**FRI-9.2-1-THPE-02**

# TEST BENCH EQUIPMENT FOR ANALYSIS OF COOLANT FEED IN AND ORIENTATION OF THE HEAT TRANSFER SURFACE IN CAPILLARY-POROUS SYSTEMS

**Prof. Alexander A. Genbach, DSc**
Department of of Heat and Power Installations,
AUPET, Republic of Kazakhstan
Tel.: +7(705)2089521
E-mail: natalja-genbach@rambler.ru

**David Yu. Bondarcev, PhD Student**
Department of of Heat and Power Installations,
AUPET, Republic of Kazakhstan
Tel.: +7(701)5323661
E-mail: d.bondartsev@saem.kz

**Prof. Iliya K. Iliev, PhD**
Department of Termotechnics, Hydraulics and Ecology,
"Angel Kanchev" Univesity of Ruse
Phone: +359 887306898
E-mail: iki@uni-ruse.bg

***Abstract:*** *The numerical modeling of the ongoing processes that takes place in capillary-porous coatings allows for the mechanisms of heat transfer and vapor generation to be reveled/studied. Thus, to identify the most endangered areas where fatigue cavities may form and spread. The fatigue cavities mainly appear at the vapor-forming activation centers. The coatings are manufactured from minerals with poor thermal conductivity properties (quartz, granite, scaffold) with relatively low porosity (3-30%). The heat is led through a jet type burner and electrical current. The stability of the teat transfer process is ensured by abundant amount of coolant and the joint/simultaneous action of capillary and mass forces. By solving the process of the thermal flexibility, the connection between the thermal flows, the destructive thermal tensions and the destructive energy has been determined. The connection between the aforementioned thermal properties is established as a function of time from the initial heating and the size of the eroding particles.*

**Keywords:** *Capillary-porous systems; Heat and mass transfer processes, Cooling systems.*

## ВЪВЕДЕНИЕ

Изследването на порестите системи на горелки от ракетен тип [4-9] способства за усъвършенстване на горелките [1-3]. При термично взаимодействие на минерални порести покрития на горелки с ниска проводимост след определено време част от повърхността се нагрява до определена температура, а в другите части на покритието се запазва началната температура. По тази причина във вътрешността на покритието възниква температурен градиент, следствие на което то се разширява неравномерно.

Околните ненагрети слоеве оказват съпротивление на това разширение, в резултат на което възниква термично напрежение както в нагрятата част, така и в окъжаващия ненагрят масив в т.ч. и подложката. Създадените напрежения могат да достигнат до разрушаващи стойности. В работите [2,3] е решена задача за термичногъвкави напрежения за идеализирани процеси. Доминираща роля в процеса на разрушаването играят нормалните напрежения на свиване.

Разрушаването на порестото покритие се осъществява в резултат на загубата на устойчивост в тънкия слой, прилежащ към свободната повърхност. Затова е разгледан случай на напрегнато състояние на повърхностния слой, чиято дебелина зависи от коефициента на

топлопредаване и структурата на покритието и подложката (метална парогенерираща повърхност).

В облъченото покритие бурно расте плътността на ваканциите, които бързо се обединяват в кухини, понеже интензивността на процеса на обединяването на ваканциите е пропорционална на квадрата на тяхната плътност. Ако кухините на ваканциите могат да се превръщат в дислокации, то облъчваното покритие придобива пластични свойства и не се разрушава под въздействието на горелката. Всички метали се характеризират с такива качества. Такива свойства притежават и някои минерали (мрамор, туф, варовик).

Ако все пак в покритието не се образуват дислокации, то растящите кухини от ваканциите се концентрират в краищата си напрежения, което води до разрушаване в това време, когато термичните напрежения в покритието още не са достигнали предела на пластичното разтичане. Протича процес на крехко термическо разрушение.

За охлаждането на топлообменни повърхности от елементи на енергетически инсталации до границите на критични топлинни потоци (~106 W/m$^2$), както е известно от литературата има противоречащи си мнения относно механизма на топлообменните процеси в порестите структури, особено когато се обсъжда каква е средата на повърхността на стената: течност, пара или паро-водна смес. В нашите разработки е показано, че всички модели не си противоречат един на друг, а описват различните режими на кипене [4-9].

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

На основата на експериментални и теоретични изследвания се построени динамичните модели на интензификация на топлопредаването при кипене на пореста повърхност. Развитите повърхности съдържат свързани помежду си вътрешни кухини под формата на правоъгълни канали и малки пори, свързващи каналите с обема на течността.

Отношението на потока на латентната топлина $\left(\frac{\pi}{\sigma}.\overline{D}_0^3.r.\rho_s.\overline{n}.\overline{f}\right)$ към пълния топлинен поток за развити повърхности би могло да бъде от 2 до 5 пъти по-голямо отколкото при обикновенни повърхности при специфичен топлинен поток до 1,104 W/m$^2$. При големи топлинни потоци даденото отношение се понижава. Отклонението според някои източници достига 300%. Във формулите са приети следните означения: $\overline{D}_0^3$ - среден диаметър на откъсване на парните мехури в порестата структура; $r$ - специфична топлина на парообразуване; $\rho_s$ - плътност на парата; $\overline{n}$ - средна плътност на центровете на ядрообразуване; $\overline{f}$ - средна честота на генериране на парни мехури.

Разработен е физически модел на предаването на специфичен топлинен поток $q$ чрез парогенерираща повърхност (стена или подложка), която се покрива с капилярно-пореста структура (фиг.1).

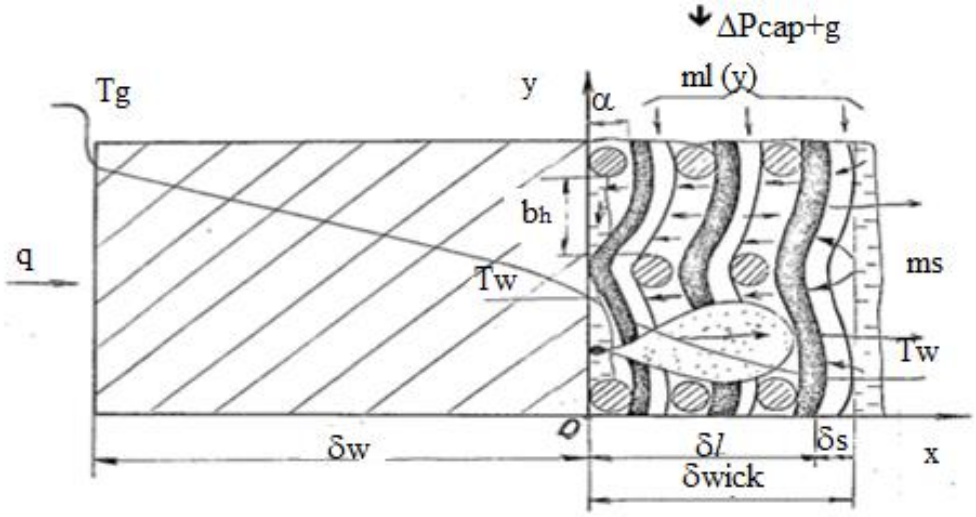
Процесите на топло- и масопренасяне в порестите покрития протичат с излишък на течност $m_l/m_s$ под действието на потенциала на налягането, създавано от капилярните и масови сили $\Delta P_{cap+g}$.

Изследването на термохидравличните (вътрешни) характеристики на кипенето [5,6] позволява да се изучи механизма, да се опише физическата картина на процеса на топло- и масопренасяне в изследваните мрежесто-порести структури [4,7], работещи в полето на гравитационните сили и да се получат изчислителни уравнения за определяне на отвеждания топлинен поток [3,7,9].

В изследваната охладителна система, при малки топлинни потоци, преносът на топлина се осъществява по кондуктивен път и неговата стойност е толкова по-голяма, колкото е по-ефективна топлопроводността на структурата, мокряемостта от течността, и топлопроводността на корпуса. Движението на течността има плавен характер, а на нейната повърхност не се наблюдават парови мехури и свързаните с тях възмущения на процеса. Течността се изпарява интензивно от мениска при малки излишъци на топлоносител и с

ръста на излишък на течност започва процес на изпарение от повърхността на стичащия се пласт [7].

При определена големина на топлинния поток започва нарушение на плавното вълнисто течение на слоя течност, при това в по-малка степен, колкото е по-малък параметъра $m_l/m_s$, *след което се появяват* отделни мехури.




Фиг.1. Физически модел на процеса на топло –и масообмен в реална пореста структура на покритие, работещ с излишък на течност: правите линии - движение на течността; вълнистите линии - движение на парата: q-специфичен топлинен поток, $W/m^2$; $T_g$, $T_w$, $T_s$- температури, съответно на газовете, стената и на насищане, $^0C$; $\delta_w$, $\delta_l$, $\delta_s$, $\delta_{wick}$- дебелина на стената, течността, парата, фитила, m; $m_l(y)$, $m_s$- дебит на течността и парата, съответно, kg/s; $\Delta P_{cap+g}$ –действащ капилярен и масов напор, $H/m^2$; d-размер на зърното, m; $b_h$- ширина на клетката на порестия материал, m.

Като постоянно действащи центрове на генерация се явяват няколко активно действащи клетки от порестатта структура. Началото на кипененто на течността $\Delta T_{b.i.}$ зависи от много режимни и конструктивни параметри и се определя от уравнението за този процес $\Delta T_{b.i}$, на който съответства топлинен поток $q_{b.i}$. Понижението на дебита на течността $m_l(y)$, или повишаването на притока на топлина *q*, водят до бързо нарастване на центровете на парообразуване. Интензивността на работа на всеки център в началния режим на кипене не е една и съща, някои зони от нагревната повърхност са едва засегнати от пробуждащите се едва започващи работа центрове. Ако се увеличи дебита на циркулиращия топлоносител $m_l(y)$ времето на „живот“ на отделните парови мехури расте, а редица активни пори прекратяват своята дейност. Увеличаването на излишъка на течност довежда други активно работещи центрове на генерация до по-нежизнеспособносте и вяли такива.

Зоната на преходния участък към развито мехурчесто кипене е незначителна вследствие на високата скорост на нарастване на активно действащите центрове на ценериране на пара. Понататъшен ръст на топлинното натоварване *q* ще доведе до устойчив режим на работа на преобладаващия брой активни центрове на парообразуване и до тяхното по-равномерно разпределение по цялата парогенерираща повърхност. Затова провеждането на аналогия при процесите на преднамерено разрушение на крехките материали и кризите на кипене позволява тяхното моделиране и изясняване на механизва на протичащите процеси.

За да познаем механизма на процеса на разрушаване са проведени опити с използване на холографски методи [1].

Оценката на напрегнатото състояние на модела в сходни моменти от време е проведена чрез фотографска регистрация на картини изохром и изчисляването на порядъка на платовете *n* в различни точки на изследваните посоки.

Решението на задачата на термичната гъвкавост позволява да се определи пределното състояние на средата на порестото покритие и металната парогенерираща повърхност [2,3,9].

При термично разрушение на материали с лоша топлопроводност и ниска порестост и метална стена е необходимо да се обясни влиянието на големината на специфичния топлинен поток $q$, към повърхността и времето на неговото въздействие $\tau$ за създаването на разрушителни напрежения $\sigma$, с гранулометричен състав на обвивката (разметът на откъсващата се частица), а за метала - дълбочината на проникване на температурното възмущение $\delta$.

При нарастване на специфичния топлине поток $q$ за много кратък период от време $\tau$ динамичните ефекти стават доста значими, напрежението на свиване $\sigma$ достига големи стойности, често превишаващи няколко пъти граничните стойности за якост при свиване на материала. Затова е необходимо да се вземат под внимание тези напрежения в механизма на термическо разрушение на материала. Трябва да се изясни какъв вид напрежение $\sigma_i$ достига по-рано до своите гранични стойности.

Нека разгледаме платина с дебелина 2h. Към повърхността z=+h, като започнем от момента време $\tau$=0, се внася постоянен специфичен топлинен поток $q$. Долната повърхност z=-h и страничните краища на пластината са топлоизолирани.

Уравненията на топлопроводността с граничните и начални условия се записват във вида:

$$d_w \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad T = 0, \tau < 0; \tag{1}$$

$$d_w \frac{\partial T}{\partial z} = q, \; z = +h; \; \lambda_w \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \; z = -h, \tag{2}$$

където, $d_w$, $\lambda_w$ - коефициенти на температуропроводност и топлопроводимост на стената (подложката) [10].

Разпределението на температурата по дебелината на слоя зависи от топлофизичните свойства на материала, големината на топлинния поток и времето за подвеждането на топлината [2,3].

Ако знаем температурното разпределение в пластината можем да изчислим термичните напрежения на разтягане и свиване, възникващи в някакъв момент от времето $\tau$ на различна дълбочина от повърхността $\delta_i$ ($h=z_i$) при дадено значение на топлинния поток $q$, доколкото пластината с променлива температура по дебелината се намира в плоско-напрегнато състояние [2].

## ИЗВОДИ

1. Съществува висока опасност от появата на пределни топлинни напрежения в момента на пускане на котло-турбинната инсталация в ТЕЦ. Тези напрежения възникват най-често в местата на концентрация, явяващи се центрове на зараждането на активна парова фаза или при образуването на капки кондензат. Капилярно-порестата структура има естествен произход (отлагания на соли, котлен камък), но също и с изкуствено създадена от материали с добра и лоша топлопроводност имаща широк диапозон на порестост от 3 до 90% проницаемост.

2. Капилярно-порестите структури могат да изпълняват моделираща роля, а също да служат в качеството на високоефективна и форсирана охладителна ситема. Например, за моделиращ материал служат тешенитовите порести покрития, имащи 5 пъти по-висок коефициент на линейно разширение, и 10 пъти по-нисък коефициент на топлопроводност и примерно еднаква температура на топене в ставнение със използванете в енергетиката стомани. Те също са и най-вискозни с пористост до 30%.

**REFERENCES**

Polyaev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. (1992) *An experimental study of thermal stress in* Polyaev V. M., Genbach A. N., Genbach A. A., (1992). *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.

Genbach A. A., Burmostrov A. V., (2011). Issledovanie teplovogo sostoyaniya tsilindrov parovayh turbin. Promayshlennosty Kazahstana, No 2 (65), mart-aprely. –2011. – s. 91-93 (***Оригинално заглавие:*** *Генбач А. А., Бурмистров А. В., (2011). Исследование теплового состояния цилиндров паровых турбин. Промышленность Казахстана, No 2 (65), март-апрель. –2011. – с. 91-93.*)

Polyaev V. M., Genbach A. N., Genbach A. A., (1991). Predel'noye sostoyaniye poverkhnosti pri termicheskom vozdeystvii. TVT –1991. –T.29, №5. – s. 923-934 (***Оригинално заглавие:*** *Поляев В. М., Генбач А. Н., Генбач А. А., (1991). Предельное состояние поверхности при термическом воздействии. ТВТ –1991 –Т.29, №5. – с. 923-934.*)

Polyaev V. M., Genbach A. A., (1991). *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.

Polyaev V. M., Genbach A. A., (1991). Upravleniye vnutrennimi kharakteristikami kipeniya v poristoĭ sistemy. Kriogennaya tekhnika i konditsionirovaniye: Sb. trudov MGTU. –1991. –s. 224-237 (***Оригинално заглавие:*** *Поляев В. М., Генбач А. А., (1991). Управление внутренними характеристиками кипения в пористой системы. Криогенная техника и кондиционирование: Сб. трудов МГТУ. –1991. –с. 224-237.*)

Polyaev V. M., Genbach A. A., (1992). Upravleniye teploobmenom v poristykh strukturakh. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika i transport. -1992. –T.38. №6. – s .105-110 (***Оригинално заглавие:*** *Поляев В. М., Генбач А. А., (1992). Управление теплообменом в пористых структурах. Известия Российской академии наук. Энергетика и транспорт. -1992. –Т.38. №6. – с .105-110.*)

Polyaev V. M., Genbach A. A., (1993). Teploobmen v poristoy sisteme, rabotayushchey pri sovmestnom deystvii kapillyarnykh i gravitatsionnykh sil. Teploenergetika. – 1993. №7. – s. 55-58 (***Оригинално заглавие:*** *Поляев В. М., Генбач А. А., (1993). Теплообмен в пористой системе, работающей при совместном действии капиллярных и гравитационных сил. Теплоэнергетика. – 1993. №7. – с. 55-58.*)

Polyaev V. M., Genbach A. A., (1993). Intensivnost' teploobmena poristoy sistemy v gravitatsionnom pole. Izvestiya vuzov. Energetika. -1993. №1,2. – s .91-95 (***Оригинално заглавие:*** *Поляев В. М., Генбач А. А., (1993). Интенсивность теплообмена пористой системы в гравитационном поле. Известия вузов. Энергетика. -1993. №1,2. – с .91-95.*)

Polyaev V. M., Genbach A. A., (1991). Predel'nyye teplovyye nagruzki v poristykh strukturakh. Izvestiya vuzov. Aviatsionnaya tekhnika. -1991. №1. – s. 33-37 (***Оригинално заглавие:*** *Поляев В. М., Генбач А. А., (1991). Предельные тепловые нагрузки в пористых структурах. Известия вузов. Авиационная техника. -1991. №1. – с. 33-37.*)

Genbach A. A., Bondarcev D. Yu., (2017). Model' generatsii para na tverdoy poverkhnosti pokrytoy poristoy strukturoy dlya elementov teploenergoustanovok. Vestnik KazNITU №4 (122) – iyul' 2017, s. 49-55 (***Оригинално заглавие:*** *Генбач А. А., Бондарцев Д. Ю., (2017). Модель генерации пара на твердой поверхности покрытой пористой структурой для элементов теплоэнергоустановок. Вестник КазНИТУ №4 (122) – июль 2017, с. 49-55.*)