BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 1991-3494
Volume 3, Number 361 (2016), 35 – 41

STUDY OF FRAGILE CAPILLARY-POROUS COVERINGS IN POWER INSTALLATIONS

A. A. Genbach, N. O. Jamankulova

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

Key words: capillary-porous coverings; vapor bubble; limit state; compressive and tensile stresses; limiting heat flows.

Abstract. To carry out the high-technological processes in heat power installations the fragile capillary-porous coverings up to a limiting condition of heat exchange surface were researched. The coverings made of metallic materials (copper and stainless steel) and of natural mineral media (coverings of quartz, granite and teschenit) were studied. A model of water steam formation of the coolant in natural and artificial capillary-porous formations to conditions of limit state of the surface under the joint action of mass and capillary forces was developed. The fragile coverings in the processes of heat transfer with high thermal stresses are analyzed. The specific heat flows and the corresponding to them thermal destructive stresses of compression and stretching are determined by solving problem of thermal elasticity for capillary-porous media containing steam bubbles. The thickness of the covering particles coming off at the time of thermal destruction is clarified. The region of transition from compressive stress to the tensile stress at the time of the limit state of the porous mineral medium is defined, in which the destruction of the compressive thermal stresses occur in more favorable conditions, quickly and in very small volumes. The study is designed for heat power installations containing various porous coverings of mineral medium.

УДК 621.165.001.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ХРУПКИХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ

А. А. Генбач, Н. О. Джаманкулова

Алматинский университет энергетики и связи, Адматы, Республика Казахстан

Ключевые слова: капиллярно-пористые покрытия; паровой пузырь; предельное состояние; напряжения сжатия и растяжения; предельные тепловые потоки.

Аннотация. Для проведения высокотехнологичных процессов в теплоэнергоустановках исследованы хрупкие капиллярно-пористые покрытия вплоть до наступления предельного состояния поверхности теплообмена. Изучались покрытия, выполненные из металлических материалов (медь и нержавеющая сталь) и естественных природных минеральных сред (покрытия из кварца, гранита и тешенита). Разработана модель для парообразования охладителя в естественных и искусственных капиллярно-пористых образованиях для условий предельного состояния поверхности при совместном действии капиллярных и массовых сил. Анализируются хрупкие покрытия при высокотеплонапряженных процессах теплопередачи. Определены удельные тепловые потоки и отвечающие им термические разрушающие напряжения сжатия и растяжения путем решения термоупругостной задачи для капиллярно-пористых сред, содержащих паровые пузырьки. Выяснены толщины отрывающихся частиц покрытия в момент терморазрушения. Установлена область перехода напряжения сжатия в напряжения растяжения в момент предельного состояния пористой минеральной среды, в которой разрушение от сжимающих термонапряжений происходит в более благоприятных условиях мгновенно и в ничтожно малых объемах. Исследование предназначено для теплоэнергоустановок, содержащих различные пористые покрытия из минеральных сред.

Проведение высокотеплонапряженных процессов связано с возникновением предельного состояния обогреваемой поверхности. В одном случае производится целенаправленное разрушение материала, например, с помощью огнеструйных горелок ракетного типа [1, 2], из сопел которых истекают сверхзвуковые высокотемпературные потоки, а в другом – требуется создание охлаждающей системы самих сопел и камер сгорания во избежание кризиса теплообмена и разрушения парогенерирующей поверхности, покрытой пористой структурой [3-11].

Представляет интерес исследовать капиллярно-пористые структуры, выполненные из природных материалов в виде естественных минеральных сред. Такие поверхности начинают использоваться в крупном производстве энергетических агрегатов (лабиринтовые уплотнения, лопатки газовых турбин) [4, 7, 9].

Разработаем модель зарождения паровых пузырьков в ячейках капиллярно-пористой структуры (рисунок 1).

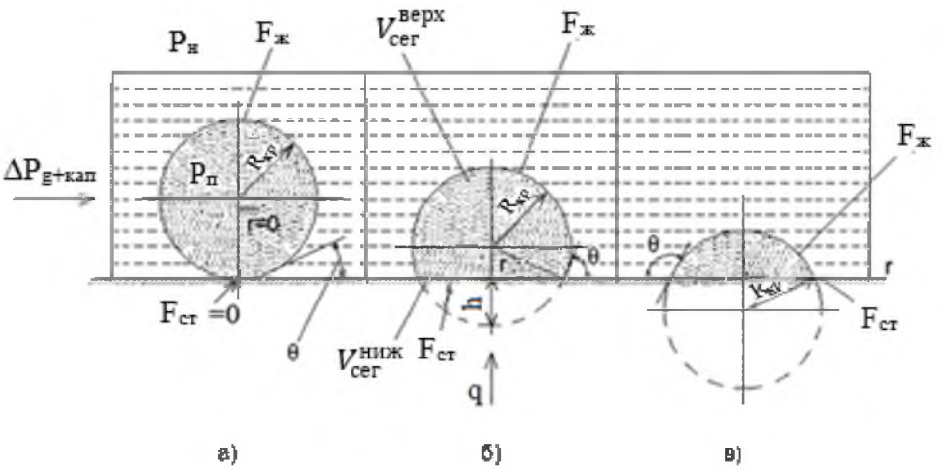

Рисунок 1 – Вариант зарождения парового пузыря на парогенерирующей поверхности в ячейках пористой структуры:
а) взрывообразное появление парового зародыша ($t = 10^{-8} \div 10^{-6}$ с);
б) жизнеспособный паровой зародыш, имеющий "сухое" пятно в основании ($t = 10^{-2} \div 1$ с);
в) "гибнущий" паровой зародыш ($t = 1 \div 10$ с)

Принятые обозначения: $P_н$, $P_п$ – давление насыщения и пара в пузырьке; $\Delta P_{g+кап}$ – действующий напор, создаваемый гравитационными и капиллярными силами; q – тепловая нагрузка; r, $R_{кр}$ – координата и критический радиус; $F_ж$, $F_{ст}$ – поверхность соприкосновения с жидкостью и стенкой; 0 – динамический угол смачивания; V – объем сегмента верхней и нижней части пузыря.

Для рисунка 1 можно записать кубическое уравнение [1]:

$$\cos^3\theta - 3\cos^2\theta - 3\cos\theta + c = 0,$$

где $c = 1 + 8\,(R_{кр}/R)^2$, R – текущий радиус пузыря.

Решением уравнения будет:

$$\cos\theta = y + 1,\ \ \widetilde{P} = -6,\ \ \widetilde{q} = -4,\ \widetilde{Q} = -4,$$

при температурном напоре $\Delta T = \Delta T_{max}$, $c = c_{min} = 1$.

Поскольку $\widetilde{Q} < 0$, принимаем тригонометрическое решение:

$$y = -2\sqrt{-\widetilde{P}/3}\cos(\frac{\widetilde{\alpha}}{3} + \frac{2}{3}\pi),$$

где $\cos\widetilde{\alpha} = \widetilde{q}/2\sqrt{-(\widetilde{P}/3)^3} = 0{,}707$, $\widetilde{\alpha} = 45$ градусов.

Тогда y = – 0,73 и угол θ = 74° 18′.

Аналогичная процедура при $\Delta T = \Delta T_{min}$ дает угол θ = 75° 42′.

Значения величин θ_i незначительно отличаются от средней величины $\widetilde{\theta}$ [8], принятой в модели микрослоевого роста парового пузыря ($\widetilde{\theta} = 80^\circ$), что, видимо, можно объяснить неучетом формы пузыря.

Для определения предельного состояния среды согласно модели (рисунок 1) рассмотрим решение задачи термоупругости на примере материала, выполненного из естественной капиллярно-пористой структуры (горной породы) и металлической парогенерирующей поверхности.

Для термического разрушения пористой поверхности и металлической стенки оценим влияние величины удельного теплового потока q, подводимого к поверхности $F_{ст}$, и времени t воздействия его на создание разрушающих напряжений, также для структуры – гранулометрический состав шелухи δ_i, а для металла – глубины проникновения температурного возмущения, (рисунок 1).

В некоторых работах решающая роль отводится термическим напряжениям растяжения, так как значение предела прочности структуры на сжатие в 10 и более раз выше предела прочности на растяжение, а в металлической стенке – в несколько раз.

Считается, растягивающие напряжения вызывают лишь растрескивание структуры и не определяют шелушение ее, т.е. они не будут решающими для термического разрушения, а основными разрушающими напряжениями являются сдвиговые.

Однако при возрастании температуры покрытия за очень короткий промежуток времени динамические эффекты становятся весьма значительными, напряжения сжатия достигают больших значений, часто в несколько раз превышающих предел прочности материала на сжатие. Поэтому необходимо учесть в механизме термического разрушения пористых покрытий эти напряжения. Необходимо выяснить, какой вид напряжения достигает раньше своих предельных значений для подводимых тепловых потоков.

Рассмотрим свободную со всех сторон пластину толщиной $2h$. К поверхности $z=+h$, начиная с момента $t = 0$, подводится постоянный удельный тепловой поток $q = c$. Нижняя поверхность и боковые края пластины считаются теплоизолированными. Считаем, что тепловой поток q поступает в паровой пузырь через микрослой жидкости, находящийся в основании пузыря под углом θ, и через “сухое” пятно радиусом r.

Уравнение теплопроводности с граничными и начальными условиями запишется в виде:

$$a_{cm}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=\frac{\partial T}{\partial t},$$

$$T=0,\quad t<0,$$

$$\lambda_{cm}\frac{\partial T}{\partial z}=q\quad z=+h,$$

$$\lambda_{cm}\frac{\partial T}{\partial z}=0\quad z=-h,$$

где a_{cm} – коэффициент температуропроводности материала; λ_{cm} – коэффициент теплопроводности материала.

Распределение температуры по толщине зависит от теплофизических свойств материала, величины теплового потока и времени его подачи:

$$T(\frac{z}{h};t)=q\left\{\frac{\mu}{2(c\rho\lambda)_{CT}}t+\frac{3z^2/h^2+6z/h-1}{12\mu}-\frac{4}{\pi^2\mu}\times\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n^2}\exp\left[-(n\pi\mu)^2 t/4(c\rho\lambda)_{CT}\right]\cos\left[\frac{n\pi}{2}\left(\frac{z}{h}+1\right)\right]\right\},$$

где $c_{ст}$ – теплоемкость материала; $\rho_{ст}$ – плотность материала; n – целые положительные числа; $\mu = \lambda_{cm}/h$ – параметр.

Зная распределение температуры в пластине, находим термические напряжения растяжения и сжатия, возникающее в некоторый момент времени t на различной глубине от поверхности $\delta_i = (h-z_i)$ при данном значении теплового потока $q = c$. Пластина с переменной по толщине температурой находится в плоско напряженном состоянии. Напряжения σ определяются как

$$\sigma_{xx}=\sigma_{yy}=-\frac{\alpha E}{1-\nu}T(\frac{z}{h};t)+\frac{1}{(1-\nu)2h}\int_{-h}^{+h}\alpha ET\left(\frac{z}{h};t\right)dz,$$

где первый член – составляющая напряжения сжатия, а второй – растяжения; α – коэффициент линейного расширения; E – модуль упругости; ν – коэффициент поперечного сжатия.

Произведение ($\alpha \times E$) не зависит от температуры и выражение для напряжения растяжения упрощается.

Задаваясь предельными значениями напряжения сжатия, растяжения для каждой данной породы покрытия и металла, получаем функциональную зависимость теплового потока q_i, необходимого для разрушения, от времени его подачи и глубины проникновения. Кроме, того приравнивая температуры на поверхности пластины к температуре плавления породы покрытия и металла, находим значения удельных тепловых потоков, необходимых для плавления поверхностного слоя за различный промежуток времени их действия. Таким образом, получим в каждом конкретном случае функциональные зависимости теплового потока от времени воздействия его на поверхность:

– плавление поверхности пластины при температуре $T_{пл}$

$$q_1 = T_{пл} \Big/ \left\{ \frac{\mu}{2(c\rho\lambda)_{CT}} t + \frac{2}{3\mu} - \frac{4}{\pi^2 \mu} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \exp\left[-(n\pi\mu)^2 t / 4(c\rho\lambda)_{CT}\right] \cos n\pi \right\};$$

– создание предельных напряжений сжатия

$$q_2 = \frac{(1-\nu)\sigma_{пр.сж}}{\alpha E} \Big/ \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\mu}{2(c\rho\lambda)_{CT}} t + \dfrac{3z^2/h^2 + 6z/h - 1}{12\mu} - \dfrac{4}{\pi^2 \mu} \times \\ \times \displaystyle\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \exp\left[-(n\pi\mu)^2 t / 4(c\rho\lambda)_{CT}\right] \cos\left[\frac{n\pi}{2}\left(\frac{z}{h}+1\right)\right] \end{array} \right\};$$

– создание предельных напряжений растяжения $\sigma_{пр.раст.}$

$$q_3 = \frac{(1-\nu)\sigma_{пр.раст}}{\alpha E} \Big/ \frac{\mu}{2(c\rho\lambda)_{CT}} t.$$

Функциональные зависимости величин q_1, q_2, q_3 от времени при фиксированных значениях размера частиц для породы покрытий, либо глубины проникновения температурных возмущений для металла, рассчитывались на ПК применительно к пластинам, выполненных из кварца, гранита, тешенита и металла. Термомеханические характеристики породы покрытий и металлов сведены в таблицу.

Термомеханические свойства исследуемых материалов

Материал	ρ, кг/м^3 $\times 10^3$	α, 1/К $\times 10^{-5}$	C, Дж/кг·К	λ, Вт/м·К	$T_{пл}$, °С	ν	E, Н/м^2 $\times 10^{10}$	$\sigma_{пр.раст}$, Н/м^2 $\times 10^6$	$\sigma_{пр.сж}$, Н/м^2 $\times 10^6$
Кварц	2,65	1,56	1172	10,8	1788	0,17	7,3	3,92	78,5
Гранит	2,58	1,16	921	3,15	1230	0,22	2,8	20,5	260
Тешенит	2,7	5,44	937	1,44	1140	0,27	4,97	7,6	159
Медь (Cu+0,56 Fe)	8,9	1,6	390	390	1100	0,34	11,8	220	1570
Нержавеющая сталь1Х18Н9Т	7,8	1,1	516	16	1300	0,35	21,6	700	2500

Результаты расчетов представлены на рисунке 2 и 3. В случае кварцевого покрытия пластины тепловые потоки подсчитаны для весьма широких интервалов времени ($10^{-8} \div 10^3$) с. Нижний предел этого интервала (10^{-8}) с – время релаксации.

Из рисунка 2 видно, что для интервалов времени порядка ($10^{-8} \div 10^{-3}$) с соотношения для q_1 и q_2, представляющие кривые гиперболического типа в координатах (q; t), теряют физический смысл, так как в данной задаче за основу принималось уравнение теплопроводности. Для учета микропроцессов в него необходимо добавить член типа $K \dfrac{\partial^2 T}{\partial t^2}$. Поскольку терморазрушение – макропроцесс, принимаем его протекающим за время ($5 \times 10^{-8} \div 10^3$) с. Изменение тепловых потоков q_1, q_2, q_3 от времени на пластинах, выполненных из гранитного покрытия, приведены на рисунке 2.

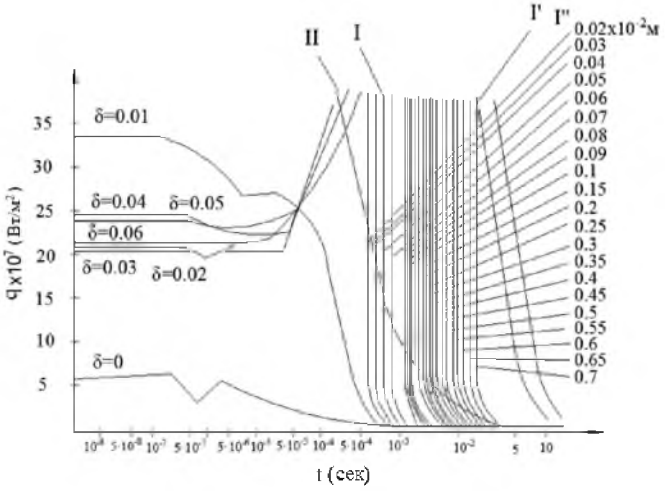

Рисунок 2 – Зависимость тепловых потоков, вызывающих напряжения сжатия кварцевого покрытия в зависимости от времени действия для различной толщины отрывающихся частиц: I – напряжения растяжения, достаточные для разрушения; II – оплавление поверхности; I' – медь, $h = 0{,}1\times10^{-3}$ м, I" – нержавеющая сталь, $h = 0{,}1\times10^{-3}$ м

При условии разрушения покрытия только сжатием получен ряд кривых, каждая из которых соответствует определенной толщине отрывающейся частицы. Для каждого значения теплового потока и некоторого интервала времени получаем частицы с толщиной δ_i . Максимальная толщина частиц, отрывающихся под действием сил сжатия, для покрытий из кварца и гранита составляет $(0{,}25\text{-}0{,}3)\times10^{-2}$ м.

Участки кривых сжатия, определяющие отрыв частиц с толщинами $\delta > 0{,}3\times10^{-2}$ м для больших тепловых потоков и малых t, экранируются кривой плавления II, а в случае малых тепловых потоков и значительных интервалов времени – кривой растяжения. Причем, кривая плавления поверхности кварцевого покрытия проходит значительно выше, чем таковая у гранитного, что объясняет устойчивое хрупкое разрушение покрытий из кварца и кварцсодержащих пород.

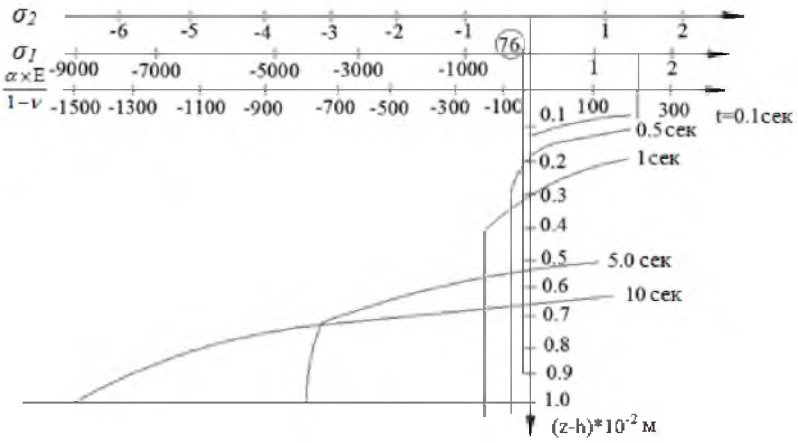

Рисунок 3 – Эпюры напряжений по толщине тешенитного покрытия пластины при различных q и t: $q_1 = 6{,}6\times10^6$ Вт/м^2; $q_2 = 1\times10^4$ Вт/м^2; 76 – предел прочности на растяжение; σ, $\times10^5$ Н/м^2; E, $\times10^5$ Н/м^2

Взаимосвязь напряжений сжатия и растяжения можно проследить на рисунке 3, которые представляют собой эпюры напряжений внутри пластины из тешенитного покрытия для различных интервалов времени от начала рассматриваемого процесса. При малых t, порядка 10^{-1} с, возникают только напряжения сжатия. Начиная с $t \sim 1$ с, в некоторой области $\Delta\ (h - z_i)$ до $0{,}3\times10^{-2}$ м напряжения сжатия переходят в напряжения растяжения за весьма короткий промежуток времени, причем для различных интервалов они находятся на различной глубине от поверхности пластины. В области перехода напряжения сжатия в напряжение растяжения будут, по-видимому, наблюдаться

наибольшие напряжения сдвига слоев поверхности породы. Во времени сдвиговые напряжения достигают предельных значений позже разрушающих напряжений сжатия и, очевидно, раньше максимальных напряжений растяжения.

С увеличением удельного теплового потока в нагреваемом слое, и, следовательно, уменьшением времени нагрева, растет роль напряжений сжатия. Несмотря на высокую сопротивляемость сжатию, разрушение от сжимающих термонапряжений происходит в более благоприятных условиях мгновенно и в ничтожно малых объемах.

Кривая плавления поверхности покрытия из кварца проходит значительно выше, чем у гранита и тем более, чем у тешенита, что объясняет устойчивое хрупкое разрушение кварцсодержащих структур.

Выводы. Разрушение естественных покрытий под действием сил сжатия наступает во времени значительно раньше, чем сил растяжения. Вероятное разрушение будет происходить под действием сил сжатия и сдвига. Интервалы теплового потока, в пределах которых происходит такое разрушение, различны для покрытий из кварца (q_{max} = 7×10^7 Вт/м^2; q_{min} = 8×10^4 Вт/м^2) и для гранита (q_{max} = 1×10^7 Вт/м^2; q_{min} = 21×10^4 Вт/м^2).

Каждой толщине δ_i отрывающейся частицы под действием сил сжатия соответствуют свои предельные значения тепловых потоков, которые находятся в пределах приведенных интервалов.

Для неохлаждаемой металлической поверхности величины q_{min} = 1×10^4 Вт/м^2 и в случае пористой системы охлаждения, работающей при комбинированном действии капиллярных и массовых сил, величина q_{max}= 1×10^6 Вт/м^2 [6].

Максимальная толщина частиц, отрывающихся под действием сил сжатия, для покрытий из гранита, кварца и тешенита составляет (0,25 - 0,3)×10^{-2} м.

Время отрыва частиц из тешенитного покрытия, определенное скоростной киносъемкой [2], составляет меньше 0,5 с в зависимости от подводимого теплового потока, что согласуется с приведенными данными на рис. 3, когда $t_{min} \geq 0{,}1$ с.

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., Genbatch 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. 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] 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.

[12] Овсянник А. В. Моделирование процессов теплообмена при кипении жидкостей. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 284 с.

[13] Alekseik O. S., Kravets V. Yu. Physical model of boiling on porous structure in the limited space // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – N 4/8 (64). – P. 26-31.

[14] Jijiv A.M., Degryatov M.V. Modeling of heat transfer in a porous material. – Paper of Samara State Aerospace University, 2009. – P. 289-293.

[15] Alekseik O. S., Kravets V. Yu., Kopchevska I. A. Heat transfer intensity at boiling on small-size surface // Technology and construction in electronic apparatuses. – 2012. – N 1. – P. 49-53.

REFERENCES

[1] Polyaev V. M., Genbach A.A. The growth rate of steam bubbles in porous structures, News *of higher education institutions. Mechanical engineering*. **1990**, № 10, pp. 56-61. (in Russ.).

[2] Polyaev V. M., Genbach A.N., Genbach A.A. A limit condition of a surface at thermal influence, *TVT*. **1991**, Vol. 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. Applications porous system, *Proceedings of the universities. Energy*. **1991**, №12, pp. 97-101. (in Russ.).

[5] Polyaev V.M., Genbach A.A. Heat management in porous structures, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energy and transport*. **1992**, V. 38, №6, pp. 105-110. (in Russ.).

[6] 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.).

[7] Genbach A.A., Kulbakina N.V. Dust suppression and dust removal with a circulation of foam generator with a porous structure, *Energy and Fuel Resources of Kazakhstan*. **2010**, №4, pp. 62-65. (in Russ.).

[8] Polyaev V.M., Genbach A.A. Management of internal characteristics of boiling in porous system, *Cryogenic equipment and conditioning: Collection of works of MGT*U. Moscow, **1991**, pp. 224-237. (in Russ.).

[9] Polyaev V.M., Genbach A.A. Use of porous system in power stations, *Power industry*. **1992**, №1, pp. 40-43. (in Russ.).

[10] Polyaev V.M., Genbach A.A. Calculation of thermal streams in the porous cooling system, *News of higher education institutions. Aircraft equipment*. **1992**, №2, pp. 71-74. (in Russ.).

[11] Genbach. A.A., Gnatchenko. Y.A. Cooling system of thermal-element-detonation burner.Combustion chambers, diffuser, confuser, *Vestnik KazNTU*, Almaty, **2007**, №4 (61), July, pp. 87-91. (in Russ.).

[12] Ovsyanik A.V. Modelling of heat-exchange processes at liquids boiling. *Gomel State Technical University named after Sukhoy P.O*., Gomel, **2012**, P. 284. (in Russ.).

[13] Alekseik O. S., Kravets V. Yu. Physical model of boiling on porous structure in the limited space, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, **2013**, № 4/8 (64), pp. 26-31. (in Eng.).

[14] Jijiv A.M., Degryatov M.V. Modeling of heat transfer in a porous material, *Paper of Samara State Aerospace University*, **2009**, pp. 289-293. (in Russ.).

[15] Alekseik O. S., Kravets V. Yu., Kopchevska I. A. Heat transfer intensity at boiling on small-size surface. *Technology and construction in electronic apparatuses*, **2012**, № 1, pp. 49-53. (in Russ.).

ЭНЕРҒЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ КАПИЛЛЯРЛЫҚ-КЕУЕКТІ МОРТ СЫНҒЫШ ЖАБЫНДАРЫН ЗЕРТТЕУ

А. А. Ғенбач, Н. О. Джаманкулова

Алматы энерғетика және байланыс университеті, Казахстан Республикасы, Алматы

Түйін сөздер: капиллярлық-кеуекті жабындар, бу көиіршіктері, шектік күй, сығылу және созылу кернеулері, шектік жылу ағындары.

Аннотация. Жылу энерғетикалық қондырғыларда жоғарғы технолоғиялық процестердің сапалы өтуін қамтамасыз ету үшін, морт сынғыш капиллярлық-кеуекті жабындар жылу алмасу бетінің шектік күйі орнағанға дейін зерттелді. Металл материалдардан (мыс, тот баспайтын болат) және табиғи минералды заттардан (кварц, гранит, тешенит) жасалған жабындар қарастырылған. Табиғи және жасанды капиллярлық-кеуекті құрылымдарда жылу алмасу бетінің шектік күйі жағдайында, капиллярлық және массалық күштердің қатар әсер етуі кезінде салқындатқыштыц булану процесінің үлгісі құрылған. Жылу берілудің жоғарғы жылулық кернеулік процестері кезіндеғі морт сынғыш жабындардыц күйі сарапталады. Бу көпіршіктері бар капиллярлық-кеуекті орталар үшін жылуға серпімді мәселелерді шешу арқылы меншікті жылу ағындары және оларға сәйкес келетін жылулық күйретуші сығылу және созылу кернеулері анықталды. Жылулық күйреу кезінде жабыннан үзіліп шығатын бөлшектердің өлшемі шамаланған. Кеуекті минералды орталардыц шектік күйі кезінде, сығатын жылулық кернеу себебінен күйреу тиімдірек жағдайда тез және өте аз мөлшерде болатын кезде сығылу кернеуінің созылу кернеуіне өту аймағы тағайындалған. Зерттеу минералдық заттардан жасалған әртүрлі кеуекті жабындары бар жылу энерғетикалық қондырғыларға арналған.

Поступила 05.05.2016 г.