қатаң жұмыс жағдайлары бар жана технологиялық процестерді құру отқа төзімділікті дамыту, жетілдіру және олардың қымбаттауы қажеттілігін тудыратынын көрсетті. Шикізат пен энергетикалық ресурстардың бағасы да соңғы өнімнің бағасына әсер етеді.

Бүгінгі таңда ең заманауи болып әр түрлі көрсеткіштердің жиынтығы тұрғысынан футеровканы қолдану тиімділігін бағалау тәсілі көрінеді. Оларға тек шығындар ғана емес (бастапқы төсеу және жөндеу жұмыстарына арналған материалдар, жөндеу жұмыстарына өндіріс шығындары, тиісті еңбек шығындары және төсемді кептіру және жылыту шығындары және т. б. д.), сонымен қатар оң нәтиже беретін (жөндеу аралық циклды арттыру есебінен өндірісті ұлғайту, отқа төзімді заттардың сапасы есебінен де, оларды дұрыс пайдалану есебінен де беріктікті арттыру, отқа төзімді шығындарды қоса алғанда, күрделі жаңғырту шығындарын азайту. Осылайша, төсемнің беріктігін төмендетудің және оның қызмет ету мерзімін ұзартуға бағытталған іс-шаралардың жоғары температуралы қондырғылар жұмысының экономикалық құрамдас бөлігіне әсер ету мәселесі маңызды болып табылады.

Жоғары температуралы агрегаттарды тексерудің бірінші кезеңі термовизиялық тексеру болды. Жылу түсіргіштерді пайдалану төсемді жылытудың қалыңдығы мен біркелкілігін бағалауға ғана емес, сонымен қатар шөміштің ішкі және сыртқы бетіндегі температура өрістері туралы деректерді контактісіз алуға мүмкіндік береді. Жоғары температуралы қондырғыны пайдалану кезінде температура өрістері туралы ақпарат алу үшін жылу бейнелеу жүйелерін тиімді қолдану.

Бұзылу себептерін талдау үшін ақпарат алудың екінші кезеңі қаптаманың ішкі бетін және қаптаманың жеке элементтерін зерттеу болды. Қаптаманың жылу режимдерінің айтарлықтай бұзылуы отқа төзімді беттерде қарапайым көзбен бекітілген жарықтар түрінде көрінеді.

### **Нәтижелер**

Айналмалы пештердің футеровкасы

Айналмалы пештердің төсемдерін пайдаланудың практикалық тәжірибесінен қаптаманың тозуының негізгі себептері химиялық факторларға емес, механикалық және термиялық факторларға байланысты екендігі шығады [7]. Қаптаманың тозуы динамикалық жүктеме нәтижесінде де пайда болады, әсіресе пештің суық ұшында: үздіксіз жүктелген шикі кокстың ылғалдылығы және температураның жиі ауытқуы. Кокс тиеу алаңында төсемнің тозуы соққы мен абразивтілікке байланысты күшейеді жүктелген кокс сынықтарының (75 мм-ге дейін) әсері. Бірақ төсемнің абразивті тозуы пештің шағын, жергілікті аймағының маңызды факторы болып табылады.

Жоғары температуралы қондырғылар қаптамаларының тұрақтылығына әсер ететін тағы бірнеше факторларды ажыратуға болады: Технологиялық материал мен қаптаманың жанасу уақыты,

жылу оқшаулағыш қабаттың болуы және т.б. бірақ бұл факторлар жоғары температуралы қондырғылардың бір бөлігі үшін ғана маңызды және олардың әсері анықтаушы емес.

Осыған байланысты осы жұмыста бірнеше жоғары температуралы агрегаттардың футеровкаларының бұзылу себептерін зерттеу және талдау нәтижелерін келтіру орынды болып көрінеді.

Сазбалшық өндірісінің агломерация және кальцийлеу пештерінің мысалында айналмалы пештердің төсемінің жылу жұмысын қарастырыңыз. Бұл пештерді шамамен 4 аймаққа бөлуге болады.

Осылайша, пісіру пештің ұзындығы бойынша материал әртүрлі физикалық өзгерістерге ұшырайтын аймақтар бар және сәйкесінше төсемнің жылу жұмысында айырмашылықтар бар. Бірінші аймақ-кептіру. Бұл аймақтың ерекшелігі-төмен температура, нәтижесінде кірпіш тігісінің пісуі уақыт бойынша артта қалады немесе мүлдем болмайды. Мезгілмен, пеш айналғанда, алау аймағынан суық материал футеровкаға оралады, бұл кірпіштің жұмыс бетінің салқындауына, демек сызықтық шөгуге әкеледі, сондықтан кірпіштің тігістен бөлінуі мүмкін.

Кальцинация аймағы ең жақсы жұмыс жағдайларына ие-жұмыс бетіндегі кірпіш тігістермен агломерацияланған, қысу орташа, тығыз. Кальцинация аймағында футерлердің қызмет ету мерзімін қысқартатын объективті процесс бар – шамоттың шихта заттарымен сіңуіне байланысты жоғарғы аймақтағы кірпіштің деградациясы. Кірпіштің негізгі тозуы пешті жылыту және салқындату процестерінің қанағаттанарлықсыз жүргізілуіне байланысты отқа төзімді бөліктердің сынуы нәтижесінде пайда болады. Төсемнің бұзылуының әдеттегі үлгісі-тереңдігі 20-30 мм-ге дейін, ұзындығы 3,5-4 метрге дейінгі жарықтар (1 а, б-сурет). 1 (б) суретте тереңдігі шамамен 15 мм, ұзындығы 40 мм-ге дейін отқа төзімді қабыршақ көрсетілген. Бұл аймақта қабыршақтар жиі кездеспейді (5 м<sup>2</sup>-ге шамамен 2).



а



б

1 - сурет – Пісіру пешінің футеровкасының бұзылуы

Пісу аймағындағы футеровка гарнисажбен жабылуы керек және отқа төзімді заттардың тозуы минималды болуы керек. Жүргізілген зерттеулер пісу аймағындағы футеровканың тозуы шамоттың сілтілі сұйық фазаға төзімділігінің төмен дәрежесіне байланысты гарнисаждың болмауына байланысты екенін көрсетті.

Тозудың екінші компоненті-футеровканың "күйіп қалуы". "Күйік" сілтілі балқымалармен шамоттың тозуының термохимиялық процесінің нәтижесі болып табылады. 2-суретте пісу аймағының корпусының сыртқы бетінің термограммасында қаптаманың ішінара "күйіп қалуының" мысалы көрсетілген.



2 – сурет – Пісіру пешінің сыртқы беті

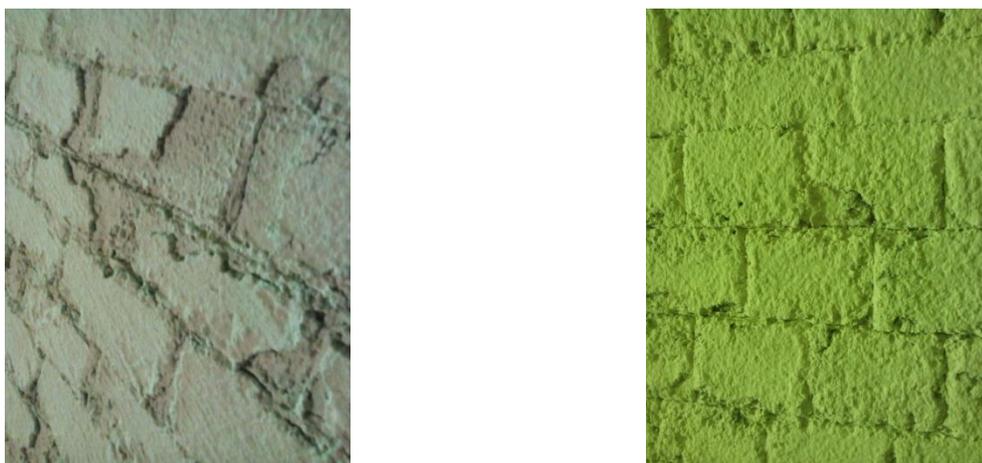
Салқындату аймағының футеровкасы, біріншіден, пештің айналуынан және шамамен 950 °С температурадағы спектің және 300 °С температурадағы ауаның кезектесіп әсер етуінен туындаған температураның циклдік өзгеруіне байланысты тезірек тозады. Бұл кірпіштің қабыршақты сынуы түрінде отқа төзімді заттардың бұзылуына әкеледі.

Кальцинация пештері термиялық жағынан агломерация пештеріне ұқсас. Оның жұмысының ерекшеліктеріне қысқаша тоқталайық және суреттермен қаптаманың тозуын суреттейік. Ішінде толық ұзындықтағы пеш шшу маркалы отқа төзімді шамот кірпішімен қапталған. Ұзындығы 60-65 м (тйеу жағынан) төсемнің қалыңдығы 200 мм, қалған ұзындығы – 230 мм.

Пештің ұзындығы бойынша бірінші кептіру аймағы онда гидраттың сыртқы (физикалық) ылғалдылығы алынып тасталады, материал 200-250 °С дейін қызады. кептіру аймағына түсетін газдардың температурасы шамамен 600 °С, шығу кезінде – шамамен 200-250 °С.

Әрі қарай екінші аймағы кальцийлену аймағы орналасқан, онда барлық кристалдану (химиялық) ылғал материалдан алынып тасталады, ал материал 900-950°С дейін қызады, ал гамма-модификацияланған сазбалшық пайда болады, шығатын газдардың температурасы 600-700 °С шамасында.

Үшінші аймақ-алюминий тотығының альфа-модификациясының белсенді түзілуі басталатын қыздыру аймағы. Қыздыру аймағынан шығатын сазбалшық температурасы – 1200 °С, газ ортасының температурасы – 1300-1400 °С. Бұл аймақтың футеровкасының тән бұзылуы – сирек қабыршықтар мен жарықтар (3-сурет).



3 – сурет – Қыздыру аймағының футеровкасының жағдайы

Төртінші-салқындату аймағы. Салқындату аймағында жанармай алауының артында тұрған алюминий тотығы 600 ±900 °С температураға дейін салқындатылады. бұл аймақта агломерация пешіне ұқсас циклдік температуралық режимдерге байланысты төсемнің қабыршақты сыну түрінде тозуы орын алады (4-сурет).



4 – сурет – Футеровканың қабыршақты түрінде тозуы

Осылайша, айналмалы пештердің қаптамасының беріктігі технологиялық материалдың химиялық әсерінен гөрі температураның өзгеруіне байланысты. Осыған байланысты пештерді пайдалану жөніндегі нұсқаулықта қалаудың беріктігін қаптамасыз ету бойынша мынадай шаралар көзделген: пештің дұрыс технологиялық жүрісі және оның тоқтап қалмауы.

Айта кету керек, айналмалы пештің қаптамасы корпусстың әр айналымында әртүрлі температурадағы ортаға – технологиялық материал мен пеш ортасына ұшырайды. Шамның әр айналымында газ ортасымен жанасу кезінде төсемнің температурасы көтеріледі, ал күйдірілген материалмен жанасу кезінде ол төмендейді. Қаптаманың беткі температурасының ауытқу амплитудасы 40-100 °С-қа жетеді, ал олардың саны тәулігіне 1400 құрайды [8].

Құю шөміштерінің футеровкасы

Құю шөміштері олардағы балқыманы ағызуға, құю орнына тасымалдауға және балқыманы тікелей құюға арналған. Бірқатар технологиялық процестерде шөміш қосымша функцияларды орындайды: балқыманы қажетті құрамға жеткізу және температураны белгілі бір деңгейде ұстап тұру.

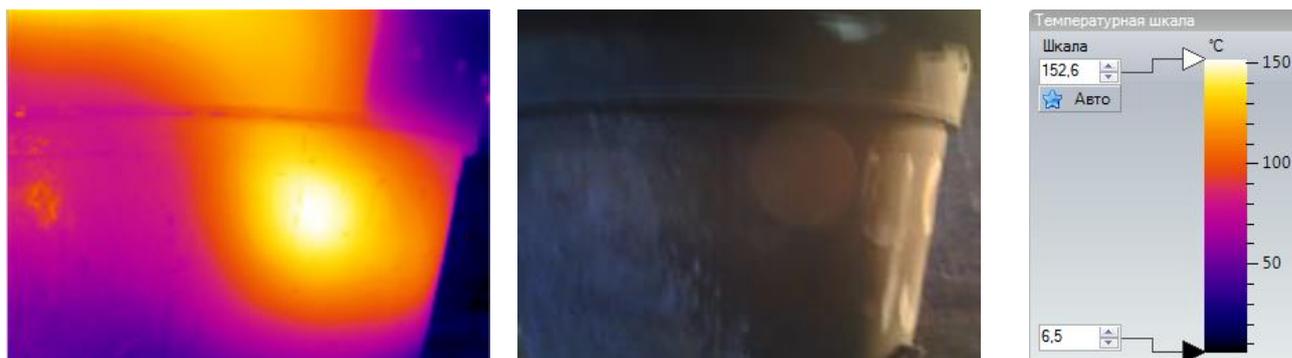
Зерттеу нысаны ферроқорытпаларды ағызуға, құю машинасына дейін тасымалдауға және балқыманы қалыпқа құюға арналған Ферроқорытпа өндірісінің құю шөміштері болып табылады. Шөміш корпусы-болат, дәнекерленген, қалыңдығы 20 мм. Шөміш пішіні-сфералық түбі бар кесілген конус. Балқыту цехында сыйымдылығы 40 тонна 38 құю шөміші бар, оның 15-і бір мезгілде жұмыста, қалғандары жөндеуде.

Жоғарыдағы шөміштер құю шұлығымен жасалады, ол арқылы артық қожды қож ыдыстарына бұрып, балқыманы қалыптарға ағызады. ШКУ-32 стандартты шамот кірпіші отқа төзімді футеровка ретінде қолданылады. Шелек төсемінің жалпы қалыңдығы кірпіштің екі қатарынан тұрады - арматура және жұмысшы.

Қарастырылып отырған құю шөміштерінің төсемдерінің жұмыс науқанының ұзақтығы 4-тен 10-ға дейін балқытуды құрайды және балқытылатын ферроқорытпалардың түріне байланысты: феррохром, ферросиликомарганец, ферросилиций. Футеровканың беріктігінің төмен мәндері бірқатар себептерге байланысты, олардың арасында екі негізгі нәрсені ажыратуға болады. Біріншіден, балқыманы төгу алдында шөміш футеровкасының жылытуының болмауы, бұл балқыманы пештен шелекке төгу кезінде айтарлықтай температура кернеулерін тудырады. Екіншіден, бұл термиялық беріктігі салыстырмалы түрде төмен шамот отқа төзімді төсемдерді пайдалану. Зауыттық мәліметтерге сәйкес, Шөміштерді төсеу үшін отқа төзімді ШКУ-32 қолданылады: массалық үлесі  $Al_2O_3$  кемінде 32 %; сығымдау кезіндегі беріктік шегі кемінде 27 Н/мм<sup>2</sup>.

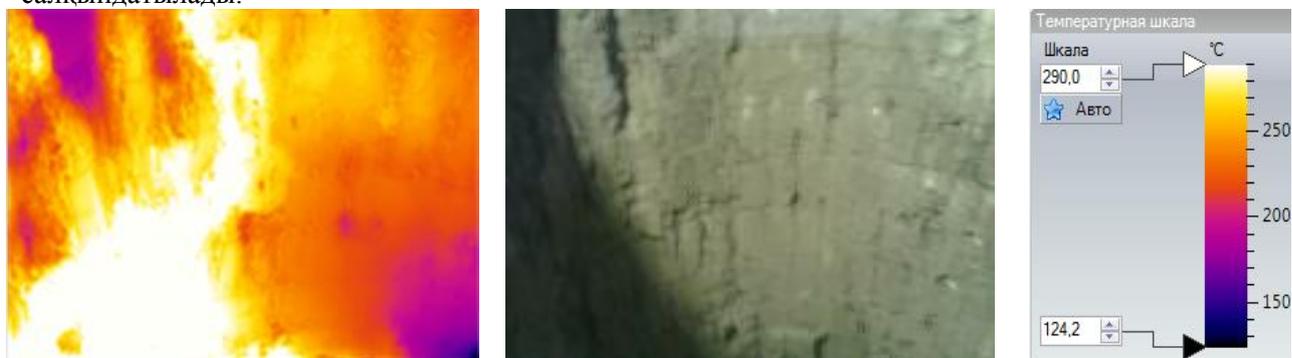
Әдеби дереккөздер мұндай отқа төзімді қондырғыларды үнемі жоғары температурада ғана пайдалануға болатындығын айтады [9]. Отқа төзімді ШКУ шамот қолданған кезде айнымалы температура режимдері қондырғылардың жұмыс науқанының ұзақтығына теріс әсер етеді.

5-суретте балқыманы қалыптарға құйғаннан кейін құю шөміштерінің тән термограммасы көрсетілген. Негізінен, шөміштің сыртқы қабырғасындағы жоғары температура металл шығару аймағында және балқыманы шелекке төгу кезінде ағынның құлау аймағында басым болады (3-сурет). Шөміштің төменгі бөлігінің температура өрісі біркелкі және сыртқы бетінде ең төменгі температураға ие. Шөміш биіктігінің ортаңғы деңгейіндегі температура өрістері біркелкі және максималды температура мәндеріне ие.



5 – сурет – Құю шөмішінің бетінің температуралық өрістерінің жалпы көрінісі

6-суреттегі термограмма шөміштің салқындату процесінде футеровканың ішкі бетінің температура өрісінің біркелкілігін көрсетеді. Температура өрісінің біркелкі оның биіктігі бойынша әр түрлі қалыңдығымен түсіндіріледі. Кірпіш сынған және футеровканың қалыңдығы аз жерлерде температура төмен болады. Мұнда футеровка қалыңдығы үлкен жерлерге қарағанда тез салқындатылады.



6 - сурет – Шөмішті салқындату процесінде футеровканың ішкі бетінің температуралық өрісі

Зерттеудің екінші кезеңі-салқындағаннан кейін құю шөміштерінің футеровкасының күйін зерттеу. Зерттеу көрсеткендей, жоғары температура аймақтары футеровканың отқа төзімді жерлеріне сәйкес келеді. 7-суретте футеровканың максималды бұзылуы балқыманы төгетін шүмек арқылы ағызу аймақтарында және қаптаманың ортаңғы аймағында байқалатынын көруге болады.



7 - сурет– Құю шөмішінің футеровкасының ең қатты бұзылу аймақтары

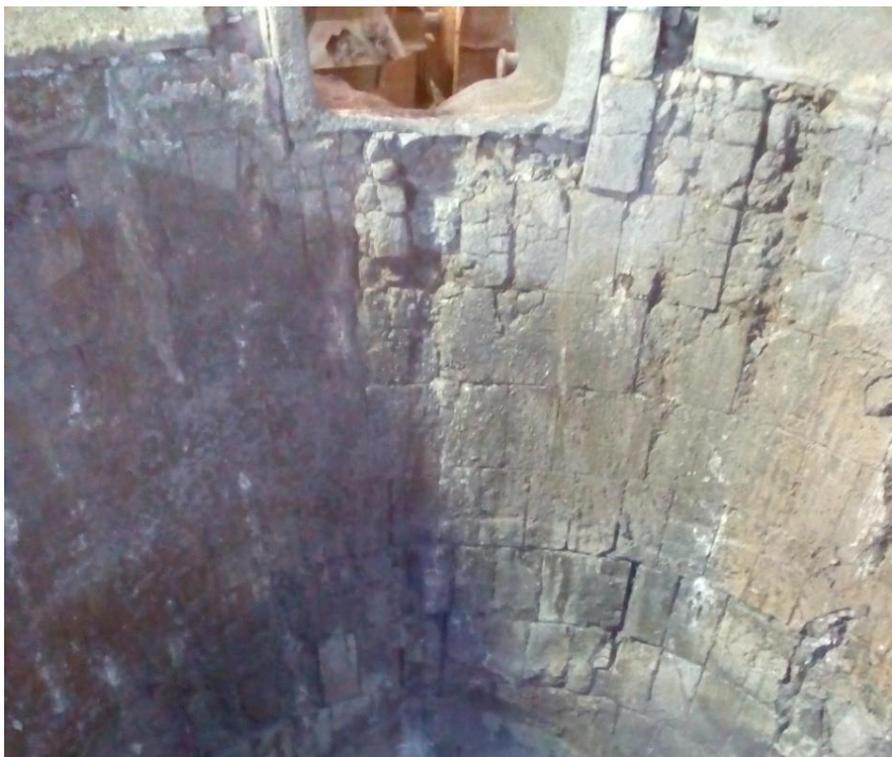
Футеровканың бұзылуының әдеттегі үлгісі 8-суретте келтірілген, онда шелекті жөндеуге шығармас бұрын төсемнің беті көрсетілген. Отқа төзімді заттардың бұзылуы тек футеровка элементтері арасындағы тігістерде ғана емес, сонымен қатар отқа төзімді заттардың көлемінде де

болады. Фотосуретте көрсетілген отқа төзімді заттардың барлығы дерлік бүкіл отқа төзімді арқылы өтетін көлденең жарықтар түрінде айтарлықтай зақымдалады.

Шөмішті пайдалану кезінде төсемді жылыту және салқындату қайтымсыз көлемдік өзгерістермен бірге жүреді. Олар әртүрлі физика-химиялық процестерден туындайды: органикалық қоспалардың тотығуы, тұздардың ыдырауы, қатты фазалардағы компоненттер арасындағы реакциялар, модификациялық түрлендірулер, агломерация, қатаю және басқалары. Қаптамада микрокректердің пайда болуы көлемдік өзгерістермен байланысты [10].

Құю шөмішінің футеровкасының тозуы бірнеше өзара байланысты процестерді қамтиды:

- сұйық металдың қаптамасына ену;
- енген металдың оксидке дейін тотығуы;
- материалдың қабырғасына жарықтар арқылы енген сұйық шлақтың пайда болуы.



8 - сурет– Шөмішті жөндеуге шығармас бұрын футеровка күйі

Футеровканың зақымдану себептерін талдау жарықтың пайда болуының негізгі себебі стационарлық емес жылу процестерінде футеровканың көлденең қимасы бойынша температураның айтарлықтай өзгеруінен туындайтын температура кернеулері деп санауға болатындығын көрсетеді. Мысалы, балқыманы қыздырылмаған ("суық") шөмішке төгу кезінде төсемде температураның айтарлықтай өзгеруі пайда болады.

Балқыманы қалыптарға құйғаннан кейін шөміштің төсемін салқындату процесі тиімсіз. Балқытылған дренаждардың арасында шөміштің астарын жылытуға мүмкіндік жоқ. Шөміштер цехта минус 10-15 °С дейінгі температурада тұрады, бұл сонымен қатар төсемде айтарлықтай температуралық айырмашылықтардың пайда болуына әкеледі.

Температуралық кернеулердің төсемнің бұзылуына анықтайтын әсері отқа төзімді заттарды визуалды зерттеу арқылы расталады. Температураның айтарлықтай кернеуі нәтижесінде пайда болған жарықтарды кірпіш бетінде де (9 а-сурет) және отқа төзімді заттың көлемінде де байқауға болады (9 б-сурет).



а



б

9 - сурет – Шөміш футеровкасының отқа төзімді материалдарының жарықтары

Жарықшақ пайда болған жердегі отқа төзімді бет балқымамен, шлактармен және т.б. көзбен сіндірілмеген, егер сіндіру аймағы айқын көрінетін шөміш төсемінде толығымен жұмыс істеген отқа төзімді қарастыратын болсақ, онда сіндіру аймағының түсінің өзгеруі жарықшақтың пайда болуымен бірге жүрмейді. Отқа төзімді беті ферроқорытпалармен қиылысқан отқа төзімді және қож қорытпасының тығыз қабығымен жабылған. Отқа төзімді заттардың орташа сіндіру қалыңдығы 20-30 мм құрайды, сондықтан отқа төзімді бетіндегі жарықтар шөміш футеровкасын бірнеше рет қыздыру және салқындату процесінің нәтижесі болып табылады.

**Талқылау**

Айналмалы пештер мен құю шөміштерін зерттеу нәтижелері мен пайдалану жағдайларын талдау олардың төсемдерінің тұрақтылығына келесі факторлар көбірек әсер ететінін көрсетеді:

- жұмыс ортасымен жанасатын аймақта пайда болатын температуралық қысу кернеулері. Құю шөміштері үшін, сонымен қатар, төсемнің сыртқы жағында салқындаған кезде пайда болатын температуралық кернеулер, бұл жағдайда-балқыту кезеңінде;

- жұмыс ортасының балқымасының химиялық әсері;

- металды төгу кезінде Балқыма ағынының механикалық әсері (құю шөміші үшін).

Жұмыс компаниясының ұзақтығына оның жұмысының ауыспалы режимдерінде температураның қалыңдығы бойынша біркелкі бөлінбеуі нәтижесінде пайда болатын температуралық кернеулер әсер етеді. Бұл тұжырымдар әдеби деректерге сәйкес келеді. Сонымен, авторлар [11-12] температуралық кернеулердің салдарынан бұзылу төсемдердің бұзылуының ең көп тараған себебі болып табылады.

Осылайша, қарастырылып отырған құю шөміштерінің жұмыс науқанының ұзақтығын анықтайтын негізгі факторлардың бірі температура кернеулері деп санауға болады. Футеровканың қимасы бойынша температураның айырмашылығы кезінде туындайтын температуралық кернеулер пайдаланылатын материалдардың беріктік шегінен аспауға тиіс. Есептеулерде отқа төзімді материалдың беріктік шегінің мәні пайдалану факторларына тәуелді емес тұрақты шама ретінде қабылданады.

**Қорытындылар**

Ферроқорытпа өндірісінің айналмалы пештері мен құю шөміштерінің футерлеріне жүргізілген зерттеу агрегаттарды пайдалану процесі стационарлық емес процестер кезінде футерлердің қимасы бойынша айтарлықтай температуралық айырмашылықтармен қатар жүретінін көрсетті. Температураның өзгеруінен туындаған температура кернеулері қаптаманың жұмыс қабатының отқа төзімді элементтерінің бұзылуының негізгі себебі болып табылады. Аз дәрежеде төсемнің бұзылуына Балқыма ағынының механикалық әсері және балқыма мен қождың химиялық әсері әсер етеді.

Қаптаманың көлденең қимасы бойынша температураның ауытқуы кезінде пайда болатын температуралық кернеулердің шамасын шектейтін фактор пайдаланылатын отқа төзімді материалдардың беріктік шегі болып табылады, оны төсемдерді жылыту кестелерін одан әрі рационализациялау үшін пайдалануға болады. Сондықтан пайдаланылатын отқа төзімді материалдардың беріктік сипаттамаларының оларды пайдалану температурасы мен уақытына тәуелділігін ескере отырып, іске қосу және стационарлық режимдерді жүргізудің жылу кестелеріне түзетулер енгізу қажет.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Arman Hoseinpur, Jafar Safarian. Mechanisms of graphite crucible degradation in contact with Si–Al melts at high temperatures and vacuum conditions. *Vacuum*, Volume 171, 2020, 108993
- [2] Yuxiang Dai, Jing Li, Wei Yan, Chengbin Shi. Corrosion mechanism and protection of BOF refractory for high silicon hot metal steelmaking process. *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 9, Issue 3, 2020, Pages 4292-4308, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.055>.
- [3] Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Михеенков М.А., Егизарьян Д.К., Овчинникова Л.А., Метёлкин А.А., Кашчев И.Д., Цепелев В.С. Шлаковый Режим агрегатов внепечной обработки стали и стойкость огнеупоров. *Новые огнеупоры*. 2015;1(8):7-12. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2015-8-7-12>
- [4] Weinberg, A.V., Varona, C., Chaucherie, X., Goeuriot, D., & Poirier, J. (2016). Extending refractory lifetime in rotary kilns for hazardous waste incineration. *Ceramics International*, 42, 17626-17634. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.08.078>
- [5] N. Schmitt, Y. Berthaud, J.F. Hernandez, P. Meunier & J. Poirier (2004) Damage of monolithic refractory linings in steel ladles during drying, *British Ceramic Transactions*, 103:3, 121-133, DOI: 10.1179/096797804225012873]
- [6] [Wilson D. Guillin-Estrada, Rafael Albuja, Ivan B. Dávila, Bernardo S. Rueda, Lesme Corredor, Arturo Gonzalez-Quiroga, Heriberto Maury. Transient operation effects on the thermal and mechanical response of a large-scale rotary kiln, *Results in Engineering*, Volume 14, 2022, doi:10.1016/j.rineng.2022.100396
- [7] Lapaev, I.I., Sorokin, V.V., Goloskin, S.E. et al. Lining of the Rotary Kilns for Petroleum Coke Calcination. *Refract Ind Ceram* 60, 1–5 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11148-019-00299-w>
- [8] Исламов М. Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей. – Л. : Химия, 1986. – 280
- [9] В. Г. Герасименко. Особенности введения в эксплуатацию футеровки сталеразливочных ковшей. *Металл и литье Украины*. 2018. № 5-6. С.46-47
- [10] Завёрткин А.С. Влияние термообработки кварцита на механизм разрушения футеровки индукционных печей. *Новые огнеупоры*. 2019;(1):49-53. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2019-1-49-53>
- [11] N. Schmitt, Y. Berthaud, J.F. Hernandez, P. Meunier & J. Poirier (2004) Damage of monolithic refractory linings in steel ladles during drying, *British Ceramic Transactions*, 103:3, 121-133, DOI: 10.1179/096797804225012873
- [12] Prikhod'ko E. V. Analysis of methods for heating the lining of high-temperature units. *Refractories and Industrial Ceramics*. Vol. 62, No. 4, November, 2021. DOI 10.1007/s11148-021-00625-1

### LIST OF REFERENCES

- [1] Arman Hoseinpur, Jafar Safarian. Mechanisms of graphite crucible degradation in contact with Si–Al melts at high temperatures and vacuum conditions. *Vacuum*, Volume 171, 2020, 108993
- [2] Yuxiang Dai, Jing Li, Wei Yan, Chengbin Shi. Corrosion mechanism and protection of BOF refractory for high silicon hot metal steelmaking process. *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 9, Issue 3, 2020, Pages 4292-4308, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.055>.
- [3] Sheshukov O.Yu., Nekrasov I.V., Mikheenkov M.A., Egizaryan D.K., Ovchinnikova L.A., Metelkin A.A., Kashcheev I.D., Zepelev V.S. Slag Regime of Secondary Steel Treatment Aggregates and Refractories Durability. *New refractories*. 2015;1(8):7-12. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2015-8-7-12>
- [4] Weinberg, A.V., Varona, C., Chaucherie, X., Goeuriot, D., & Poirier, J. (2016). Extending refractory lifetime in rotary kilns for hazardous waste incineration. *Ceramics International*, 42, 17626-17634. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.08.078>

- [5] N. Schmitt, Y. Berthaud, J.F. Hernandez, P. Meunier&J. Poirier (2004) Damage of monolithic refractory linings in steel ladles during drying, *British Ceramic Transactions*, 103:3, 121-133, DOI: 10.1179/096797804225012873]
- [6] [Wilson D. Guillin-Estrada, Rafael Albuja, Ivan B. Dávila, Bernardo S. Rueda, Lesme Corredor, Arturo Gonzalez-Quiroga, Heriberto Maury. Transient operation effects on the thermal and mechanical response of a large-scale rotary kiln, *Results in Engineering*, Volume 14, 2022, doi:10.1016/j.rineng.2022.100396
- [7] Lapaev, I.I., Sorokin, V.V., Goloskin, S.E. et al. Lining of the Rotary Kilns for Petroleum Coke Calcination. *Refract Ind Ceram* 60, 1–5 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11148-019-00299-w>
- [8] V. G. Gerasimenko. Osobennosti vvedeniya v ekspluatsiyu futerovki stalerazlivochnyh kovshej. *Metall i lit'e Ukrainy*. 2018. № 5-6. S.46-47
- [9] V. G. Gerasimenko. Osobennosti vvedeniya v ekspluatsiyu futerovki stalerazlivochnyh kovshej. *Metall i lit'e Ukrainy*. 2018. № 5-6. S.46-47
- [10] Zavortkin A.S. Vliyanie termoobrabotki kvarcita na mekhanizm razrusheniya futerovki indukcionnyh pechej. *Novye ogneupory*. 2019;(1):49-53. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2019-1-49-53>
- [11] N. Schmitt, Y. Berthaud, J.F. Hernandez, P. Meunier&J. Poirier (2004) Damageofmonolithicrefractoryliningsinsteelladlesduringdrying, *BritishCeramicTransactions*, 103:3, 121-133, DOI: 10.1179/096797804225012873
- [12] Prihod'ko E. V. Analysis of methods for heating the lining of high-temperature units. *Refractories and Industrial Ceramics*. Vol. 62, No. 4, November, 2021. DOI 10.1007/s11148-021-00625-1

#### LIST OF REFERENCES

- [1] Arman Hoseinpur, Jafar Safarian. Mechanisms of graphite crucible degradation in contact with Si–Al melts at high temperatures and vacuum conditions. *Vacuum*, Volume 171, 2020, 108993
- [2] Yuxiang Dai, Jing Li, Wei Yan, Chengbin Shi. Corrosion mechanism and protection of BOF refractory for high silicon hot metal steelmaking process. *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 9, Issue 3, 2020, Pages 4292-4308, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.055>.
- [3] Sheshukov O.Yu., Nekrasov I.V., Mikheenkov M.A., Egiazyryan D.K., Ovchinnikova L.A., Metelkin A.A., Kashcheev I.D., Zepelev V.S. Slag Regime of Secondary Steel Treatment Aggregates and Refractories Durability. *New refractories*. 2015;1(8):7-12. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2015-8-7-12>
- [4] Weinberg, A.V., Varona, C., Chaucherie, X., Goeuriot, D., & Poirier, J. (2016). *Extending refractory lifetime in rotary kilns for hazardous waste incineration*. *Ceramics International*, 42, 17626-17634. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.08.078>
- [5] N. Schmitt, Y. Berthaud, J.F. Hernandez, P. Meunier&J. Poirier (2004) Damage of monolithic refractory linings in steel ladles during drying, *British Ceramic Transactions*, 103:3, 121-133, DOI: 10.1179/096797804225012873]
- [6] [Wilson D. Guillin-Estrada, Rafael Albuja, Ivan B. Dávila, Bernardo S. Rueda, Lesme Corredor, Arturo Gonzalez-Quiroga, Heriberto Maury. Transient operation effects on the thermal and mechanical response of a large-scale rotary kiln, *Results in Engineering*, Volume 14, 2022, doi:10.1016/j.rineng.2022.100396
- [7] Lapaev, I.I., Sorokin, V.V., Goloskin, S.E. et al. Lining of the Rotary Kilns for Petroleum Coke Calcination. *Refract Ind Ceram* 60, 1–5 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11148-019-00299-w>
- [8] Islamov M. S. Design and operation of industrial furnaces. – L. : Chemistry, 1986. – 280
- [9] V. G. Gerasimenko. Features of the commissioning of the lining of steel-pouring ladles. *Metal and casting of Ukraine*. 2018. No. 5-6. pp.46-47
- [10] Zavertkin A.S. Influence of heat treatment of quartzite on the mechanism of destruction of the lining of induction furnaces. *New refractories*. 2019;(1):49-53. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2019-1-49-53>
- [11] N. Schmitt, Y. Berthaud, J.F. Hernandez, P. Meunier&J. Poirier (2004) Damage of monolithic refractory linings in steel adlesduring drying, *BritishCeramicTransactions*, 103:3, 121-133, DOI: 10.1179/096797804225012873
- [12] Prihod'ko E. V. Analysis of methods for heating the lining of high-temperature units. *Refractories and Industrial Ceramics*. Vol. 62, No. 4, November, 2021. DOI 10.1007/s11148-021-00625-1

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ И МЕХАНИЗМОВ РАЗРУШЕНИЯ ФУТЕРОВОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ

Н.М. Арипова\*, А.Е. Карманов, Е.В. Приходько, А.С. Никифоров

Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

E-mail: nazgul\_2010@mail.ru, [Aman270685@mail.ru](mailto:Aman270685@mail.ru), [john1380@mail.ru](mailto:john1380@mail.ru), [aleke4599@mail.ru](mailto:aleke4599@mail.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена описанию поврежденных футеровки высокотемпературных установок: вращающихся печей и ковшей ферросплавного производства. Первым этапом исследования высокотемпературных установок был тепловизионный контроль, позволивший оценить толщину и равномерный прогрев футеровки и получить бесконтактные данные о температурных полях на внутренней и внешней поверхностях ковша.

Вторым этапом получения информации для анализа причин повреждения стало обследование внутренней поверхности футеровки и отдельных элементов футеровки. В обоих случаях невооруженным глазом регистрируются значительные трещины, что свидетельствует о нарушении теплового режима футеровки.

Результаты исследований и анализа условий эксплуатации вращающихся печей и ковшей показывают, что большее влияние на устойчивость их футеровки оказывают следующие факторы:

- термические сжимающие напряжения, возникающие в зоне контакта с рабочей средой. Для разливочных ковшей, кроме того, температурные напряжения, возникающие при охлаждении футеровки снаружи, в данном случае - на стадии плавки;

- химическое воздействие расплава рабочей среды;

- механическое воздействие течения расплава при разливке металла (для ковша).

Проведенный анализ показал, что наиболее важным фактором эксплуатации, оказывающим влияние на стойкость футеровки, являются температурные напряжения, вызванные перепадами температур по сечению футеровки.

**Ключевые слова:** футеровка, высокотемпературные установки, поломка, нагрев.

## ANALYSIS OF CONDITIONAL OPERATION AND MECHANISMS OF VIOLATION OF LININGS OF HIGH-TEMPERATURE INSTALLATIONS

N.M. Aripova\*, A.E. Karmanov, E.V. Prikhodko, A.S. Nikiforov

Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

E-mail: nazgul\_2010@mail.ru, [Aman270685@mail.ru](mailto:Aman270685@mail.ru), [john1380@mail.ru](mailto:john1380@mail.ru), [aleke4599@mail.ru](mailto:aleke4599@mail.ru)

**Annotation.** The article is devoted to the description of damage to the lining of high-temperature installations: rotary kilns and ladles of ferroalloy production. The first stage in the study of high-temperature installations was thermal imaging control, which made it possible to assess the thickness and uniform heating of the lining and obtain non-contact data on temperature fields on the inner and outer surfaces of the ladle.

The second stage of obtaining information for the analysis of the causes of damage was the examination of the inner surface of the package and individual elements of the package. In both cases, significant cracks are recorded with the naked eye, which indicates a violation of the thermal regime of the lining.

The results of research and analysis of the operating conditions of rotary kilns and ladles show that the following factors have a greater influence on the stability of their lining:

- thermal compressive stresses arising in the zone of contact with the working medium. For pouring ladles, in addition, thermal stresses that occur when the lining is cooled from the outside, in this case at the melting stage;

- chemical impact of the working medium melt;

- mechanical effect of the melt flow during metal pouring (for a ladle).

The analysis performed showed that the most important operating factor affecting the durability of the lining is thermal stresses caused by temperature differences across the lining section.

**Keywords:** lining, high-temperature installations, breakdown, heating.

## Басылымның шығыс деректері

Мерзімді баспасөз басылымының атауы	«Алматы энергетика және байланыс университетінің Хабаршысы» ғылыми-техникалық журналы
Мерзімді баспасөз басылымының меншік иесі	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы, Қазақстан
Бас редактор	Профессор, т.ғ.к., В.В. Стояк
Қайта есепке қою туралы куәліктің нөмірі мен күні және берген органның атауы	№ KZ14VPY00024997, күні 17.07.2020, Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі
Мерзімділігі	Жылына 4 рет (тоқсан сайын)
Мерзімді баспасөз басылымының реттік нөмірі және жарыққа шыққан күні	Жалпы нөмір 59, 4-басылым, 2022 жылғы 30 желтоқсан
Басылым индексі	74108
Басылым таралымы	200 дана
Баға	Келісілген
Баспахана атауы, оның мекен-жайы	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ баспаханасы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1 үй, А120 каб.
Редакцияның мекен-жайы	050013, Алматы қ., «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, Байтұрсынұлы к-сі, 126/1 үй, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: <a href="mailto:vestnik@aes.kz">vestnik@aes.kz</a>

## Выходные данные

Название периодического печатного издания	Научно-технический журнал «Вестник Алматинского университета энергетики и связи»
Собственник периодического печатного издания	Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан
Главный редактор	Профессор, к.т.н., Стояк В.В.
Номер и дата свидетельства о постановке на переучет и наименование выдавшего органа	№ KZ14VPY00024997 от 17.07.2020 Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан
Периодичность	4 раза в год (ежеквартально)
Порядковый номер и дата выхода в свет периодического печатного издания	Валовый номер 59, выпуск 4, 30 декабрь 2022
Подписной индекс	74108
Тираж выпуска	200 экз.
Цена	Договорная
Наименование типографии, ее адрес	Типография НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 120
Адрес редакции	050013, г. Алматы, НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: <a href="mailto:vestnik@aes.kz">vestnik@aes.kz</a>

## Issue output

Name of the periodical printed publication	Scientific and technical journal "Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications"
Owner of the periodical printed publication	Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", Almaty, Kazakhstan
Chief Editor	Professor, candidate of technical sciences Stoyak V.V.
Number and date of the registration certificate and the name of the issuing authority	№ KZ14VPY00024997 from 17.07.2020 Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan
Periodicity	4 times a year (quarterly)
Serial number and date of publication of a periodical printed publication	Number 59, edition 4, December 30, 2022
Subscription index	74108
Circulation of the issue	200 copies
Price	Negotiable
The name of the printing house, its address	Printing house of Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", 126/1 Baitursynuly str., office A 120, Almaty, Republic of Kazakhstan
Editorial office address	050013, Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", A 224, tel.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: <a href="mailto:vestnik@aes.kz">vestnik@aes.kz</a>