

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 4, Number 362 (2016), 32 – 36

STUDY OF HEAT EXCHANGER WITH A POROUS STRUCTURE

A. A. Genbach, N. O. Jamankulova

Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Kazakhstan.
E-mail: dnnellya@mail.ru

Key words: capillary-porous structure; porous heat exchanger; evaporative cooling system

Abstract. Porous heat exchanger refers to highly forced, technical industrial installations. Proposed capillary-porous system for cooling of caissons improves the reliability of the devices, intensifies the heat transfer in a porous system and provides explosion safety of highly forced technical installations operation. It is experimentally defined the type of porous structure ($2 \times 0,55$) which has increased to six times the heat transfer capacity of the cooling system. Heat transfer mechanism has been studied with the assistance of holographic interference and high-speed filming. A comparison of the studied system with heat pipes and thin-film evaporators is given. The use of nets with large cells simplifies the requirements for cooling liquid.

УДК 536.248.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОФОРСИРОВАННОГО ПОРИСТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

А. А. Генбач, Н. О. Джаманкулова

Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

Ключевые слова: капиллярно-пористая структура; пористый теплообменник; испарительная системы охлаждения.

Аннотация. Пористый теплообменник относится к промышленным высокоФорсированным огнетехническим установкам. Предложенная капиллярно-пористая система охлаждения кессонов повышает надежность работы агрегатов, интенсифицирует теплопередачу в пористой системе, обеспечивает взрывобезопасность работы высокоФорсированных огнетехнических установок. Экспериментально установлен вид пористой структуры $2 \times 0,55$, что увеличило в шесть раз теплопередающую способность системы охлаждения. Механизм теплообмена изучался с привлечением голографической интерференции и скоростной киносъемки. Дано сравнение исследованной системы с тепловыми трубами и тонкопленочными испарителями. Применение сеток с крупными ячейками упрощает требования к охлаждающей жидкости.

Пористый теплообменник относится к промышленным высокоФорсированным огнетехническим установкам, в частности, для охлаждения элементов металлургических печей.

На современных промышленных огнетехнических установках для увеличения удельной технологической производительности агрегата, снижения капитальных и эксплуатационных расходов имеют место высокие плотности тепловыделений, однако при этом сокращается длительность их эксплуатации.

Устранить указанное противоречие позволяет правильно организованный способ охлаждения теплонапряженных элементов.

Из известных способов охлаждения наиболее перспективным является испарительное охлаждение [1], заключающееся в том, что холодная охлаждающая вода заменена кипящей, с получением пара утилизированного на различные нужды.

Испарительная система охлаждения обладает высокими технико-экономическими показателями: сокращается расход охлаждающей воды увеличивает срок службы охлаждаемых деталей, исключает охладительные устройства, водоводы больших диаметров, мощные насыпные станции, уменьшает капиталовложения.

Недостатками указанного способа являются: опасность разрушения печи от взрыва в случае попадания кипящей жидкости в расплав; возможность наступления кризисных явлений (переход от пузырькового кипения к пленочному) при переменных нагрузках, сопровождающихся тяжелыми условиями работы охлаждаемого элемента, вплоть до его прогара.

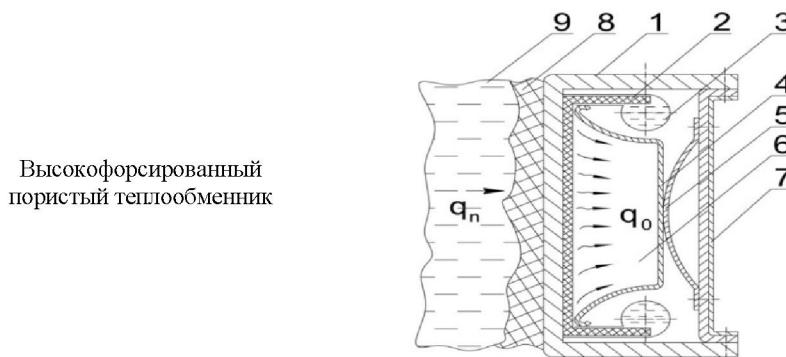
Теплообменник предназначен для обеспечения взрывобезопасности, надежности и самоприспособляемости охлаждаемой системы к переменным тепловым нагрузкам.

В способе охлаждения элементов высокофорсированных огнетехнических установок, со стороны отвода тепловых потоков, включающий отвод пара в сепарационный узел, охлаждение элементов установок (кессонов) производят капиллярно-пористой системой, питающейся от внешней системы охлаждения жидкостью.

Капиллярно-пористая система охлаждения обладает способностью к самонастройке за счет капиллярных сил и содержит весьма малое количество жидкости, что исключает опасность взрыва при прогаре охлаждаемого элемента, повышая надежность его работы, а, следовательно, и всего агрегата.

Например, если подведенный удельный тепловой поток q_n окажется выше теплового потока q_o , отводимого от системы, то это приведет к заглублению жидкости в капиллярно-пористой структуре, уменьшению радиуса мениска жидкости и возрастанию капиллярного давления. В этом случае возрастает расход подпитывающей жидкости до установления динамического равновесия. При снижении тепловой нагрузки q_n толщина жидкости в капиллярах a , следовательно, и радиус мениска жидкости увеличится. Капиллярные силы начнут уменьшаться, сокращая подачу жидкости до равновесного состояния.

Пористый теплообменник содержит охлаждаемый элемент (кессон), на внутренней поверхности которого со стороны отвода тепловых потоков устанавливают тело с капиллярно-пористой структурой, плотный контакт которого со стенкой охлаждаемого элемента обеспечивают, например, вставкой с пружинящим элементом, соединяют с внешними узлами питания охлаждающее жидкости и отвода пара (рисунок).



Устройство выполнено в виде кессона 1, к внутренней поверхности которого со стороны отвода тепла прилегает тело, имеющее капиллярно-пористую структуру 2, соединенное с внешними узлами питания 3, прижимаемое вставкой 4 с пружинящим элементом 5, парового канала 6 и тепловой изоляции 7. К наружной стенке кессона 1 в процессе работы устанавливается гарнитаж 8, омываемая расплавом 9.

Тепловой поток, плотностью q_n , подводимый от расплава 9, проходя через гарнитаж 8 и стенку кессона 1 воспринимается жидкостью, насыщающей капиллярно-пористое тело 2, плотный контакт которого с внутренней стенкой кессона 1 со стороны отвода тепла, обеспечивают вставкой 4 с пружинящим элементом 5. Кроме того, капиллярно-пористое тело может быть спеченным (скленным или приваренным) со стенкой кессона 1. Если в данный момент времени удельный тепловой поток q_n окажется выше теплового потока, отводимого от системы q_o , то жидкость будет

испаряться больше, чем подводиться от внешнего узла питания 3. Это приведет к заглублению жидкости в капиллярно-пористой структуре 2, уменьшению радиуса мениска жидкости и возрастанию капиллярного давления. Следовательно, расход жидкости через поперечное сечение структуры 2 увеличится до установления равновесия. Такое положение остается справедливым до достижения значений максимального возможного удельного теплового потока.

Если же отводимый тепловой поток q_o будет превышать величину подведенного теплового потока q_p , толщина жидкости в капиллярах, а, следовательно, и радиус мениска жидкости увеличивается. Капиллярные силы начнут уменьшаться, сокращая подачу жидкости до установления динамического равновесия.

Внешний узел питания 3 представляет собой две самостоятельные подводящие линии. Устройство работоспособно и при работе одной из них. Дублирование повышает устойчивость и производительность капиллярно-пористой системы и надежность установки. Образующийся пар по каналу 6 отводится в сепарационный узел.

В капиллярно-пористой системе 2 содержится весьма малое количество жидкости, что исключает опасность взрыва в случае прогорания элемента охлаждения и тем самым повышает надежность работы установки, увеличивая длительность кампании, а способность самонастраиваться за счет капиллярных сил делает систему мобильной к переменным тепловым нагрузкам. Тепло получаемого пара, как в обычных схемах, может утилизироваться. Для снижения тепловых потерь в окружающую среду наружные стенки кессона 1 покрываются тепловой изоляцией 7.

Таким образом, теплообменник обеспечивает взрывобезопасность за счет весьма малого количества жидкости в капиллярно-пористой системе охлаждения, повышает надежность установок, увеличивает длительность их рабочей кампании, а способность самонастраиваться за счет капиллярных сил делает систему охлаждения мобильной к переменным тепловым нагрузкам в широких пределах, а также, надежной в работе.

Предлагаемая высокофорсированная система охлаждения по техническо-экономическим показателям не уступает испарительной системе охлаждения, однако превосходит ее по условиям безопасности.

Для исследования теплопередающих возможностей капиллярно-пористых структур проводились опыты для структур, которые собирались из металлических сеток из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т (ГОСТ 12184-66) с различными размерами ячеек (таблица). Минимальный размер ячейки составлял $0,08 \times 10^{-3}$ м, поскольку сетки с меньшими размерами не позволяют организовать развитого пузырькового кипения, закупориваются паровыми пузырями. Наибольший размер ячейки выбирался 1×10^{-3} м, так как при больших размерах ячеек величина капиллярного потенциала близка к нулю, что приводит к неравномерному распределению жидкости по порам структуры. Кризис кипения определялся по пережогу стенки. Явление кризиса изучалось оптическими методами с привлечением голограммической интерферометрии и скоростной киносъемки камерой СКС -1М. Сетчатые структуры формировались из нескольких слоев сеток [2].

Теплопередающие возможности исследованных капиллярно-пористых структур,
тепловых труб и тонкопленочных испарителей

Вид капиллярно-пористой сетчатой структуры	Тепловая нагрузка, $\times 10^4$ Вт/м ²								
	2	4	10	20	40	60			
Предлагаемые структуры									
0,08x0,14x0,14	5,2	13,4	20,5	37,1	50	Пережог стенки			
0,55	6,5	16,4	22,7	53,3	61	Пережог стенки			
2x0,55	7,4	18,2	23,4	50,3	57	Пережог стенки			
2x1	8,1	19,3	24,7	55,6	62,4	Пережог стенки			
Тепловые трубы									
0,08x0,14x0,14	2,5	10	40	Пережог стенки					
2x0,55	Не работоспособны								
Тонкопленочные испарители (без капиллярно-пористой структуры)									
-	3,7	5,7	8	Пережог стенки					

Наилучшие результаты достигнуты для капиллярно-пористой структуры вида $2 \times 0,55$, которая позволяет отводить наибольшие тепловые потоки при комбинированном действии массовых и капиллярных сил. Структура, составленная из одного слоя сетки $0,55 \times 10^{-3}$ м, образует менее устойчивую пленку жидкости на поверхности, а в случае, когда число сеток равно более двух, существенно возрастает перегрев стенки относительно температуры пара, что приводит к более раннему наступлению кризисных явлений. Кроме того, повышенный размер ячеек не требует высокой степени очистки, как это имеет место в тепловых трубах и тонкопленочных испарителях [3].

Пережог стенки в тепловых трубах происходит в связи с закупоркой паровыми пузырями ячеек сеток, что прекращает приток свежих порций жидкости к обогреваемой поверхности трубы. Если стенка трубы не содержит капиллярно-пористых покрытий, а охлаждение производится пароводяной смесью, когда на стенке образуется тонкая пленка жидкости, то при тепловых потоках около 1×10^5 Вт/м² наблюдается распад пленки жидкости на отдельные струи и капли, что приводит к пережогу стенки. Жидкость из ядра движущегося пароводяного потока не подтекает к обогреваемой поверхности трубы, на внутренней поверхности которой образуется сплошная паровая пленка, резко ухудшается интенсивность теплопередачи, в стенке трубы возникают циклические резкопеременные температурные напряжения, перекосы температур, что существенно ухудшает условия работы поверхностей нагрева вплоть до их разрушения [4].

Исследованная капиллярно-пористая сетчатая структура вида $2 \times 0,55$ отводит наибольшие тепловые потоки за счет совместного действия капиллярных и массовых сил в объеме структуры, что облегчает разрушение паровых конгломератов в порах. Визуализация процесса показала на существование в структуре ячеек питания холодными порциями жидкости, устремляющимися к зонам отрывающихся и разрушающихся паровых пузырей. Происходит турбулизация двухфазного кипящего устойчивого пульсирующего пограничного слоя. Наличие во внутренней полости канала, направляющих перегородок способствует дополнительному притоку жидкости к поверхности структуры за счет действия на ядро потока центробежных сил при огибании им поперечных пористых перегородок [5].

Заключение. Предлагаемый теплообменник с капиллярно-пористой структурой позволяет в шесть раз расширить пределы отвода тепловых потоков по сравнению с такими эффективными теплообменниками, как тепловые трубы и тонкопленочные испарители. т.е. в шесть раз уменьшить теплообменную поверхность, а при заданной поверхности увеличить надежность и срок службы, стабилизировать температурное поле в стенке трубы, тем самым облегчить условия работы поверхности нагрева в ядре пламени горящих пылеугольных частиц. Применение сеток с крупными ячейками упрощает требования к охлаждающей жидкости, в качестве которой может применяться питательная вода котельных агрегатов. В случае необходимости такие сетки легко промываются от возможных солевых отложений и загрязнений, даже в процессе эксплуатации котла.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андоньев С.М., Крущель Г.Е. – А. с. № 70344. Бюл. изобр. – 1958. – № 11. – С. 31.
- [2] Поляев В.М., Генбач А.А. Теплообмен в пористой системе, работающей при совместном действии капиллярных и гравитационных сил // Теплоэнергетика. – 1993. – № 7. – С. 55-58.
- [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. – P. 639-644.
- [4] 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.
- [5] Генбач А.А., Бондарцев Д.Ю. Модель кризиса теплообмена в пористой системе охлаждения ГТУ // Вестник КазНТУ. – 2014. – № 2 (102). – С. 229-235.

REFERENCES

- [1] Andon'ev S.M., Krushel G.E. A. c. № 70344. Bull. Izobr., 1958, N 11, P. 31. (in Russ.).
- [2] Polyaev V.M., Genbach A.A. Heat transfer in a porous system operating under the joint action of capillary and gravitational forces, Thermal Engineering, 7 (1993), pp. 55-58. (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. Heat management in porous structures, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energy and transport.* 1992, Vol. 38, N 6, pp. 105-110. (in Russ.).
- [5] Genbach A.A., Bondartzev D.Y. Model krizisa teploobmena v poristoy sisteme ohlazhdeniya GTU. *Vestnik KazNTU*, Almaty, 2014, N 2 (102), pp. 229-235. (in Russ.).

ЖОҒАРЫ ЖЕДЕЛДЕТІЛГЕН КЕУЕКТІК ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШТЫ ЗЕРТТЕУ

А. А. Генбач, Н. О. Джаманкулова

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

Түйін сөздер: капиллярлық-кеуектік құрылым, кеуектік жылу алмастырғыш, салқыннату жүйесі.

Аннотация. Ұсынылып отырған кессондарды салқыннатудың капиллярлық-кеуектік жүйесі агрегаттардың жұмыс істеу сенімділігін арттырады, кеуектік жүйеде жылу өткізуді тездедеті, жоғары жеделдетілген оттық технологиялық қондырғыларда қопарылыс қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Жылулық құбырлар, жұқа қабатты буландырғыштар сиякты тиімді жылу алмастырғыштармен салыстырғанда, жылу ағындарын алып кету шектерін көнеттүге мүмкіндік беретін капиллярлық-кеуектік құрылымды жылу алмастырғыш қарастырылады. Эксперимент жүзінде кеуектік құрылымның $2 \times 0,55$ түрі тағайындалды. Бұл салқыннату жүйесінің жылу өткізу қабілетін алты есе арттырды. Жылу алмасу механизмі голограммалық интерференция және жылдамдықтық кинотүсірілім әдістерін қолдану арқылы зерттелді. Зерттелген жүйені жылулық құбырлар мен жұқа қабатты буландырғыштармен салыстыру мәліметтері келтірілген. Ірі ячейкалы торларды қолдану салқыннатушы сұйықка қойылатын талаптарды жөнілдетеуді.