

ISSN 2518-1467 (Online),  
ISSN 1991-3494 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Ш Ы С Ы

---

---

## ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА  
PUBLISHED SINCE 1944

3

---

АЛМАТЫ  
АЛМАТЫ  
ALMATY

2017

МАМЫР  
МАЙ  
MAY

Б а с р е д а к т о р ы

х. ғ. д., проф., ҚР ҰҒА академигі

**М. Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Абиев Р.Ш.** проф. (Ресей)  
**Абишев М.Е.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Аврамов К.В.** проф. (Украина)  
**Аппель Юрген** проф. (Германия)  
**Баймуқанов Д.А.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Байпақов К.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Байтулин И.О.** проф., академик (Қазақстан)  
**Банас Иозеф** проф. (Польша)  
**Берсимбаев Р.И.** проф., академик (Қазақстан)  
**Велихов Е.П.** проф., РҒА академигі (Ресей)  
**Гашимзаде Ф.** проф., академик (Әзірбайжан)  
**Гончарук В.В.** проф., академик (Украина)  
**Давлетов А.Е.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Джрбашян Р.Т.** проф., академик (Армения)  
**Қалимолдаев М.Н.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан), бас ред. орынбасары  
**Лаверов Н.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Лупашку Ф.** проф., корр.-мүшесі (Молдова)  
**Мохд Хасан Селамат** проф. (Малайзия)  
**Мырхалықов Ж.У.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Новак Изабелла** проф. (Польша)  
**Огарь Н.П.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Полещук О.Х.** проф. (Ресей)  
**Поняев А.И.** проф. (Ресей)  
**Сагиян А.С.** проф., академик (Армения)  
**Сатубалдин С.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Таткеева Г.Г.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Умбетаев И.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Хрипунов Г.С.** проф. (Украина)  
**Якубова М.М.** проф., академик (Тәжікстан)

**«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының Хабаршысы».**

**ISSN 2518-1467 (Online),**

**ISSN 1991-3494 (Print)**

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы»РҚБ (Алматы қ.)

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде  
01.06.2006 ж. берілген №5551-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 2000 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,  
www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р  
д. х. н., проф. академик НАН РК  
**М. Ж. Журинов**

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

**Абиев Р.Ш.** проф. (Россия)  
**Абишев М.Е.** проф., член-корр. (Казахстан)  
**Аврамов К.В.** проф. (Украина)  
**Апель Юрген** проф. (Германия)  
**Баймуканов Д.А.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Байпаков К.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Байтулин И.О.** проф., академик (Казахстан)  
**Банас Иозеф** проф. (Польша)  
**Берсимбаев Р.И.** проф., академик (Казахстан)  
**Велихов Е.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Гашимзаде Ф.** проф., академик (Азербайджан)  
**Гончарук В.В.** проф., академик (Украина)  
**Давлетов А.Е.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Джрбашян Р.Т.** проф., академик (Армения)  
**Калимолдаев М.Н.** проф., чл.-корр. (Казахстан), зам. гл. ред.  
**Лаверов Н.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Лупашку Ф.** проф., чл.-корр. (Молдова)  
**Мохд Хасан Селамат** проф. (Малайзия)  
**Мырхалыков Ж.У.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Новак Изабелла** проф. (Польша)  
**Огарь Н.П.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Полещук О.Х.** проф. (Россия)  
**Поняев А.И.** проф. (Россия)  
**Сагьян А.С.** проф., академик (Армения)  
**Сатубалдин С.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Таткеева Г.Г.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Умбетаев И.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Хрипунов Г.С.** проф. (Украина)  
**Якубова М.М.** проф., академик (Таджикистан)

**«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан».**

**ISSN 2518-1467 (Online),**  
**ISSN 1991-3494 (Print)**

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов  
Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK

**M. Zh. Zhurinov**

E d i t o r i a l b o a r d:

**Abiyev R.Sh.** prof. (Russia)  
**Abishev M.Ye.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Avramov K.V.** prof. (Ukraine)  
**Appel Jurgen,** prof. (Germany)  
**Baimukanov D.A.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Baipakov K.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Baitullin I.O.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Joseph Banas,** prof. (Poland)  
**Bersimbayev R.I.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Velikhov Ye.P.** prof., academician of RAS (Russia)  
**Gashimzade F.** prof., academician ( Azerbaijan)  
**Goncharuk V.V.** prof., academician (Ukraine)  
**Davletov A.Ye.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Dzhrbashian R.T.** prof., academician (Armenia)  
**Kalimoldayev M.N.** prof., corr. member. (Kazakhstan), deputy editor in chief  
**Laverov N.P.** prof., academician of RAS (Russia)  
**Lupashku F.** prof., corr. member. (Moldova)  
**Mohd Hassan Selamat,** prof. (Malaysia)  
**Myrkhalykov Zh.U.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Nowak Isabella,** prof. (Poland)  
**Ogar N.P.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Poleshchuk O.Kh.** prof. (Russia)  
**Ponyaev A.I.** prof. (Russia)  
**Sagiyani A.S.** prof., academician (Armenia)  
**Satubaldin S.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Tatkeyeva G.G.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Umbetayev I.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Khripunov G.S.** prof. (Ukraine)  
**Yakubova M.M.** prof., academician (Tadjikistan)

**Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**

**ISSN 2518-1467 (Online),**

**ISSN 1991-3494 (Print)**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

**A. A. Genbach, N. O. Jamankulova**Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: dnellya@mail.ru**APPLICATION OF CAPILLARY-POROUS SYSTEMS  
IN METALLURGICAL PRODUCTION**

**Abstract.** Application of capillary-porous systems in metallurgical production has large-scale and multi-purpose character. The heat exchanger in the form of box-type caissons has a high intensity of heat transfer, removes high thermal loads and provides explosion-proof operating conditions for melting units. They allow to reduce the formation of nitrogen oxides in a fire chamber torch, to increase the reliability of operation of desuperheaters, to increase the stability of the operation of air heaters to low-temperature corrosion. Studies of heat transfer processes will allow us to generalize the experimental data and propose a method for calculating the porous system. Capillary-porous structures are effective for dust and gas trapping and dust suppression using the controlled geometry of micro-channels of the porous structure.

**Key words:** capillary-porous system; cooling system; heat exchanger; caisson; heat flux.

УДК 536.248.2

**A. A. Генбач, Н. О. Джаманкулова**

Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

**ПРИМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СИСТЕМ  
В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Аннотация.** Применение капиллярно-пористых систем в металлургическом производстве носит широкомасштабный и многоцелевой характер. Теплообменники в виде коробчатых кессонов обладают высокой интенсивностью теплопередачи, отводят высокие тепловые нагрузки и обеспечивают взрывобезопасные условия эксплуатации плавильных агрегатов. Позволяют на порядок снизить образование оксидов азота в факеле топки, повысить надежность работы пароохладителей, повышают устойчивость работы воздушных подогревателей к низкотемпературной коррозии. Исследования процессов теплопередачи позволит обобщить опытные данные и предложить методику расчета пористой системы. Капиллярно-пористые структуры эффективны для пылегазоулавливания и пылеподавления с использованием управляемой геометрии микроканалов пористой структуры.

**Ключевые слова:** капиллярно-пористая система; система охлаждения; теплообменник; кессон; тепловой поток.

В металлургических агрегатах детали и узлы работают в высокотеплонагруженном состоянии и требуют интенсивного охлаждения. Более того, в случае прогара кессонов холодоноситель попадает в расплав (штейн) и может произойти взрыв печи. В этом случае может быть эффективна капиллярно-пористая система охлаждения, которая содержит весьма малое количество жидкости, взрывобезопасна и обладает высокой форсировкой и интенсивностью теплообмена [1-3].

Интенсификация топочных процессов, рост единичной мощности теплогенераторов (котлов, камер сгорания и др.) в металлургических агрегатах привели к активному образованию в дымовых газах токсичных окислов азота.

Воздействуя на динамику процесса горения топлива можно подавлять образование окислов азота. Однако мероприятия, связанные с этими воздействиями, влекут за собой ряд отрицательных явлений. Например, замедленное смешение топлива с воздухом приводит к снижению концентрации окислов азота и, в то же время, ухудшает процесс горения. Снижение теплового напряжения в топке также уменьшает концентрацию окислов азота в продуктах сгорания, но влечет за собой увеличение габаритов котла и главного корпуса, удорожая стоимость производства. В условиях, когда нет радикальных методов подавления образования окислов азота, основное внимание должно уделяться вопросам очистки дымовых газов промышленными установками. Однако в настоящее время таких установок нет. Сложность создания очистных установок связаны с высокой химической устойчивостью и малой растворимостью окислов азота и низкой их концентрацией по сравнению с другими компонентами дымовых газов, в том числе вредных ингредиентов.

Существенным фактором, влияющим на образование окислов азота при сжигании топлива, является температура в ядре факела и коэффициент избытка воздуха в топке. При постоянном коэффициенте избытка воздуха концентрация окислов азота тем больше, чем выше температурный уровень в топочной камере.

Предложена конструкция топочной камеры, которая позволяет проводить сжигание топлива с низким коэффициентом избытка воздуха [4]. Активный отбор тепла с помощью тепловых труб от горящего факела позволяет поддерживать температуру газов на уровне, при котором окислы азота образуются в ограниченном количестве. Для надежного отвода теплоты, стабилизации температурного поля в топке и повышения надежности работы теплоотводящих труб целесообразно выполнить их в виде теплопередающих аппаратов с пористой структурой. Верхний участок тепловых труб выполняется газоплотным и примыкает к стенке камеры между соплом и окном топки. Испарительная часть снабжена пористой структурой и размещена целиком в топке. Конденсатор располагается вдоль топочной камеры. Отводимое тепло идет на нагрев воды или пароводяной смеси.

Снижение температуры в ядре факела с помощью пористых теплообменников можно реализовать в любых топочных камерах, работающих на твердом, жидком и газообразном топливах, в том числе топках с псевдооживленным слоем, частицы которого являются хорошим высокотемпературным теплоносителем. В таких слоях коэффициент теплообмена может изменяться от 20-30 до  $(2-3) \cdot 10^3$  Вт/м<sup>2</sup>·К, что соизмеримо с коэффициентом теплообмена в пористой структуре. Поэтому, псевдооживленный слой, оснащенный пористой системой, может использоваться в качестве регулятора нагрузки; нагреве и охлаждении различных тел; при сжигании топлив в самом слое; служить для охлаждения продуктов плазмохимических реакций; при скоростном проведении химических реакций в электротермии.

За счет активного отбора тепла пористым теплообменником реакции будут протекать при пониженном стабилизированном температурном уровне. Это позволит в значительной мере снизить концентрацию образующихся окислов азота, что имеет огромное экологическое значение. Известны опыты по теплообмену с погруженными поверхностями, внутри которых протекала охлаждающая среда. Установлено, что для горизонтально расположенных и вертикальных труб теплообмен практически одинаков. Коэффициенты теплоотдачи от слоя к трубе имеют минимальное значение, если она наклонена под углом 45 градусов к вертикали. Объясняется это характером смены частиц у погруженных труб.

Осредненные коэффициенты теплообмена для погруженной пластины возрастали от 200 Вт/м<sup>2</sup>·К (горизонтальное расположение, теплообменная поверхность обращена вниз) до максимального значения - 450 Вт/м<sup>2</sup>·К, когда угол наклона составлял 10 градусов к вертикали. При вертикальном положении пластин коэффициент теплоотдачи был равен 300 Вт/м<sup>2</sup>·К и снижался до 60 Вт/м<sup>2</sup>·К при горизонтальном положении пластины, обращенной теплообменной поверхностью вверх (-90 градусов). При небольших положительных углах наклона тепло эффективно передается частицами, которые перемещаются вверх вдоль поверхности вместе с поднимающимися пузырями. Малая интенсивность теплообмена при отрицательных углах наклона объясняется отсутствием псевдооживления. При погружении горизонтальных труб в слое большая часть поверхности теплообмена будет находиться в условиях поперечного обтекания материалом, движущимся под действием интенсивной циркуляции, вызванной пузырями. Однако появляется тенденция к образованию отдельных зон неподвижного материала на верхней стороне трубы. В этом случае обра-

ценная вниз поверхность трубы будет охвачена пузырями, что снижает интенсивность теплообмена.

Описанный механизм процесса теплообмена может быть полезен при конструктивном оформлении топочных камер агрегатов, оснащенных пористыми системами. Можно отметить слабую зависимость среднего коэффициента теплоотдачи от шага труб при их расположении друг от друга на большом расстоянии (ухудшение циркуляции частиц). Очевидно, что пористые системы могут использоваться и для подвода теплоты к псевдооживленному слою.

Пористые теплообменники целесообразно снабдить поперечными, либо продольными ребрами, так как коэффициент теплопередачи в системе выше, чем теплоотдача от псевдооживленного слоя к стенке. Оребренные пористые системы могут быть использованы для охлаждения уходящих газов промышленных печей, несущих твердую взвесь.

Пароохладители как теплообменные аппараты находят широкое применение для подогрева питательной воды и для регулирования температуры первичного и вторичного пара в оборудовании металлургического производства.

Разделяют поверхностные и впрыскивающие устройства. Условия работы пароохладителей определяют надежность и экономичность функционирования агрегата. Впрыскивающие пароохладители в настоящее время имеют рубашку, внутри которой разбрызгивается питательная вода. Рубашка предотвращает попадание капель воды на сильно нагретый металл корпуса, защищая его от образования трещин.

Впрыск воды в пар осуществляется через сопло, в узком сечении которого имеется большое количество отверстий малого диаметра. На рисунке 1 показан пароохладитель с односторонним кольцевым вводом питательной воды [4].

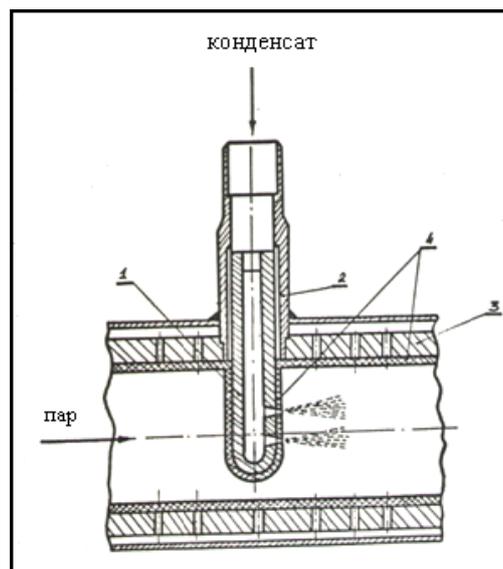


Рисунок 1 – Пароохладитель впрыскивающего типа с пористой системой охлаждения:  
1 – форсунка; 2 – штуцер; 3 – коллектор; 4 – капиллярно-пористая структура

Конструкция пароохладителя с кольцевым вводом воды предпочтительней, так как обеспечивает более равномерное охлаждение потока и создает меньшую концентрацию напряжений при попадании капель на рубашку. Но даже эта конструкция не всегда способна защитить корпус от попадания капель, когда возникают значительные термические напряжения и возможно появление трещин.

Уменьшить термические напряжения можно увеличением площади соприкосновения капли с металлом. При покрытии металла микропористой структурой капли распределяются под действием капиллярных сил. Аналогичным путем можно решить проблему для барабанов котельного агрегата. Эффективным является организация ввода воды путем подачи - продавливания через пористую структуру, покрывающую стенки рубашки пароохладителя. При этом площадь,

занимаемая тонкой пленкой воды, значительно увеличивается и при ее испарении будет происходить активный отбор тепла. С помощью регуляторов можно будет создавать либо избыток, либо недостаток воды на поверхности. Для улучшения равномерности прогрева (охлаждения пара) можно турбулизовать поток. Целесообразно покрывать микропористой структурой стенки корпуса в редуционно-охлаждающих устройствах, уменьшая тем самым термические напряжения металла [4].

Поверхностные пароохладители нашли применение как для подогрева питательной воды (водо-паровые теплообменники), так и для регулирования температуры вторичного пара. В выносных паро-паровых теплообменниках пар промежуточного перегрева движется по V-образной трубе большого диаметра. Внутри этих труб установлены трубы малого диаметра для первичного пара.

Для интенсификации теплообмена турбулизируют поток пара, увеличивают его скорость, однако это требует больших затрат энергии. Дальнейшей интенсификацией процесса теплообмена является применение теплообменников на тепловых трубах, которые позволяют увеличить коэффициент теплопередачи, так как при кипении и конденсации теплообмен идет значительно эффективней, что приведет к сокращению необходимой площади соприкосновения двух сред, а значит и к экономии металла. Таким образом, повышая надежность работы пароохладителей, уменьшается количество аварий, улучшаются условия охраны труда персонала, сокращается металлоемкость, и, в целом, увеличивается экономичность работы производства.

В воздушных пароохладителях применяют теплообменники с промежуточным теплоносителем (термосифоны). Они являются простейшими тепловыми трубами, работающими без капиллярно-пористой структуры, поскольку в них испаритель расположен ниже конденсатора. Такие устройства начали применяться пока только для трубчатых рекуперативных воздухоподогревателей паровых котлов, хотя они не менее перспективны для регенеративных подогревателей. Методика их расчета изложена в Нормативном методе расчета котельных агрегатов. Они позволяют снизить температуру уходящих газов, тем самым существенно увеличить к.п.д. парогенератора. Однако это приводит к росту скорости сернистой коррозии со стороны газов, особенно в конвективных поверхностях нагрева. По причине коррозии наблюдается массовый выход из строя воздухоподогревателей и экономайзеров через 2-3 года после их установки.

Конденсация водяных паров, содержащихся в дымовых газах, наблюдается на поверхностях нагрева при незначительных температурах, существенно меньших  $100^{\circ}\text{C}$ . Эта температура может возрасти в (3-4) раза, когда в дымовых газах содержатся окислы серы. Сернистый ангидрид, активно взаимодействуя с водяными парами, образует серную кислоту. Точка росы дымовых газов сернистых топлив может возрасти до  $(140-150)^{\circ}\text{C}$ . Наибольшая скорость коррозии, обусловленная конденсацией серной кислоты, наблюдается на стенках труб при температуре, равной температуре точки росы топлива. При более низких температурах стенки скорость коррозии заметно уменьшается и достигает минимального значения при  $(70-85)^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее снижение температуры стенки вновь приводит к увеличению скорости коррозии.

Для предотвращения коррозии в воздушных подогревателях необходимо, чтобы температура стенок поддерживалась на  $(10-15)^{\circ}\text{C}$  больше температуры точки росы для данного вида сжигаемого топлива.

Применяемый для борьбы с коррозией метод рециркуляции части горячего воздуха обладает рядом недостатков: большой расход электроэнергии на дутьевой вентилятор, уменьшается температурный напор на входном участке воздухоподогревателя, понижается к.п.д. котла за счет роста температуры уходящих газов. Используют и другие методы борьбы с коррозией: предварительный подогрев воздуха паром из отбора турбины в калориферах, добавляют присадки к топливу в виде доломита, магнезита, аммиака, используют антикоррозионные покрытия поверхностей нагрева. Перечисленные методы являются неэкономичными.

Перспективным методом борьбы с низкотемпературной коррозией является установка воздухоподогревателей с промежуточным теплоносителем. При сжигании твердого топлива рекомендуется устанавливать такой подогреватель как "холодную" часть первой ступени воздухоподогревателя в коррозионной области температур металла, равных  $(80-160)^{\circ}\text{C}$ . Преимуществом воздухоподогревателя с промежуточным теплоносителем являются коррозионная стойкость, простота в

эксплуатации, легкость в очистке от золовых отложений, однако термосифоны требуют тщательной дегазации рабочей жидкости и объема трубки.

Применение пористых систем [5-13] позволяет их реализовать в качестве воздушных подогревателей, что устранил недостатки, присущие термосифонам: отпадает необходимость в тщательной дегазации трубок и жидкости, теплоносителем может служить конденсат, возвращаемый в чистом виде, значительно уменьшается температурный напор между стенкой и паром, а, следовательно, поддерживается температура стенки трубы в заданных пределах. Расчет поверхности теплообмена показал, что, даже учитывая влияние загрузки труб и неравномерность температурного поля газов на выходе из несменяемой части воздухоподогревателя, достигнут положительный эффект. Например, выполняется условие, когда скорость коррозии не превысит  $0,2 \cdot 10^{-3}$  м/год для донецкого угля ПЖ с  $t_k = 36^\circ\text{C}$ . При температуре стенки, равной  $t_{ст} = (110-126)^\circ\text{C}$ , наблюдается максимальная скорость коррозии. Для пористой системы расчетная температура стенки составила  $89^\circ\text{C}$ , охлаждение газов осуществлено от  $130$  до  $105^\circ\text{C}$  и для котла мощностью  $300$  МВт дополнительно получена тепловая мощность около  $7$  МВт [4,9].

Таким образом, применяя пористые системы для воздушных подогревателей, по сравнению с термосифонами, исключается влияние гидростатического напора на теплообмен, существенно уменьшается влияние неконденсирующихся газов в трубе, а, следовательно, повышается надежность работы системы и упрощается методика расчета. Также стабилизируется температура стенки по высоте теплообменника, что исключает локальную коррозию металла, уменьшается температурный напор между стенкой и паром в пористой системе, увеличивая коэффициент теплопередачи и, снижая металлоемкость, утилизируется теплота уходящих газов.

Конструктивное исполнение кессонов (рисунок 2-6) представляет коробчатую форму. Они состоят из корпуса 1 и съемной крышки 2, герметично скрепляемые по периметру болтами 3. Внутренняя поверхность стенки 4 покрыта капиллярно-пористой структурой 5, прижатой перфорированными пластинами 6. Артерии 7 соединены с верхними концами структуры, через торец которой к охлаждаемой поверхности подается жидкость массовыми и капиллярными силами.

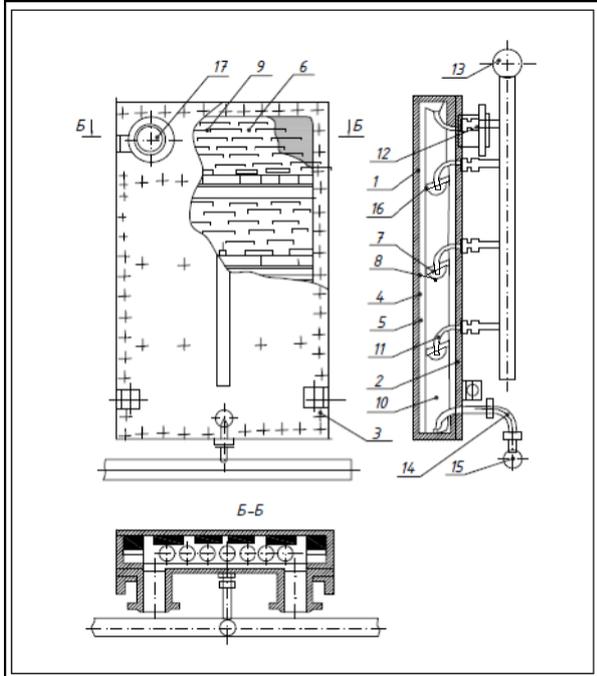


Рисунок 2 – Конструктивная разработка кессона с капиллярно-пористой системой охлаждения кессона с пластинами жесткости: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – болт; 4 – стенка; 5 – капиллярно-пористая структура; 6 – пластина; 7 – артерия; 8 – корытце; 9 – отверстие; 10 – канал; 11, 17 – патрубок; 12 – труба; 13, 15 – коллектор; 14 – сифон; 16 – пластины жесткости

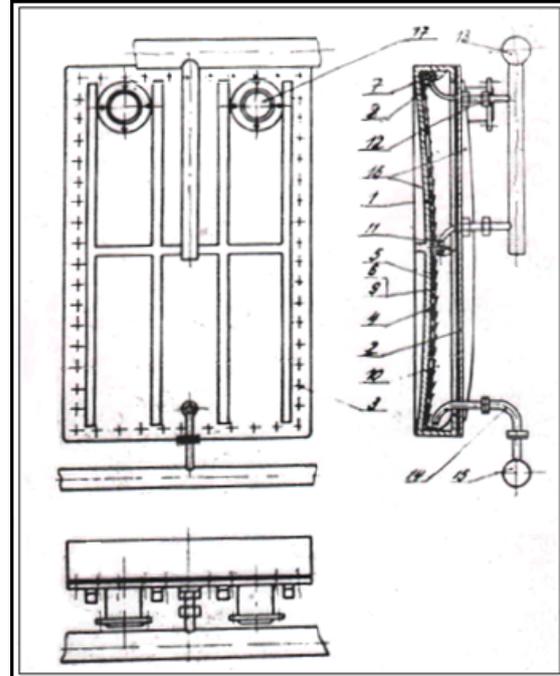


Рисунок 3 – Конструктивное выполнение кессона с капиллярно-пористой системой с внешним оребрением: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – болт; 4 – стенка; 5 – капиллярно-пористая структура; 6 – пластина; 7 – артерия; 8 – корытце; 9 – отверстие; 10 – канал; 11, 17 – патрубок; 12 – труба; 13, 15 – коллектор; 14 – сифон; 16 – внешнее оребрение

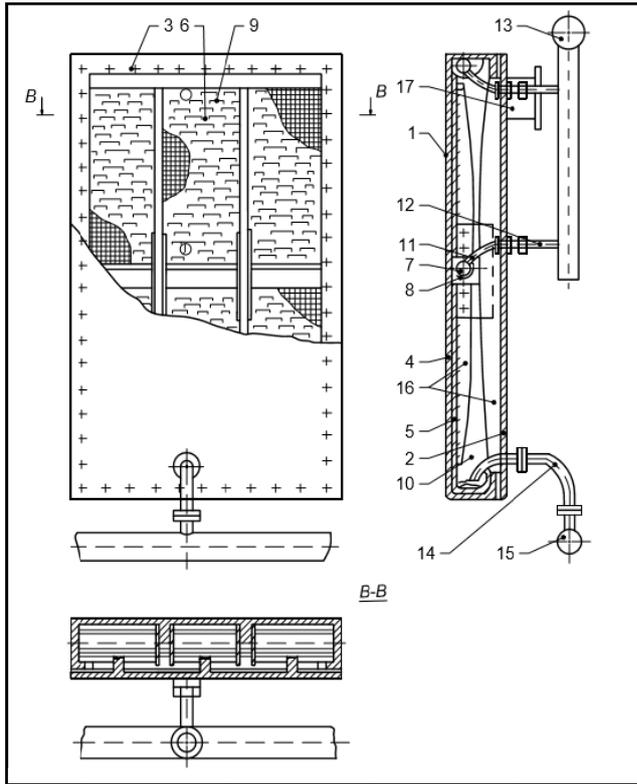


Рисунок – 4 Конструктивное решение кессона с капиллярно-пористой системой с внутренним оребрением:  
 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – болт; 4 – стенка;  
 5 – капиллярно-пористая структура; 6 – пластина; 7 – артерия;  
 8 – корытце; 9 – отверстие; 10 – канал; 11,17 – патрубок; 12 – труба;  
 13,15 – коллектор; 14 – сифон; 16 – внутреннее оребрение

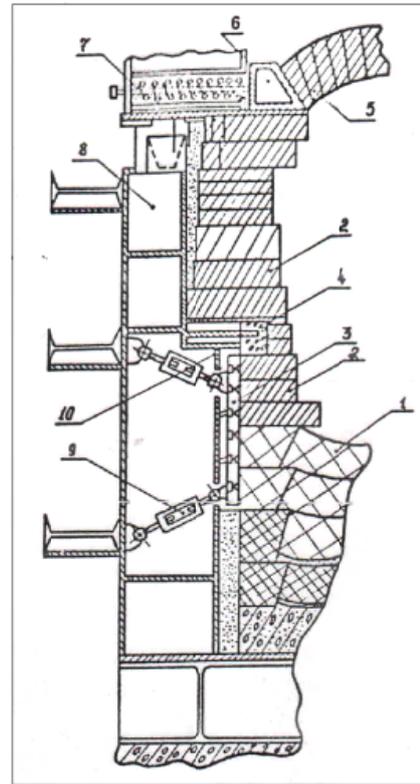


Рисунок 5 – Установка коробчатых кессонов в зоне шлака плавильной печи:  
 1 – подина; 2 – стена; 3 – кессон;  
 4, 10 – верхняя и нижняя полки; 5 – свод;  
 6 – опорная балка свода; 7 – пружина свода;  
 8 – стойка каркаса; 9 – форкопы

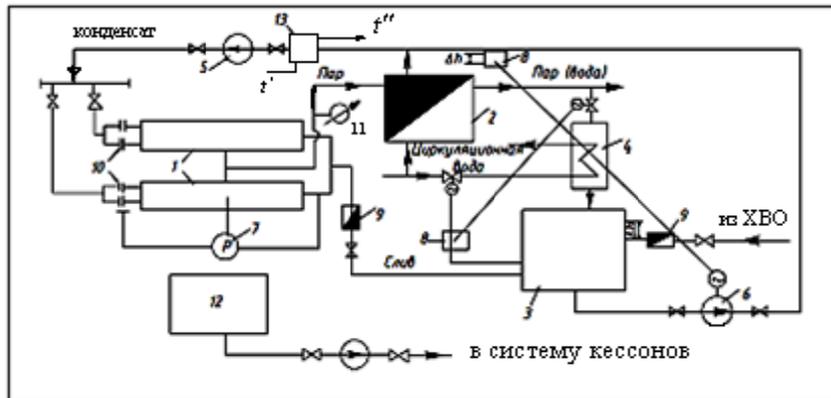


Рисунок 6 – Установка испарительно-конденсационной капиллярно-пористой системы охлаждения деталей (кессонов) плавильной печи: 1 – охлаждаемая деталь; 2 – паро-паровой теплообменник; 3 – бак питания; 4 – конденсатор линии подпитки; 5 – конденсатный насос; 6 – насос подпитки; 7 – контактный манометр; 8 – регулятор уровня; 9 – обратный клапан; 10 – регулирующий вентиль; 11 – манометр; 12 – аварийно-ремонтный бак; 13 – охладитель конденсата

Нижние концы структуры обычно свободны и погружены в корытца 8, где скапливается жидкость за счет утечек, каплеуноса или избытка. На поверхности пластин выштампованы углубления с отверстиями 9, которые обеспечивают выход пара из структуры в канал 10, а также служат ловителями выбрасываемых из структуры капель и стекаемой избыточной жидкости по внешней поверхности пластины. Артерия соединена с патрубком 11, с разводящими трубами 12 и коллектором 13. Избыток охлаждающей жидкости скапливается в нижней части кессона и сифоном 14

удаляется в нижний коллектор 15 и далее в накопитель для возврата в систему. С целью облегчения конструкции и сохранения достаточной жесткости кессоны снабжаются распорками 16, выполненными в виде Z-образных перфорированных пластин (см. рисунок 2) или ребрами жесткости (рисунки 3, 4). Ребра могут располагаться снаружи или внутри корпуса и крышки кессона. На крышке, в верхней ее части, приварены патрубки 17 с фланцами для соединения с паропроводом. Структура может быть вытянутой в вертикальном или горизонтальном направлении, верхний или нижний концы которой (либо оба) соединены с артерией. Перфорированные пластины изготавливают по форме и размерам в соответствии со структурой. Выштампованные перфорированные углубления в них могут иметь форму усеченного конуса, либо продольных пазов с отверстиями, обращенных вверх.

На рисунке 5 показана установка коробчатых кессонов в зоне шлака плавильной печи, а на рисунке 6 - схема испарительно-конденсационной системы охлаждения деталей (кессонов) плавильной печи.

Таким образом, в металлургическом производстве капиллярно-пористая система может быть применена в виде взрывобезопасного теплообменника, устройства для снижения образования оксидов азота в ядре факела топки, пароохладителя, воздухоподогревателя, устойчивого к низкотемпературной коррозии. Капиллярно-пористые структуры эффективны для пылегазоулавливания и пылеподавления с использованием управляемой геометрии микроканалов пористой структуры [4, 7, 9, 13].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Поляев В.М., Генбач А.А. Скорость роста паровых пузырей в пористых структурах // Известия вузов. Машиностроение. – 1990. – № 10. – С. 56-61.
- [2] Поляев В.М., Генбач А.Н., Генбач А.А. Предельное состояние поверхности при термическом воздействии // ТВТ. – 1991. – Т.29, № 5. – С. 923-934.
- [3] Polyaev V., Genbach A. Control of Heat Transfer in a Porous Cooling System // Second world conference on experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics. – 1991. – Dubrovnik, Yugoslavia, 23-28 June, pp. 639-644.
- [4] Поляев В.М., Генбач А.А. Области применения пористой системы. // Известия вузов. Энергетика. – 1991. – № 12. – С. 97-101.
- [5] Поляев В.М., Генбач А.А. Управление теплообменом в пористых структурах // Известия Российской академии наук. Энергетика и транспорт. – 1992. – Т.38, № 6. – С. 105-110.
- [6] Поляев В.М., Генбач А.А. Теплообмен в пористой системе, работающей при совместном действии капиллярных и гравитационных сил // Теплоэнергетика. – 1993. – № 7. – С. 55-58.
- [7] Генбач А.А., Кульбакина Н.В. Пылеподавление и пылеулавливание с помощью циркуляционного пеногенератора с пористой структурой // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. – 2010. – № 4. – С. 62-65.
- [8] Поляев В.М., Генбач А.А. Управление внутренними характеристиками кипения в пористой системе // Криогенная техника и кондиционирование: Сб. трудов МГТУ. – 1991. – С. 224-237.
- [9] Поляев В.М., Генбач А.А. Применение пористой системы в энергетических установках // Промышленная теплоэнергетика. – 1992. – № 1. – С. 40-43.
- [10] Поляев В.М., Генбач А.А. Расчет тепловых потоков в пористой системе охлаждения // Известия вузов. Авиационная техника. – 1992. – № 2. – С. 71-74.
- [11] Polyaev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. Methods of Monitoring Energy Process // Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics, Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics, avenue of the Americas.-New York, 1995. V.10, april. -pp. 273-286.
- [12] Генбач А.А., Гнатченко Ю.А. Системы охлаждения теплонагруженного элемента детонационного горелочного устройства – Камеры сгорания, диффузора, конфузора // Вестник Каз НТУ. - Алматы. – 2007. – № 4 (61) июль. – С.87-91.
- [13] Генбач А.А., Пионтковский М.С. Пористый пылегазоуловитель с управляемой геометрией микроканалов // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. – 2010. – №4. – С.59-61.

#### REFERENCES

- [1] Polyaev V. M., Genbach A.A. Skorost' rosta parovyh puzyrej v poristyh strukturah // *Izvestija vuzov. Mashinostroenie*. 1990, № 10, pp. 56-61 (in Russ.).
- [2] Polyaev V. M., Genbach A.N., Genbach A.A. Predel'noe sostojanie poverhnosti pri termicheskom vozdejstvii // *Teplofizika vysokikh temperatur (TVT)*. 1991, V. 29, № 5, pp. 923-934 (in Russ.).
- [3] Polyaev V.M., Genbach A.A. Control of Heat Transfer in a Porous Cooling System, *Second world conference on experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics*. 1991, Dubrovnik, Yugoslavia, 23-28 June, pp. 639-644 (in Eng.).
- [4] Polyaev V.M., Genbach A.A. Oblasti primenenija poristoj sistemy. // *Izvestija vuzov. Energetika*. 1991, №12, pp. 97-101 (in Russ.).

- [5] Polyayev V.M., Genbach A.A. Upravlenie teploobmenom v poristyh strukturah // *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Energetika i transport.* **1992**, V. 38, №6, pp. 105-110 (in Russ.).
- [6] Polyayev V.M., Genbach A.A. Teploobmen v poristoj sisteme, rabotajuschej pri sovmestnom dejstvii kapilljarnyh i gravitacionnyh sil // *Teploenergetika.* **1993**, № 7, pp. 55-58 (in Russ.).
- [7] Genbach A.A., Kulbakina N.V. Pylepodavlenie i pyleulavlivanie s pomosh'ju cirkuljacionnogo penogeneratora s poristoj strukturoj // *Energetika i toplivnye resursy Kazakhstana.* **2010**, №4, pp. 62-65 (in Russ.).
- [8] Polyayev V.M., Genbach A.A. Upravlenie vnutrennimi harakteristikami kipenija v poristoj sisteme // *Kriogennaja tehnika i kondicionirovanie: Sbornik trudov MGTU.* Moscow, **1991**, pp. 224-237 (in Russ.).
- [9] Polyayev V.M., Genbach A.A. Primenenie poristoj sistemy v energeticheskikh ustanovkah // *Promyshlennaja teploenergetika.* **1992**, №1, pp. 40-43 (in Russ.).
- [10] Polyayev V.M., Genbach A.A. Raschet teplovyh potokov v poristoj sisteme ohlazhdenija // *Izvestija vuzov. Aviacionnaja tehnika.* **1992**, №2, pp. 71-74 (in Russ.).
- [11] Polyayev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. Methods of Monitoring Energy Process // *Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics, Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics, avenue of the Americas.-New York,* **1995**. V.10, april. -pp. 273-286 (in Eng.).
- [12] Genbach. A.A., Gnatchenko. Y.A. Sistemy ohlazhdenija teplonagruzhennogo elementa detonacionnogo gorelochnogo ustrojstva – Kamery sgoranija, diffuzora, konfuzora // *Vestnik Kaz NTU.* Almaty, **2007**, №4 (61), July, pp. 87-91 (in Russ.).
- [13] Genbach A.A., Piontkovskiy M.S. Poristyj pylegazoulovitel' s upravljaemoj geometrije mikrokanalov // *Energetika i toplivnye resursy Kazakhstana.* – **2010**. – №4. – pp. 59-61 (in Russ.).

**А. А. Генбач, Н. О. Джаманкулова**

Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан

#### **КАПИЛЛЯРЛЫ-КӘУЕКТІ ЖҮЙЕНІҢ МЕТАЛЛУРГИЯ ӨНДІРІСІНДЕ ҚОЛДАНЫЛУЫ**

**Аннотация.** Капиллярлы-кәуекті жүйенің металлургия өндірісінде қолданылуы зор масштабты және көп мақсатты сипатта жүреді. Қорапты кессон түріндегі жылуалмастырғыш жылу тасымалының жоғарғы қарқындылығына ие, ол үлкен жылу жүктемелерді жібереді және балқыған агрегаттардың тасымалына жарылу қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Ошақ алауындағы азот оксидін пайда болуын төмендетуге, бу салқындатқыштың сенімді жұмыс істеуіне мүмкіндік береді. Сондай-ақ, ауа қыздырғыштардың төмен температуралық коррозияға қатысты жұмыс тұрақтылығын жоғарылатады. Жылу тасымалы процесстерді зерттеу тәжірибе деректерін қорытуға және кәуекті жүйені есептеу әдістемесін ұсынуға мүмкіндік береді. Капиллярлы-кәуекті құрылым газ-тозаң ұстауға және басқарылатын геометриялы кәуекті құрылымды қолданып шаңды басу үшін тиімді.

**Түйін сөздер:** капиллярлы-кәуекті жүйе; салқындату жүйе; жылу алмастырғыш; кессон; жылу ағыны.

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

ISSN 2518-1467 (Online), ISSN 1991-3494 (Print)

<http://www.bulletin-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т. М. Апендиев*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 24.05.2017.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
19,4 п.л. Тираж 2000. Заказ 3.