ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 3

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТОРА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА ЗАСЧЕТ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Шамсиев Калибек Сарибаевич
Ташкентский государственный технический университет имени Ислом Каримова, к.т.н., доцент,
E-mail: ***shamsiev kalibek_1954@mail.ru***
https://orcid.org/0000-0003-4585-1020
Масобирова Ситора Турдибой кизи
Ташкентский государственный технический университет имени Ислом Каримова, магистр
E-mail: sitoramasobirova2@gmail.com
http://orcid.org/0009-0004-6502-7113

Аннотация. Данная статья посвящена разработке и внедрению рациональных решений по использованию вторичных энергетических ресурсов, основанных на особенностях технологического процесса. Основным методом переработки медных концентратов в подсушенном или обожженном виде является пламенная плавка. На медеплавильных заводах тепло отходящих газов часто не используется. Нагрев воздуха, подаваемого в печь, приводит к повышению температуры горелки и количества тепла. Экономия природного газа может достигать суммарного уровня экономии в 28–35% в металлургической промышленности. Одним из наиболее эффективных и широко используемых методов экономии топлива в промышленных печах и металлургических заводах является нагрев воздуха дымовыми газами в рекуператорах или регенераторах. Основная цель данного исследования – разработка методики расчета трубчатых рекуператоров, предназначенных для нагрева воздуха дымовыми газами, и оценка степени повышения эффективности теплопередачи путем нанесения канавок на поверхность теплообменника.

Ключевые слова: вторичная энергия, отражательные печи, отходящие газы, рекуператор, теплообмен, повышение эффективности теплообмена, дымовые газы, оребренные трубы, профилированные трубы, коэффициент теплопередачи, гидравлическое сопротивление, теплообменники.

Аннотация. Ushbu maqola texnologik jarayonning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda ikkilamchi energiya resurslaridan foydalanishning oqilona echimlarini ishlab chiqish va amalga oshirishga bag'ishlangan. Mis kontsentratlarini quritilgan yoki kalsilangan holda qayta ishlashning asosiy usuli yallig’ eritishdir. Mis eritish korxonalarida chiqindi gazlarning issiqligi ko'p hollarda ishlatilmaydi. O’thonaga beriladigan havoni isitish mash'alning harorati

va issiqlik miqdori oshishiga olib keladi. Tabiiy gazni tejash, metallurgiya sanoatida umumiy tejamkorlik darajasini 28–35 % gacha yetish mumkin. Sanoat pechlari va metallurgiya zavodlarida yoqilg‘ini tejashning eng samarali va keng qo‘llaniladigan usullaridan biri rekuperator yoki regeneratorlarda tutun gazlari orqali havoni qizdirishdan iborat. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — tutun gazlar yordamida havoni isitish uchun mo'ljallangan quvurli rekuperatorlarni hisoblash usulini ishlab chiqish hamda issiqlik almashinuv yuzasiga chuqurchalar qo'llash orqali issiqlik uzatish samaradorligini oshirish darajasini baholashdan iborat.

Kalit so'zlar: ikkilamchi energiya, yallig’ eritish, chiqindi gazlar, rekuperator, issiqlik almashinuvi, issiqlik almashinuvining samaradorligi, tutun gazlari, quvurlar, profilli quvurlar, issiqlik uzatish koeffitsienti, gidravlik qarshilik, issiqlik almashinuvchilari.

Abstract. This article focuses on the development and implementation of rational solutions for the use of secondary energy resources based on the specifics of the technological process. Flame smelting is the primary method for processing copper concentrates in dry or calcined form. At copper smelters, waste heat is often not utilized. Heating the air supplied to the furnace increases the burner temperature and heat output. Natural gas savings can reach a total savings of 28–35% in the metallurgical industry. One of the most effective and widely used methods for saving fuel in industrial furnaces and metallurgical plants is heating air with flue gases in recuperators or regenerators. The main objective of this study is to develop a calculation method for tubular recuperators designed to heat air with flue gases and to evaluate the improvement in heat transfer efficiency by applying grooves to the heat exchanger surface.

Key words: secondary energy, waste incineration, exhaust gases, recuperator, heat exchange, increasing heat exchange efficiency, flue gases, finned tubes, profiled tubes, heat transfer coefficient, hydraulic resistance, heat exchangers.

ВВЕДЕНИЕ.

Большинство пирометаллургических переделов цветной металлургии осуществляется при значительных затратах либо органического топлива, либо электроэнергии, используемой как источник тепла, либо тепла экзотермических реакций. В некоторых переделах (например, в медной отражательной плавке) стоимость топлива достигает 70% общих затрат по переделу, что обосновывает необходимость разработки и осуществления ряда мер по снижению теплоэнергетических затрат при производстве цветных металлов.

Основным резервом в решении этой задачи является рациональное использование вторичных энергоресурсов соответствующих переделов. К

ISSN 3030-3907

сожалению тепло на медеплавильных заводах во многих случаях не используется. Частичное использование тепла отходящих газов для подогрева дутьевого воздуха, подаваемого в печь, является основной причиной более низких удельных расходов топлива на отражательных печах. Как видно из приведенного теплового баланса, основные потери тепла приходятся на отходящие газы, покидающие печь с температурой 1300—1400°С. Снижение этой температуры практически невозможно, так как тепло в отражательной печи передается шихте в основном излучением газов, свода, стен и ванны печи, а внутри слоя шихты — теплопроводностью шихтовых материалов. Одним из наиболее эффективных и распространенных средств экономии топлива в промышленных печах металлургических заводов является утилизация теплоты уходящих дымовых газов для подогрева воздуха, идущего на горение в рекуператорах или регенераторах. Экономия топлива тем выше, чем выше температура уходящих газов и температура подогрева воздуха.

В качестве наиболее рационального технического решения, как свидетельствует анализ современных тенденций, выступает направленная трансформация геометрического рельефа наружной поверхности труб. Целенаправленное профилирование создает условия для генерации устойчивых вихревых структур в пристеночной области, что позволяет добиться кратного увеличения коэффициента теплоотдачи при удержании аэродинамического сопротивления в технологически оправданных пределах.

К настоящему времени среди используемого теплообменного оборудования можно выделить два наиболее распространенных типа аппаратов-кожухотрубные и пластинчатые. В теплообменниках существуют различные способы интенсификации теплообмена: установка оребрения, нанесение шероховатости или серии углублений, выступы различной формы, лунки и т.д.

МЕТОДЫ.

Отражательная плавка является основным методом переработки медных концентратов в подсушенном или обожженном виде. Примерно 80% всего мирового производства меди получается плавкой медных концентратов в отражательных печах. Общий вид печи показан на рис.1.

ISSN 3030-3907

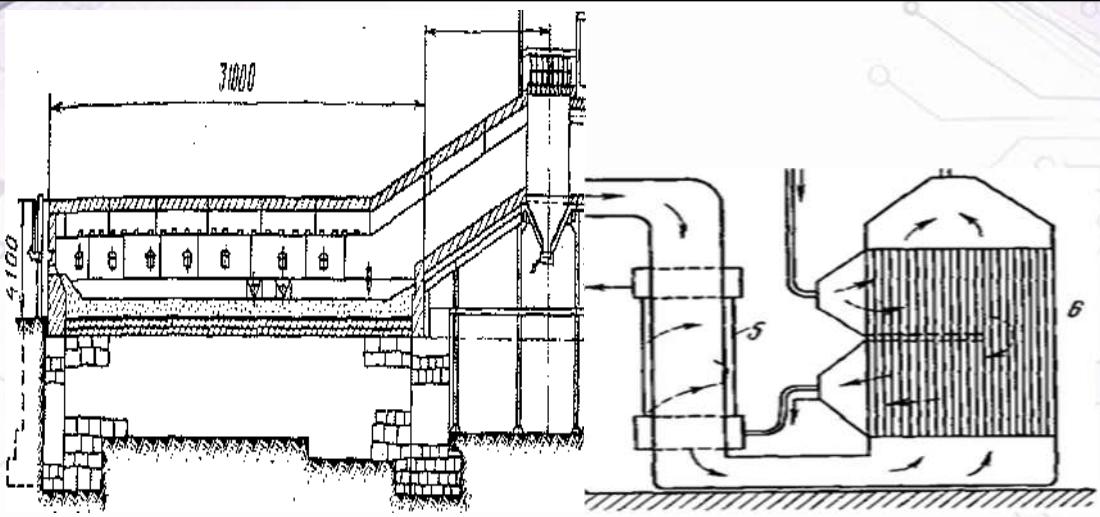


Рис.1. Общий вид современной отражательной печи

Удельный расход условного топлива на отечественных заводах при плавке сырой шихты составляет 17-20% и обожженной 13-14%. Столь высокой общий удельный расход сжигаемого топлива является следствием низкого коэффициента использования его тепла. Частичное использования тепла отходящих газов для подогрева воздуха, подаваемого печь, является основной причиной более низких удельных расходов топлива на отражательных печах. Значение подогрева дутья становится более очевидным при рассмотрении теплопотребления собственно процесса отражательной плавки медных концентратов. В отличие медных штейнов, в которых протекают реакции окисления сульфидов с выделением большого количества тепла, при отражательной плавке в слое шихты и на откосах печи протекают преимущественно процессы с поглощением тепла.

Предлагаемая работа обращена к решению актуальной теплофизической проблемы — систематизации и критическому осмыслению накопленного арсенала средств интенсификации теплообменных процессов. В качестве объекта исследования рассматриваются теплообменные аппараты, эксплуатируемые в условиях конвективного взаимодействия трубных пучков с потоком высокотемпературных продуктов сгорания. Предметная область работы фокусируется на геометрических методах управления теплофизическими характеристиками, а именно — на модификации внешнего контура нагревательных элементов. В фокусе внимания автора находятся как традиционные решения (оребрение различных конфигураций), так и более тонкие методы дискретного профилирования поверхности, позволяющие добиться локального изменения структуры пограничного слоя.

Вычисление искомого значения коэффициента конвективной теплоотдачи $\alpha_к$, характеризующего интенсивность переноса теплоты при

ISSN 3030-3907

поперечном омывании трубного пучка потоком теплоносителя, базируется на применении фундаментальных положений теории подобия и реализуется посредством следующего критериального уравнения:

$$Nu = A \cdot Re^{n} \cdot Pr^{0.56}$$

где A и n – зависят от вида лучка труб.

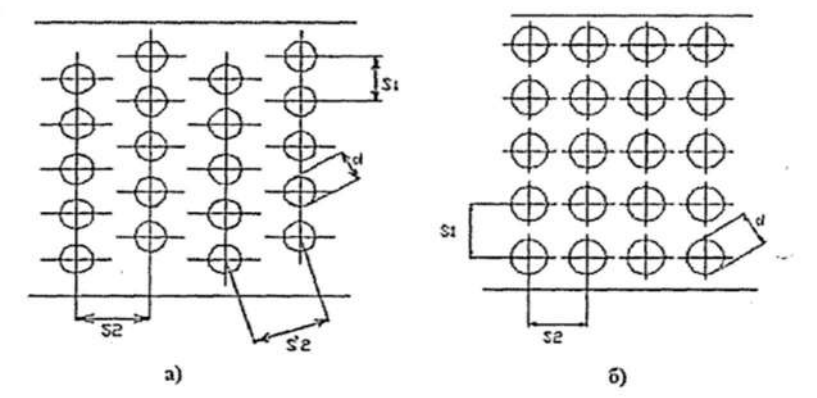


Рис.2. Схема типы расположения труб в пучке теплообменника. а—шахматный порядок; б—коридорный порядок.

Эта формула применима для всего диопозона практически встречающихся при поперечном омывании пучков чисел Re(от 10^3 до $7 \cdot 10^3$). Для шахматного обтекания труб A = 0,35, и n = 0,65 [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ.

Теплопотребление шихты, выражаемое алгебраической суммой энтальпий исходных материалов, продуктов плавки и тепловых эффектов протекающих реакций, относительно невелико и составляет для шихт Алмалыкского завода при температуре огарки в 600^0C в среднем 1090-1180 Кдж/кг, а для сухой необожженной шихты 1260-1470 Кдж/кг, или 4-5% от массы перерабатываемой шихты в переводе на условное топливо.

Однако чрезмерное увеличение интенсивности сжигания топлива может привести к отрицательным экономическим результатам. Этого можно избежать при подогреве дутья, в результате чего удельный проплав печи повысится при одновременном снижении удельного расхода топлива и удельной тепловой нагрузки печи.

Как видно из рис.3, при подогреве только вторичного воздуха до 250°C при количестве его, равном 0,6 от общего расхода воздуха, максимум температуры факела достигает 1560° С. При подогреве вторичного воздуха только до 140° С и уменьшении его расхода до 0,4 от общего расхода воздуха максимальная температура газа снижается до 1400° С и сдвигается по длине печи.

ISSN 3030-3907



Рис.3. Изменение температуры газа по длине отражательной печи • – подогрев воздуха до 250°С; о - подогрев воздуха до 140°С

По результатам обобщения и анализа расчетных данных автором предложена эмпирическая корреляционная зависимость, обеспечивающая прогнозирование коэффициента теплоотдачи для поверхностей, модифицированных системой сферических углублений, с инженерно приемлемой точностью. Принципиальная новизна и отличительная особенность разработанной формулы, в сравнении с существующими аналогами, заключается в том, что она учитывает не только геометрический параметр — относительную глубину лунок (h/d), но и степень турбулентности набегающего потока, рассматриваемую в качестве определяющего фактора, характеризующего уровень возмущенности течения.

В рамках настоящего исследования проведен критический анализ совокупности методов активизации конвективного теплопереноса, базирующихся на целенаправленной трансформации внешнего рельефа теплоотдающей поверхности. В качестве объектов сопоставительного анализа рассмотрены различные классы геометрических модификаций: развитое оребрение, эффекты искусственной шероховатости, локальные дискретные неоднородности (как вогнутого, так и выпуклого типа), спиральные накатки, волнистые (гофрированные) структуры, а также гибридные конфигурации профилирования. Выполнена количественная верификация эффективности исследуемых подходов на основе комплекса критериев: прирост коэффициента теплоотдачи, уровень сопутствующих гидравлических потерь и интегральный критерий энергетической целесообразности. Аналитическими и экспериментальными методами установлено, что оптимальный подбор морфометрических характеристик поверхности позволяет добиться увеличения коэффициента теплопередачи в диапазоне от 30 до 200 % при удержании аэродинамического

ISSN 3030-3907

сопротивления в технологически приемлемых границах. Обобщение полученных данных легло в основу разработки прикладных инженерных рекомендаций, адресованных проектировщикам теплообменного оборудования для металлургических печей, котельных агрегатов и систем утилизации вторичных энергоресурсов.

При оценке влияния луночных рельефов на регенеративные теплообменные и гидравлические характеристики в каналах был проведен анализ и сравнение имеющихся в литературе данных по теплообмену и гидродинамике в каналах. Для лунок, расположенных в коридорном порядке при скорости равной 15 м/с, а также для гладкой пластины были проанализированы отношения коэффициентов теплоотдачи и также тепловой эффективности.

Были построены графики, на которых отображены отношения тепловых и гидравлических характеристик для лунок с δ/d=0,19; δ/d=0,25 и δ/d=0,375.

Ниже приведены графики для отношений коэффициентов теплоотдачи при различных числах Рейнольдса.

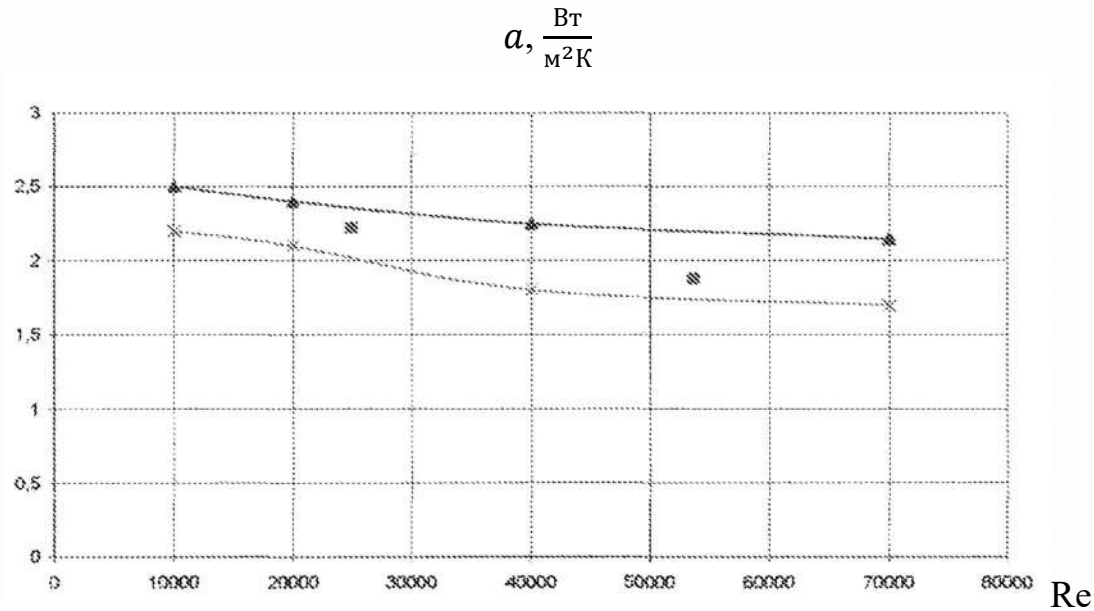


Рис.4. Отношение коэффициентов теплоотдачи с лунками к гладкой поверхности при различных числах Re.
***Δ* - δ/d = 0,19; *x* - δ/d = 0,375.**

При сравнении результатов анализа экспериментальных данных необходимо отметить степень влияния глубины к диаметру лунки, тем больше коэффициент теплоотдачи.

ОБСУЖДЕНИЕ.

Анализ приведенных исследований показывает, что увеличение температуры воздушного дутья приводит к увеличению температуры

ISSN 3030-3907

факела и количества тепла, передаваемого проплавляемым материалам. Очевидно, увеличение избытка воздуха у горелок сверх необходимого для полного сгорания топлива, так же как и подсосы воздуха по длине печи, приведут к снижению к. п. д. печи.

Таким образом, перевод отражательной печи на подогрев воздуха в рекуператорах до 713°С повысить производительность печи на 15% и обеспечить экономию топлива на 7,5% при практически неизменном составе шихты.

Определяем экономию топлива, достигаемую за счет использования физического тепла продуктов сгорания, выходящих из плавильной печи. Производительность печи *G*=40т/ч, удельный расход газа *V*=115*м*^{3}*/т металл*,

температура продуктов сгорания до регенераторов *t*=1300^{0}С и после *t*=1073^{0}С. Энтальпия продуктов сгорания после регенератора *H*=2,22 *ГДж/т металл*. Годовое тепловыделение продуктов сгорания выходящих дымовых газов *Q*=728·10^3 *ГДж/год*. Сэкономленное условное топливо *В*э=28748 *т усл. топлива.*

Поскольку теплообмен в конвективном теплообменнике между уходящими газами, в состав которых входят трех и более атомные газы, и стенками труб рекуператора осуществляется как за счет конвекции, так и за счет радиации, то в этом случае коэффициент теплоотдачи состоит из двух слагаемых:

$$a_2 = a_k + a_л$$

Конвективная составляющая, а также суммарный коэффициент теплоотдачи для дымовых газов:

$$a_{2к} = Nu\frac{\lambda_в}{d} \qquad a_{2к} = 36{,}85$$

$$a_2 = a_{2к} + a_л \qquad a_2 = 78{,}474$$

Таким образом, коэффициент теплопередачи равен:

$$к_1 = \frac{a_к a_2}{a_к + a_2} b \qquad к_1 = 17{,}267\ \frac{Вт}{м^2К}$$

При противоточном теплообменнике:

$$\Delta t = 744{,}995\ ^0С$$

Поверхность нагрева:

$$H_1 = \frac{Q}{К\Delta t} \qquad H_1 = 337{,}844 м^2$$

Длина труб теплообменника:

$$L_1 = \frac{H_1}{\pi N d_c} \qquad L_1 = 11{,}087$$

ISSN 3030-3907

При нанесении лунок на наружную поверхность пучка труб в случае его поперечного обтекания, образуются выступы на внутренней поверхности труб.

Конвективный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха:

$$a_{k1} = Nu\frac{\lambda_в}{d} \qquad a_{k1} = 38{,}075\ \frac{Вт}{м^2К}$$

Конвективный коэффициент теплоотдачи:

$$a_{k2} = Nu\frac{\lambda_в}{d} \qquad a_{k2} = 43{,}694\ \frac{Вт}{м^2К}$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи для межтрубного пространства, при лучистой составляющей, как и для обтекания труб без лунок:

$$a_2 = a_{2к} + a_л \qquad a_2 = 85{,}317\ \frac{Вт}{м^2К}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k_1 = \frac{a_{к1}\cdot a_2}{a_{к1}+a_2}\cdot b \qquad к_1 = 20{,}849\ \frac{Вт}{м^2К}$$

Площадь поверхности нагрева:

$$H_1 = \frac{Q}{k_1\Delta t} \qquad H_1 = 279{,}798\ м^2$$

Длина труб трубного пучка:

$$L_1 = \frac{Н_1}{\pi N d_c} \qquad L_1 = 9{,}182\ м$$

ОБОБЩЕННАЯ ТАБЛИЦА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННИКА

Рекуперативный теплообменник	α_1 $[\frac{Вт}{м^2К}]$	α_2 $[\frac{Вт}{м^2К}]$	K $[\frac{Вт}{м^2К}]$	H $[м^2]$	L $[м]$
Радиационный	36,0	77,7	17,0	377,9	12,4
Радиационный с лунками	49,7	73,3	20,5	313,4	10,3
Конвективный	36,0	78,5	17,3	337,8	11,1
Конвективный с лунками	38,1	82,3	20,8	279,9	9,2

Таким образом, при увеличении коэффициента теплоотдачи можно уменьшить габариты рекуперативных теплообменников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Таким образом, перевод отражательной печи на подогрев воздуха в рекуператорах до 713°С повысить производительность печи на 15% и обеспечить экономию топлива на 7,5% при практически неизменном составе шихты. Годовое тепловыделение продуктов сгорания выходящих дымовых газов составляет Q = 728 10^3 *ГДж/год*, тогда можно сэкономить

ISSN 3030-3907

топлива $B_э$ = 28748 *т усл, топлива*. Также расчетным путем установлено, что оснащение теплообменной поверхности сферическими лунками приводит к увеличению коэффициента теплопередачи с K = 17,3 *Вт/м²К* до K = 20,8 *Вт/м²К*. В этом случае Δt уменьшится и вместо Δt = 745°С, станет равно Δt = 620°С. Вследствие уменьшения Δt температура воздуха на выходе из рекуператора увеличится с $t_{пв}$ = 500°С до $t_{пв}$ = 713°С. Увеличение температуры воздуха на выходе из рекуператора с $t_{пв}$ = 500°С до $t_{пв}$ = 713°С, позволяет сократить расход топлива с B = 0,6186 м³/с до B = 0,528 м³/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключников А.Д. Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки (учебное пособие). -М.: Энергоатомиздат, 2004, 336 с.
2. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена. М.: Энергоатомиздат,1986, 156с.
3. Сеничкин Б.К., Матвеева Г.Н. Тепловые расчеты нагревательных печей. Ч.2: Учеб, пособие. М: МГТУ им. Г.И. Носова, 2004, 77с.
4. Шамсиев К.С. Высокотемпературные процессы и установки. Учебник. Т: LAVITA PRINT, 2025, 269с.
5. Леонтьев А.И., Олимпиев В.В., Дилевская Е.В., Исаев С.А. Существо механизма интенсификации теплообмена на поверхности со сферическими выемками. Известия АН. Энергетика. 2002. №2,117-135с.
6. Шамсиев К.С., Масобирова С.Т. Интенсификации процесса теплообмена на рекуперативных теплообменниках. Роль возобновляемой энергетики в рамках глобальной «Зеленной экономики». Т: 2025. 472-474с.
7. Валуева Е.П., Доморацкая Т.А. Оценка теплогидравлической эффективности рекуперативных теплообменных аппаратов. Теплоэнергетика, 2002. №3, 43-48с.

ISSN 3030-3907