ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 1

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 1

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.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

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

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫКАХ С ИЗМЕНЁННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ТРУБ

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

Аннотация. *Природный газ является одним из основных компонентов топливного баланса страны. Его крупнейшими потребителями являются энергетическая, металлургическая и химическая промышленности. Экономия природного газа позволяет достичь суммарного уровня энергосбережения в 28–35%. Одним из наиболее эффективных и широко используемых методов экономии топлива в промышленных печах и на металлургических заводах является нагрев воздуха дымовыми газами в рекуператорах или регенераторах. Основной целью данного исследования является разработка метода расчёта трубчатых рекуператоров, предназначенных для нагрева воздуха дымовыми газами, а также оценка степени повышения эффективности теплопередачи путём нанесения канавок на теплообменную поверхность.*

Ключевые слова: теплообмен, повышение эффективности теплопередачи, дымовые газы, оребрённые трубы, профилированные трубы, коэффициент теплопередачи, гидравлическое сопротивление, теплообменники.

Annotatsiya. Tabiiy gaz mamlakat yoqilg‘i balansining asosiy tarkibiy qismlaridan biridir. Uning eng yirik iste’molchilari energetika, metallurgiya hamda kimyo sanoati hisoblanadi. 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: issiqlik almashinuvi, issiqlik almashinuvining kuchayishi, tutun gazlari, qanotli quvurlar, profilli quvurlar, issiqlik uzatish koeffitsienti, gidravlik qarshilik, issiqlik almashinuvchilari.

ISSN 3030-3907

Abstract. Natural gas is a key component of the country's fuel mix. Its largest consumers are the power, metallurgical, and chemical industries. Natural gas savings can reach 28–35%. One of the most effective and widely used methods of fuel saving in industrial furnaces and metallurgical plants is the preheating of air using flue gases in recuperators or regenerators. The main objective of this study is to develop a method for calculating tubular recuperators designed for air preheating by flue gases, as well as to evaluate the extent to which heat transfer efficiency can be improved by applying grooves to the heat exchange surface.

Keywords: heat transfer, enhancement of heat transfer efficiency, flue gases, finned tubes, profiled tubes, heat transfer coefficient, hydraulic resistance, heat exchangers.

ВВЕДЕНИЕ.

В топливном балансе страны одним из основных составляющих является природный газ. Основным потребителями природного газа является: энергетическая, металлургическая и химическая промышленности. Исходя из потенциала экономии природного газа, для металлургической промышленности во всей отрасли составляет 28 до 35%. 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[3].

При рассмотрении теплообменных аппаратов, функционирующих в системе «газ — стенка — среда», необходимо отчетливо понимать, что доминирующая доля термического сопротивления необратимо сосредоточена именно со стороны газообразного теплоносителя. Это обстоятельство носит не частный, а фундаментальный характер и, по существу, выступает главным лимитирующим фактором, сдерживающим рост интегральной эффективности теплопередачи. 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.

ISSN 3030-3907

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.

В инженерной теплофизике давно сформировалось фундаментальное положение, носящее характер незыблемой закономерности: любые попытки форсирования конвективного теплообмена путем активизации пристеночных течений неизбежно сопряжены с возрастанием гидравлических потерь. Количественно эта корреляция выражается в том, что достижение прироста теплоотдачи на 30–40 %, как правило, оплачивается повышением коэффициента гидравлического сопротивления на 40–60 %, а в ряде случаев и более существенным. Данное обстоятельство, имеющее глубокую физическую природу, ставит перед проектировщиками теплообменных аппаратов нетривиальную оптимизационную задачу, суть которой сводится к поиску компромиссной геометрии поверхности, обеспечивающей максимально возможную теплоотдачу при минимальных энергетических затратах на прокачку теплоносителя[2].

МЕТОДЫ.

В ряду известных методов активизации конвективного теплопереноса вихревой подход, реализуемый посредством формирования на поверхности системы сферических лунок, заслуживает особого внимания как одно из наиболее гармоничных решений, обеспечивающих баланс теплофизических и производственно-технологических требований. Безусловным фундаментальным преимуществом данного метода выступает ярко выраженная асимметрия достигаемых эффектов: коэффициент теплоотдачи демонстрирует более интенсивную положительную динамику по сравнению с ростом гидравлического сопротивления, что принципиально отличает его от многих альтернативных способов турбулизации потока. К числу дополнительных, но отнюдь не второстепенных, достоинств следует отнести, во-первых, технологическую доступность реализации, не требующую применения прецизионного оборудования; во-вторых, неизменность массогабаритных характеристик аппарата (отсутствие прироста металлоемкости, что выгодно отличает данную технологию от методов навесного оребрения); в-третьих, эффект спонтанного образования выпуклых микроструктур на противоположной стороне стенки, которые, функционируя как естественные турбулизаторы, инициируют

ISSN 3030-3907

интенсификацию теплообмена одновременно на обеих контактирующих с теплоносителями поверхностях, формируя тем самым бифункциональную геометрию.

В иерархии технических решений, ориентированных на снижение удельной энергоемкости металлургического передела, приоритетное положение по праву принадлежит методам глубокой утилизации теплового потенциала отходящих продуктов сгорания. Реализация рекуперативных и регенеративных систем подогрева дутья позволяет эффективно возвращать в технологический цикл значительную долю тепловой энергии, причем количественный эффект топливосбережения находится в функциональной зависимости от температурного уровня уходящих газов и достигаемой степени нагрева окислителя.

В фокусе настоящего исследования находится теплотехнический комплекс, объединяющий плавильный агрегат и трубчатый рекуператор. Последний рассматривается в работе как ключевой элемент системы вторичного энергоиспользования, предназначенный для аккумуляции и трансформации тепла отводимых печных газов в потенциальную энергию нагретого дутьевого воздуха, направляемого затем в рабочее пространство[3].

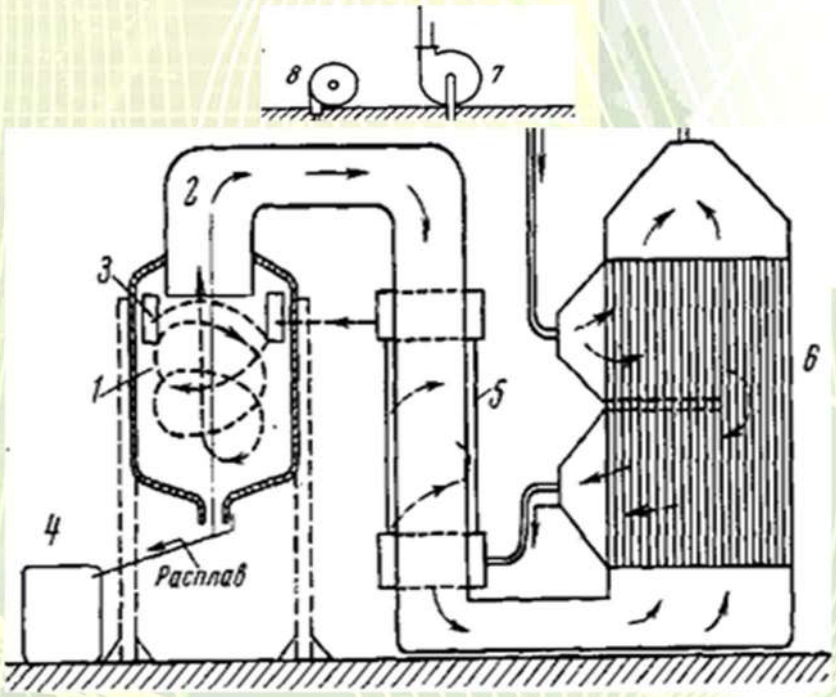


Рис.1. Принципиальная схема плавильной циклонной печи

1—циклонная камера; 2—центральная труба; 3—тангенциальный ввод топлива н воздуха; 4— гранулятор расплава; 5—радиационный рекуператор; 6—конвективный рекуператор; 7—дымосос; 8—дутьевой вентилятор

ISSN 3030-3907

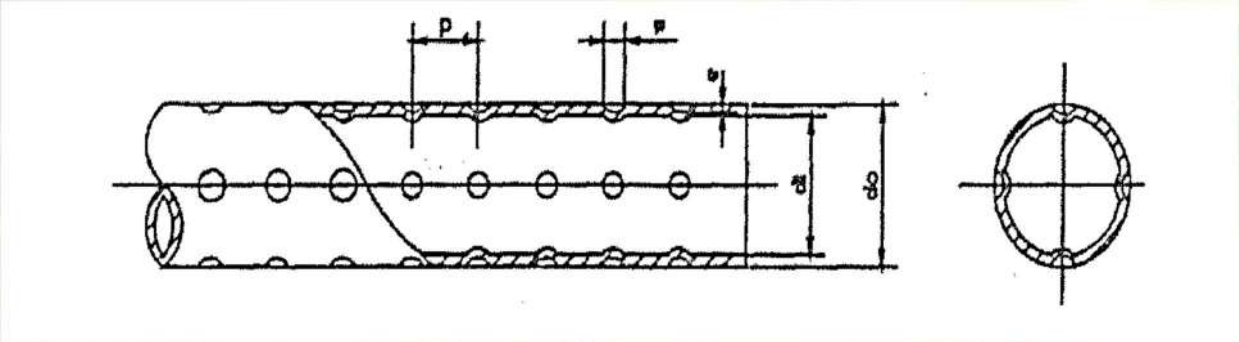


Рис.2. Трубка рекуперативного теплообменного аппарата с нанесёнными на её поверхности лунками.

Вычисление искомого значения коэффициента конвективной теплоотдачи αк, характеризующего интенсивность переноса теплоты при 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.

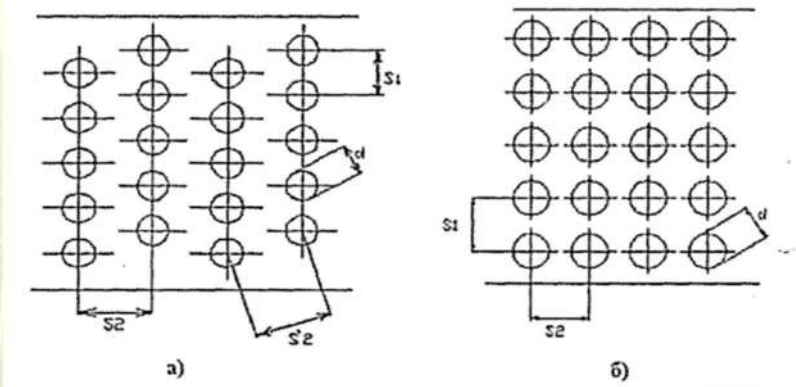


Рис.3. Схема типы расположения труб в пучке теплообменника.

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 $n = 0{,}65$ [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ.

При проведении численного эксперимента исследуемая область, прилегающая к сферической лунке, подвергалась детальной дифференциации на ряд характерных участков, репрезентативных как в продольном, так и в поперечном сечениях относительно продольной оси углубления. Моделирование процессов теплопереноса осуществлялось при фиксированной плотности теплового потока на стенке, с учетом того обстоятельства, что формирование сферических лунок сопровождается увеличением эффективной поверхности теплообмена на 12 процентов по

ISSN 3030-3907

сравнению с гладким каналом. Ключевая задача вычислительного эксперимента состояла в количественном сопоставлении интенсивности теплоотдачи: определялось соотношение коэффициентов теплоотдачи для канала, модифицированного лунками, и гладкого эталонного канала. Указанное сопоставление выполнялось раздельно для трех выделенных зон, различающихся положением по ширине лунки, что позволило выявить локальные особенности теплообмена.

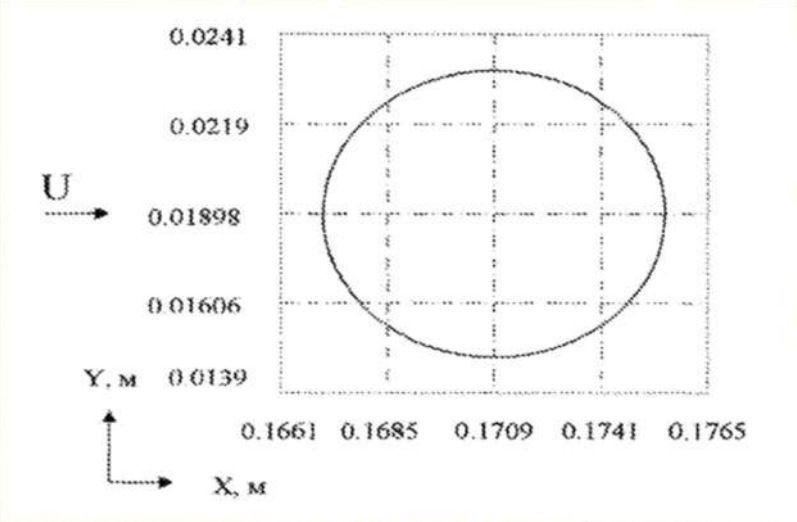


Рис.4. Предпоследняя лунка по ходу воздуха в укрупненном масштабе.

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.

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

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

Отношение коэффициентов теплоотдачи поверхности с лунками и гладкой поверхности при различных числах Re.

$$\alpha_л / \alpha_п$$

ISSN 3030-3907

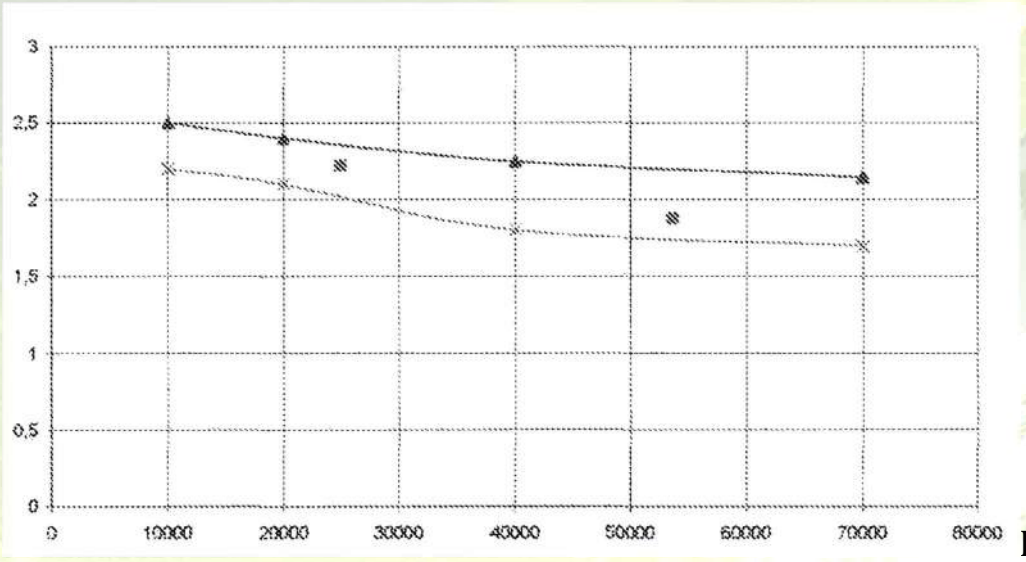


Рис.5. Отношение коэффициентов теплоотдачи с лунками к гладкой поверхности при различных числах Re.

Δ - δ/d = 0,19; x - δ/d = 0,375.

ОБСУЖДЕНИЕ.

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:

$$a_2 = a_k + a_л$$

Коэффициент теплоотдачи от трубок к воздуху, а также дальнейший расчет ведется аналогично представленному для радиационного рекуператора.

Для этого случая коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха:

$$a_k = 35{,}976 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Лучистая составляющая для дымовых газов:

$$a_л = 41{,}623 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$$

Свойства дымовых газов:

$$v_g = 174.3\ 10^{-6}\ \text{н} \cdot \frac{\text{сек}}{\text{м}^2}$$

$$Pr_g = 0{,}58$$

$$\lambda_g = 10{,}9 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$$

Скорость течения дымовых газов м/с:

$$W_1 = \frac{V_1}{S_m} \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \qquad \text{W}_1 = 10{,}702$$

ISSN 3030-3907

Таким образом число *Re* и *Nu*:

$$Re = w_1 \frac{d}{v_g} \qquad Re = 6{,}263 \cdot 10^3$$

$$Nu = 0{,}35\mathrm{Re}^{0{,}65}\, Pr^{0{,}36} \qquad Nu = 88{,}026$$

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:

$$\Delta t = 744{,}995\ ^0C$$

Поверхность нагрева:

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

Длина труб теплообменника:

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

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

Таблица 1

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРИ ТРУБ

e, м	Глубина лунки	0,003
d_i, м	Внутренний диаметр трубы	0,098
p, м	Расстояние между центрами лунок	0,018
d_2, м	Диаметр лунок	0,009
n	Количество рядов с лунками	4

Коэффициент C и m для определения числа Нуссельта:

$$\mathrm{C} = 0{,}01369\left(\frac{\mathrm{e}}{\mathrm{p}}\right)^{-0{,}1977} \cdot \left(\frac{\mathrm{c}}{\mathrm{d}_2}\right)^{0{,}2055} \qquad C = 0{,}016$$

$$m = 1.016\left(\frac{e}{d_i}\right)^{0.07604}\left(\frac{e}{p}\right)^{0.1707}\left(\frac{e}{d_2}\right)^{-0.01432} \qquad m = 0.864$$

Следовательно:

$$Nu = C \cdot \mathrm{Re}^m\, Pr^{0{,}33} \qquad Nu = 90.952$$

Конвективный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха:

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

ISSN 3030-3907

Число Nu для межтрубного пространства при наличии лунок на теплообменной поверхности:

$$Nu = 0{,}415 \cdot \mathrm{Re}_{mt}^{0{,}65} \cdot Pr^{0{,}36} \qquad \mathrm{Nu} = 104{,}374$$

Конвективный коэффициент теплоотдачи:

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

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

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

Коэффициент теплопередачи:

$$k_1 = \frac{a_{к1} \cdot a_2}{a_{к1} + a_2} \cdot b \qquad \text{к}_1 = 20{,}849 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Площадь поверхности нагрева:

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

Длина труб трубного пучка:

$$L_1 = \frac{\text{H}_1}{\pi N d_c} \qquad L_1 = 9{,}182 \ \text{м}$$

Таблица 2

ОБОБЩЕННАЯ ТАБЛИЦА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННИКА

Рекуперативный теплообменник	α_1 $[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}]$	α_2 $[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}]$	K $[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}]$	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.

Расчетным путем установлено, что оснащение теплообменной поверхности сферическими лунками приводит к увеличению коэффициента теплопередачи с K = 17,3 $Вт/м^2К$ до K = 20,8 $Вт/м^2К$. 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

ISSN 3030-3907

рекуператора с $t_{пв}$ = 500°С до $t_{пв}$ = 713°С, позволяет сократить расход топлива с B = 0,6186 м^3/с до B = 0,528 м^3/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена. М.: Энергоатомиздат,1986, 156с.
2. Сеничкин Б.К., Матвеева Г.Н. Тепловые расчеты нагревательных печей. Ч.2: Учеб. пособие. М: МГТУ им. Г.И. Носова, 2004, 77с.
3. Шамсиев К.С. Высокотемпературные процессы и установки. Учебник. Т:LAVITA PRINT. 2025, 269с.
4. 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.
5. Шамсиев К.С., Масобирова С.Т. Интенсификации процесса теплообмена на рекуперативных теплообменниках. Роль возобновляемой энергетики в рамках глобальной «Зеленной экономики».Т: 2025. 472-474с.
6. Валуева Е.П., Доморацкая Т.А. Оценка теплогидравлической эффективности рекуперативных теплообменных аппаратов. Теплоэнергетика, 2002. №3, 43-48с.

ISSN 3030-3907