

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

4

АЛМАТЫ
АЛМАТЫ
ALMATY

2017

JULY
ИЮЛЬ
ШІЛДЕ

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., академик (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., академик (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., академик (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. академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Лаверов Н.П. проф., академик РАН (Россия)
Лунашку Ф. проф., чл.-корр. (Молдова)
Моход Хасан Селамат проф. (Малайзия)
Мырхалыков Ж.У. проф., академик (Казахстан)
Новак Изабелла проф. (Польша)
Огарь Н.П. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Полещук О.Х. проф. (Россия)
Поняев А.И. проф. (Россия)
Сагиян А.С. проф., академик (Армения)
Сатубалдин С.С. проф., академик (Казахстан)
Таткеева Г.Г. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умбетаев И. проф., академик (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., academician (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., academician (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., academician (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. JamankulovaAlmaty University of Power Engineering & Telecommunications, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: dnellya@mail.ru**CAPILLARY-POROUS HEAT EXCHANGERS
FOR COOLING OF MELTING UNITS**

Abstract. Capillary-porous box-type heat exchangers in the form of caissons have been developed and investigated in order to ensure the explosion-proof operation of melting units. Porous systems are not narrow-purpose and can be used in metallurgical production for oil cooling (fuel oil heating) in order to protect against pollution of the water basin, for desuper heaters and boiler drums, for utilization of the heat of the furnace gases and their cleaning, for irrigation elements of the cooling tower. The cooling capillary-porous system, keeping advantages of steam cooling, has a number of new positive factors, which include: reduction of the volume of the cooler (in dozen times), explosion safety of units, reduction of capital investments and operating costs, self-regulation of heat transfer, enhancement of boosting and intensification of heat removal, reduction.

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

УДК 536.248.2

А. А. Генбач, Н. О. Джаманкулова

Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

**КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ
ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ**

Аннотация. Разработаны и исследованы капиллярно-пористые теплообменники коробчатого типа в виде кессонов с целью обеспечения взрывобезопасной эксплуатации плавильных агрегатов. Пористые системы не являются узкоцелевыми и могут быть использованы в металлургическом производстве для охлаждения масла (нагрева мазута) с целью охраны от загрязнения водного бассейна, для пароохладителей и барабанов котлов, утилизации тепла уходящих газов печей и их очистки, для оросительных элементов градирни. Охлаждающая капиллярно-пористая система, сохраняя преимущества испарительного охлаждения, имеет ряд новых положительных факторов, к которым следует отнести: в десятки раз дальнейшее сокращения объема охладителя, взрывобезопасность агрегатов, сокращение капитальных вложений и эксплуатационных издержек, саморегулирование теплопередачи, повышение форсировки и интенсификации теплоотвода, снижение резкопеременных циклических разрушающих напряжений, экономический и экологический эффекты.

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

В форсированных устройствах плавильных печей применяют проточное охлаждение.

К проточному охлаждению относятся: воздушное, жидкостное, испарительное, газо-жидкостное, частным случаем которого является воздушно-водоиспарительное охлаждение.

При удельных тепловых потоках через охлаждаемые поверхности до 2000 Вт/м² широко используется воздушное охлаждение. Малая теплоемкость воздуха и низкий коэффициент теплоотдачи при воздушном охлаждении делают его непригодным при более мощных тепловых нагрузках.

Существенно увеличивается коэффициент теплоотдачи для воздуха при искусственной турбулизации пограничного слоя: закрутка потока, применение шероховатостей, вставок, использование эффекта центробежных сил и другие виды. Однако и эти эффективные формы теплообмена не могут обеспечить отвод удельных тепловых потоков в современных металлургических агрегатах.

Коэффициент теплоотдачи при охлаждении водой примерно на два порядка выше, чем при воздушном, что позволяет поддерживать более низкую температуру охлаждаемых поверхностей.

Охлаждение отдельных элементов печей осуществляли технической водой: через полость охлаждаемой поверхности проходила холодная вода, отбирая тепло. Малый нагрев воды требовал больших ее расходов и сооружения мощных водозаборных устройств, оборудования для очистки, перекачки и охлаждения воды в случае оборотной системы водоснабжения. Содержание солей приводило к отложению шлама, накипи и частому прогару охлаждаемых элементов.

Низкая температура воды на выходе исключала возможность утилизации уносимого тепла водой, хотя отвод тепла на один агрегат может составлять десятки МВт.

Система охлаждения удорожается за счет громоздких охладительных устройств при обратном водоснабжении или при ее очистке в случае прямого тока. Следует учитывать расход электрической энергии на прокачку воды.

Применялся способ охлаждения элементов печей горячей водой. В охлаждаемый элемент подается химически очищенная вода с температурой около 70°C, которая нагревается до 95°C и используется для горячего водоснабжения.

Использование горячей воды в несколько раз сокращает расход электроэнергии для перекачки ее, так как уменьшается расход воды. Химическая очистка предохраняет поверхности от накипобразования.

Описанная схема чувствительна к повышению нагрузок установок, так как при этом может происходить вскипание воды.

Предложено для охлаждения элементов печей использовать испарительное охлаждение.

К недостаткам испарительной системы охлаждения относятся: возможность возникновения кризисных явлений, конструктивная сложность. Неравномерность распределения тепловых нагрузок между элементами конструкций, их изменение во времени нарушают устойчивость циркуляции, вызывают скачки температуры стенки металла и появление усталостных трещин. Все это снижает надежность работы охлаждающих поверхностей нагрева.

Известна замкнутая система охлаждения с вынесенным испарителем и высокотемпературным теплоносителем. Такая схема позволяет охладить элементы конструкции при небольшом давлении, а тепло использовать для получения пара. Однако из-за сложности и особых требований по технике безопасности, предъявляемых к этой схеме, она не получила применения.

Испарительное охлаждение некипящей водой заключается в том, что элементы оборудования охлаждаются водой с одновременным воздушным охлаждением. Обычное охлаждение осуществляется пленкой воды, стекающей по поверхности охлаждения, обдуваемой воздухом. Вода за счет испарения и частично конвекции отдает отбираемое тепло воздуху. Коэффициент теплоотдачи к пленке воды ниже, чем при водяном охлаждении, а испарение с поверхности пленки в воздух также менее интенсивно.

Большая эффективность охлаждения по отношению к воздушному объясняется испарением влаги с поверхности пленки, интенсифицирующим конвективный теплообмен. Схема охлаждения сложна в конструктивном решении. Трудно создать устойчивую пленку на поверхности при высоких тепловых потоках. Даже кратковременное оголение стенки может привести к локальным перегревам.

Существенным достоинством обладает воздушно-водоиспарительное охлаждение, представляющее собой охлаждение увлажненным воздухом, содержащим водяной пар и мелкодисперсную влагу. При таком охлаждении снижается начальная температура холодоносителя во время его увлажнения, увеличивается интенсивность отвода тепла за счет интенсивного испарения диспергированной влаги и снижается средняя и конечная температура холодоносителя.

В первой стадии происходит адиабатическое увлажнение воздуха и снижение его температуры на 10–20°C. Увеличение паросодержания воздуха осуществляется путем частичного испарения распыляемой влаги. Дальнейшее испарение влаги в воздухе идет при охлаждении поверхности.

Интенсивность теплоотдачи при воздушно-водоиспарительном охлаждении значительно больше, чем при воздушном, и чаще выше, чем при испарительном охлаждении некипящей водой. Возрастание коэффициента теплоотдачи связано с испарением части влаги с поверхности охлаждения, турбулизацией мелкодисперсными каплями пограничного слоя воздушного потока и лучистым теплообменом между стенками и капельками влаги. При высоких тепловых нагрузках наступает резкое ухудшение теплоотдачи. Это связано с увеличением количества капель, не достигающих стенки и не смачивающих ее.

Описанные схемы с применением газо-жидкостных дисперсоидов усложняются оросительными камерами, сепарационными и дренажными устройствами. Поэтому предстояло провести поиск новых систем охлаждения.

Эффективным видом защиты элементов может служить охлаждение, осуществляемое путем создания на внутренней поверхности стенки низкотемпературного слоя жидкой пленки.

Разновидностью внутреннего охлаждения является транспирационное, основанное на использовании пористых материалов и осуществляемое путем продавливания охлаждающей среды сквозь пористую стенку.

При использовании в качестве защиты стенки аблирующих материалов, имеющих в своем составе синтетические органические вещества, одним из продуктов, разложения которых является углерод, образуется на поверхности слой пористого кокса. Последний, обладая низкой теплопроводностью и высокой жаростойкостью, хорошо теплоизолирует аблирующее вещество и резко уменьшает скорость его разложения.

При теплозащите термостойкими покрытиями необходим подбор материалов, выдерживающих высокий нагрев без разрушения с низким коэффициентом теплопроводности. С развитием керамических, пластмассовых и стекловолоконных материалов появился ряд составов, пригодных для использования в качестве термостойких покрытий. Однако эти материалы требуют тщательной проверки на совместимость. При подборе соответствующей толщины аблирующего или термостойкого инертного покрытия, можно было бы полностью исключить наружное охлаждение.

Представляет интерес интенсификация теплообмена в каналах путем применения волнистой шероховатости. Каналы имеют последовательное расположение конфузоров-диффузоров и нашли применение в регенеративных воздухоподогревателях. По сравнению с гладкими каналами в области переходного режима течения теплообмен улучшается в 1,5–3,3 раза.

Теплообмен в трубах с пластичными, полосовыми закручивателями, завихрителями типа шнека интенсифицируется в 1,2–2 раза, и достигает до $160 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, при этом также увеличивается гидравлическое сопротивление. Однако воздействие на поток турбулизирующими вставками (диски, закрутка) не эффективно, ибо сопровождается интенсификация с сильным ростом энергозатрат, возникают затруднения при чистке отложений.

Таким образом, потребовалось разработать новую систему, которая могла бы удовлетворить требованиям взрывобезопасности работы плавильных печей, а также применяться для других целей в металлургическом производстве. Такой системой явилась капиллярно-пористая, которая представляет собой новый класс теплоотводящих систем. В ней вместе с капиллярным потенциалом используется массовый [1-9].

Предельное и запредельное состояние пористых покрытий исследовалось методами голографии, фотоупругости (оптико-поляризационный метод) и методом термоупругости с одновременной съемкой скоростной кинокамерой [2, 3]. Расширение предела отвода тепловых нагрузок (кризиса кипения) и дальнейшей интенсификации теплопередачи достигалось за счет управления процессами разделения энергии на тепловую волну и поток пара и создания с помощью нескольких тепловых источников тепловых экранов [1]. Наличие массовых сил, создающих недогрев и вынужденный поток тепло-холодоносителя, значительно отодвигало кризис кипения [2-4]. Одновременно наблюдалось воздействие на внутренние (термогидравлические) характеристики кипения путем наличия избытка жидкости в структуре и на ее поверхности [5, 6]. Обобщение опытных данных позволило рассчитывать тепловые потоки, коэффициенты теплопередачи, включая предельное состояние [3, 7-9].

Приведем краткую информацию об основных капиллярно-пористых системах [10]. Разработаны варианты конструктивного выполнения устройства на основе капиллярно-пористой струк-

туры для охлаждения масла в энергоустановках, которое позволяет исключить загрязнение водного бассейна и почвы нефтепродуктами.

Исследованы капиллярно-пористые структуры для уменьшения термических напряжений в стенках пароохлаждателей и барабанов котлов. Капли жидкости, попадая на пористую структуру, распределяются в ней капиллярными силами, что исключает их взаимодействие с ограждающими стенками. В несколько раз может снизиться уровень максимальных циклически воздействующих напряжений, а их уменьшение в 2 раза увеличивает в 10 раз долговечность конструкций.

Капиллярно-пористые системы утилизируют теплоту уходящих газов и воздуха в котлах, компрессорах, в системах кондиционирования воздуха, позволяют решить проблему низкотемпературной коррозии поверхностей нагрева, а по сравнению с тепловыми трубами имеют меньшие требования к очистке трубок и жидкости, снижают температурный напор, поддерживают более стабильную температуру стенки. Дякотла мощностью 200 МВт можно получить дополнительную тепловую мощность ~ 7 МВт. Интенсификация теплоотдачи достигает (1,84-2) раза, повышается срок службы поверхностей в (4-6) раз, который может быть доведен до (8-12) лет.

При охлаждении кессонов капиллярно-пористая система имеет ряд новых положительных факторов: многократное (в десятки раз) дальнейшее сокращение объема охлаждающей жидкости в системе и особенно в кессонах, что обеспечивает взрывобезопасность плавильных агрегатов; саморегулирование процесса теплообмена в пористом слое, имеющее значение при переменных режимах работы; высокую равномерность температурного поля в стенке; некоторый экономический эффект за счет перекачки меньшего количества жидкости.

В качестве нагревателя для крепежа фланцев нагнетателей разработаны тепловые трубы, осуществляющие равномерный нагрев шпилек, реализующие подвод тепла на нерезьбовую часть, допускается нагрев глухих шпилек, нагреватели пожаро-электробезопасны.

Капиллярно-пористые системы в градирнях, выполненные в виде волнистых поверхностей, разделенные продольными волнистыми пористыми структурами и поперечными направляющими пористыми перегородками интенсифицируют теплообмен в (1,3-1,9) раза, причем за счет увеличения коэффициента теплообмена при перекрестном транспирационном движении воздуха стало возможным перераспределить составляющие в отборе тепла. Доля тепла, отбираемая испарением, сократилась с 80 до 70%, что уменьшает потери водяного пара, унос капель воды и улучшает экологические условия биосферы.

Для решения продовольственной программы предложен способ и устройство прокладки дрены с пористыми элементами для подпочвенного орошения, что позволяет экономить воду и улучшить экологию.

Способ и устройство тепловой защиты и управления фенофазами плодовых деревьев для задержания цветения создает устойчивое равномерное температурное поле пористой системой во всем объеме почвы. Это обеспечивает стабильные ежегодные урожаи для удовлетворения нужд населения в продовольствии.

В устройствах тепловых труб предложены интенсификаторы, в том числе элементы для расширения теплопередающих возможностей теплообменников.

Современные системы кессонирования гарниссажной футеровки (рисунок 1) и холодильника доменной печи (рисунок 2) не решает проблем взрывоопасности. Поэтому для обеспечения взрывобезопасной работы установок, содержащих жидкие металлы и расплав, предлагается использовать пористую систему охлаждения, содержащую весьма малое количество жидкости, которое, попав в расплав, не приведет к взрыву. Такие установки находят применение в промышленных печах. В свою очередь такая система, являясь высокофорсированной, способна отводить мощные удельные тепловые потоки. Она увеличивает надежность и мобильность работы агрегата без усложнения и дополнительных затрат энергии по сравнению с наиболее экономичными спарительным охлаждением (рисунок 3).

На рисунке 4 показан вариант конструктивного исполнения охлаждающих элементов, разработанный на основе рисунка 3.

Устройство состоит из корпуса 1 и съемной крышки 2, герметично скрепляемых по периметру болтами 3. Внутренняя поверхность стенки 4 покрыта пористой структурой 5, прижатой перфорированными пластинами 6. Артерии 7, соединенные с верхними концами структур 5, через торец

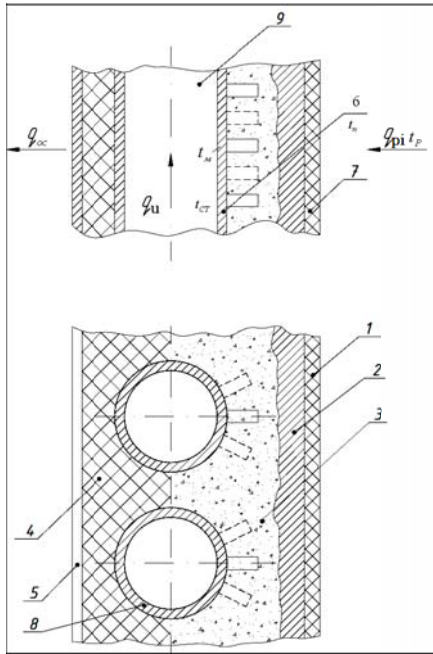


Рисунок 1 – Кессонированная гарниссажная футеровка:
 1 – пленка расплава; 2 – гарниссаж; 3 – огнеупорная набивка;
 4 – тепловая изоляция; 5 – металлическая обшивка;
 6 – изменение температуры по толщине футеровки; 7 – изменение вязкости
 в гарниссажном слое; 8 – стенка кессона; 9 – кессон;
 q_{pi} , q_u , q_{oc} – удельные тепловые потоки, подводимые расплавом,
 отводимые охладителем и окружающей средой;
 t_n , t_m , t_{CT} – температуры пленки расплава, металла кессона и стенки

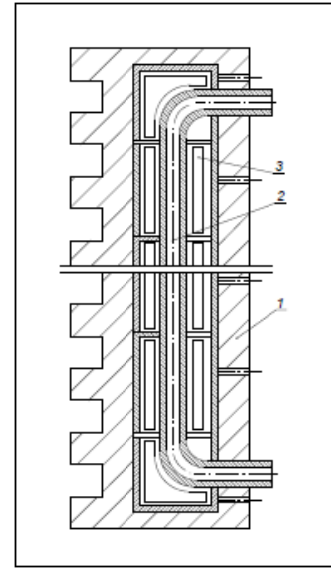


Рисунок 2 – Холодильник доменной печи:
 1 – чугунная плита;
 2 – охлаждающая труба;
 3 – термокамеры

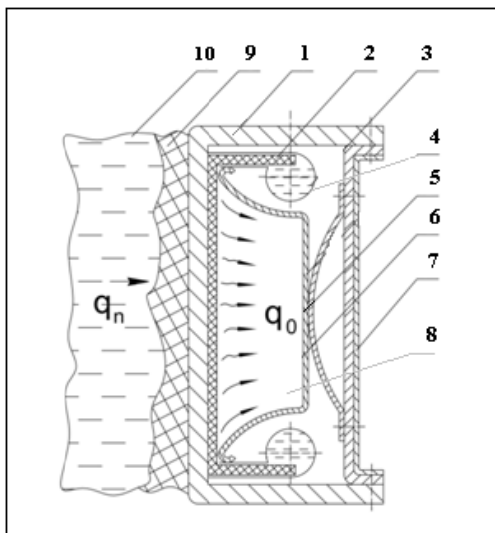


Рисунок 3 – Идея капиллярно-пористой системы охлаждения стен плавильных печей: 1 – стенка кессона; 2 – капиллярно-пористая структура; 3 – прижим; 4 – узел питания (артерия); 5 – вставка; 6 – пружинящий элемент; 7 – тепловая изоляция; 8 – паровой канал; 9 – гарниссаж; 10 – расплав; q_p , q_o – удельные тепловые нагрузки, подводимые расплавом и отводимые паром

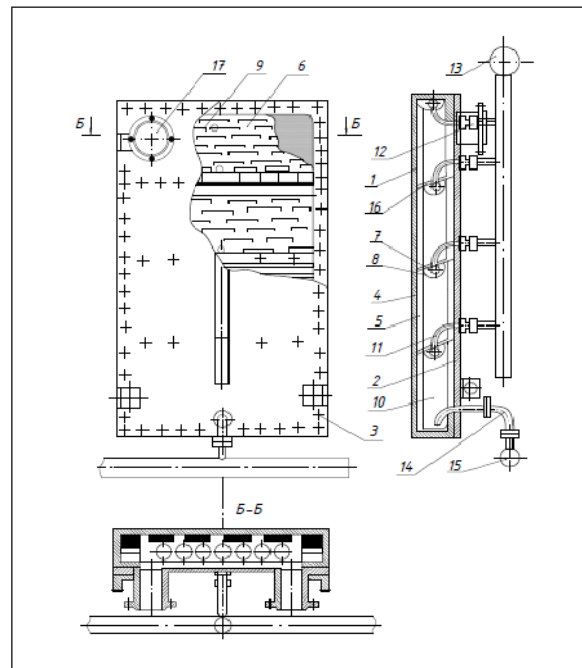


Рисунок 4 – Конструктивное решение по охлаждению кессона пористой системой с пластинами жесткости:
 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – болт; 4 – стенка;
 5 – капиллярно-пористая структура; 6 – пластина;
 7 – артерия; 8 – корытце; 9 – отверстие; 10 – канал;
 11, 17 – патрубков; 12 – труба; 13, 15 – коллектор;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

которых к охлаждаемой поверхности подается жидкость массовыми и капиллярными силами. Нижние концы пористых структур 5 обычно свободны и погружены в корытце 8, где скапливается жидкость за счет утечек, каплеуноса или избытка. Пластины 6 прикрепляются либо прижимными планками, либо точечной сваркой. На поверхности пластины выштампованы углубления с отверстиями 9, которые обеспечивают выход пару из структуры 5 в канал 10, а также служат уловителями выбрасываемых из структуры 5 капель и стекаемой избыточной жидкости по внешней поверхности пластины 6. Это обеспечивает более рациональное использование охлаждающей жидкости за счет ее возвращения в структуру, что улучшает гидродинамику жидкости, интенсифицируя теплообмен. Артерия 7 соединена с патрубком 11 и далее – разводящими трубами 12 и коллектором 13. Избыток охлаждающей жидкости скапливается в нижней части кессона и сифоном 14 удаляется в коллектор 15 и далее в накопитель для возврата в систему охлаждения. С целью облегчения конструкции и сохранения достаточной жесткости кессона снабжаются распорками 16, выполненными в виде Z-образных перфорированных пластин или ребрами жесткости. Ребра 16 могут располагаться снаружи или внутри корпуса 1 и крышки 2 кессона. На крышке 2, в верхней ее части, приварены патрубки 17 с фланцами для соединения с паропроводом. Размер и форма пористой структуры 5 определяется размером кессона и его конструктивным исполнением (рисунок 5). Она может быть вытянута в вертикальном или горизонтальном направлении, верхний или нижний концы которой (либо оба) соединены с артерией 7. Пластины бизготавливаются по форме и размерам в соответствии с пористой структурой. Выштампованные перфорированные углубления в пластине 6 могут иметь форму усеченного конуса, либо продольных пазов с отверстиями, обращенных кверху.

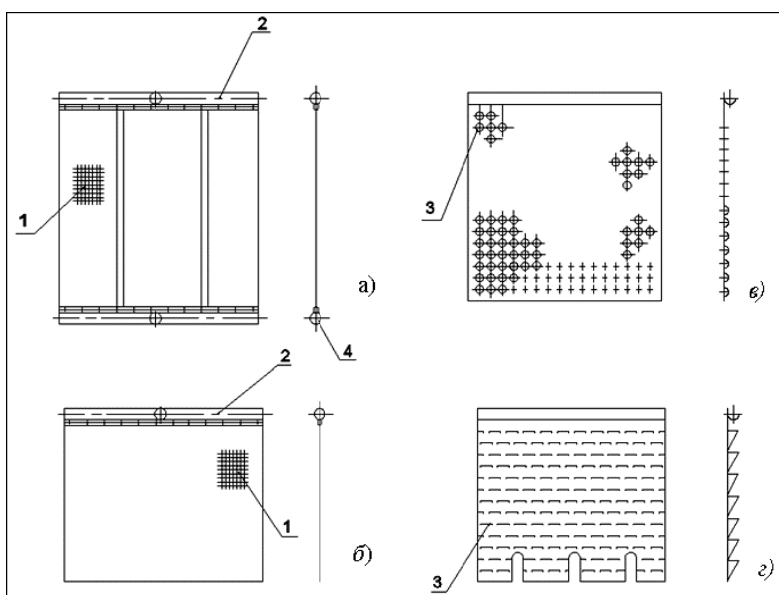


Рисунок 5 – Расположение капиллярно-пористой структуры (а, б) и конструктивное выполнение прижимных перфорированных пластин (в, г): 1 – капиллярно-пористая структура; 2 – питающая артерия; 3 – прижимные перфорированные пластины; 4 – корытце

Описанная охлаждающая система, сохраняя преимущества испарительного охлаждения, имеет ряд новых положительных факторов, к которым следует отнести: многократное (в десятки раз) дальнейшее сокращение объема охлаждающей жидкости в системе и особенно в кессонах, что обеспечивает взрывобезопасность агрегатов, дальнейшее сокращение капитальных вложений и эксплуатационных издержек за счет резкого уменьшения количества жидкости во внешнем и внутреннем контурах циркуляции; саморегулирование процесса теплообмена в тонком пористом слое, позволяющее снизить резкопеременные циклические разрушающие напряжения в стенке; некоторый экономический и экологический эффекты за счет перекачки существенно меньшего количества жидкости; рост форсировки и интенсификации теплопередачи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Polyayev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. An experimental study of thermal stress in porous materials by methods of holography and photoelasticity // *Experimental thermal and fluid science, avenue of the Americas, New-York, volume 5, number 6, November. -1992.-p.697-702.*
- [2] Генбач А.А., Бурмистров А.В. Исследование теплового состояния цилиндров паровых турбин // *Промышленность Казахстана, № 2 (65), март-апрель. -2011. - С.91-93.*
- [3] Поляев В.М., Генбач А.Н., Генбач А.А. Предельное состояние поверхности при термическом воздействии // *ТВТ. - 1991. - Т.29, № 5. - С.923-934.*
- [4] Polyayev 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.*
- [5] Поляев В.М., Генбач А.А. Управление внутренними характеристиками кипения в пористой системе // *Криогенная техника и кондиционирование: Сб. трудов МГТУ. - 1991. - С.224-237.*
- [6] 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.*
- [7] Поляев В.М., Генбач А.А. Теплообмен в пористой системе, работающей при совместном действии капиллярных и гравитационных сил // *Теплоэнергетика. - 1993.- №7. - С.55-58.*
- [8] Поляев В.М., Генбач А.А. Интенсивность теплообмена пористой системы в гравитационном поле//*Известия вузов. Энергетика. -1993.№1,2. -С.91-95.*
- [9] Поляев В.М., Генбач А.А. Предельные тепловые нагрузки в пористых структурах // *Известия вузов. Авиационная техника. - 1991. №1. - С.33-37.*
- [10] Поляев В.М., Генбач А.А. Применение пористой системы в энергетических установках// *Промышленная энергетика. - 1992. №1. - с.40-43.*

REFERENCES

- [1] Polyayev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. An experimental study of thermal stress in porous materials by methods of holography and photoelasticity // *Experimental thermal and fluid science, avenue of the Americas, New-York, volume 5, number 6, November. -1992.-pp.697-702.(in Eng.).*
- [2] Genbach A.A., Burmistrov A.V. Investigation of the thermal condition of the cylinders of steam turbine s // *Promyshlennost Kazakhstana, №2 (65).-2011. -pp. 91-93. (in Russ.).*
- [3] Polyayev 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.).*
- [4] Polyayev 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.(in Eng.).*
- [5] 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.).*
- [6] Polyayev V.M., Genbach A.A. Upravlenie teploobmenom v poristyh strukturah // *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Energetikai transport. 1992, V. 38, №6, pp. 105-110 (in Russ.).*
- [7] 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.).*
- [8] Polyayev V.M., Genbach A.A. Intensivnost'teploobmenaporistoyssystemy v gravitacionnom pole // *Izvestijavuzov. Energetika. 1992, №1,2, pp. 91-95(inRuss.).*
- [9] Poliaev V.M., Genbach A.A. Predelnye teplovye nagruzki v poristyh strukturah // *Izvestija vuzov. Aviacionnaya tehnika. - 1991. №1. - pp.33-37. (in Russ.).*
- [10] Polyayev V.M., Genbach A.A. Primeneniye poristoj sistemy v energeticheskikh ustanovkah // *Promyshlennaya Energetika. - 1992. №1. -pp. 40-43.(in Russ.).*

А. А. Генбач, Н. О. Джаманкулова

Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан

**БАЛҚЫТУҚОНДЫРҒЫЛАРДЫ СУЫТУҒА АРНАЛҒАН
КАПИЛЯРЛЫҚ-КЕУЕКТІК ЖЫЛУАЛМАСТЫРҒЫШТАР**

Аннотация. Балқытуқондырғылардың жарылу қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қорапты типті кессон түріндегі капиллярлық-кеуектік жылуалмастырғыштар әзірленіп зерттелді. Кеуектік жүйелер тармақсатты емес болып келеді, сондықтан оларды металлургиялық өндірісте сулық бассейнді лақтамау мақсатында майды суыту(қыздыру) үшін, бусалқындатқыштар мен қазандық барабандар үшін, шығарылған газдардың жылуын пайдаға асыру және оларды тазарту, градирня элементері үшін қолдануға болады. Кептіргіш суыту артықшылығын сақтай отырып, суытуға арналған капиллярлық-кеуектік жүйе келесі оң жаңа факторларға ие: салқындатқыштардың көлемін он есе сақтау, қондырғылардың жарылу қауіпсіздігі, капиталдық қаржы жұмсау мен эксплуатациондық шығындарды азайту, жылу берілудің өздігімен реттелуі, удетуді көтеру және жылууды әкетуді қарқындету, кенеттен өзгеретін циклдық бұзылатын кернеуді төмендету, экономикалық және экологиялық эффектері.

Түйін сөздер: капиллярлық-кеуекті жүйе, жылуалмастырғыш, салқындату жүйе, кессон, жылулықағын.

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). 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

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 21.07.2017.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
11,75 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.