

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

5

АЛМАТЫ
АЛМАТЫ
ALMATY

2017

SEPTEMBER
СЕНТЯБРЬ
ҚЫРКҮЙЕК

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)
Юлдашбаев Ю.А. проф., РҒА корр.-мүшесі (Ресей)
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)
Лупашку 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)
Сагьян 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)
Юлдашбаев Ю.А. проф., член-корр. РАН (Россия)
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)
Yuldashbayev Y.A., prof. corresponding member of RAS (Russia)
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. Genbatch¹, D. Yu. Bondartsev²¹Doctor of technical sciences, professor AUPET,²doctoral student AUPET, leading engineer JS «Trest Sredazenergomontazh».

E-mail: d.bondartsev@saem.kz

**DEVELOPMENT OF TURBINE TECHNOLOGY OF POWER PLANTS
AND THE SCIENTIFIC METHODOLOGY FOR THEIR CREATION**

Abstract. The development of methods and devices for capillary-porous systems for the turbine engineering of power plants has been carried out. A scientific method for their investigation has been developed. The limiting heat fluxes in metallic and poorly heat-conducting porous structures in the form of granite coatings operating under the combined action of gravitational and capillary forces are studied. The mathematical model is based on the thermoelastic problem. A mechanism for the destruction of processes for the analogy of the heat transfer of poorly heat-conducting coatings of small porosity and a metal substrate is described. The revealed values of the specific energy of destruction allow to expand the crisis phenomena in the porous cooling system and to ensure the optimal selection of porous coatings of low porosity and thermal conductivity.

Key words: heat exchange, porous structure, thermal power plants.

УДК 536.248.2

А. А. Генбач¹, Д. Ю. Бондарцев²¹Доктор технических наук, профессор АУЭС,²докторант АУЭС, ведущий инженер АО «Трест Средазэнергомонтаж».**РАЗРАБОТКА ТУРБИНОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
И НАУЧНАЯ МЕТОДИКА ИХ СОЗДАНИЯ**

Аннотация. Проведена разработка способов и устройств капиллярно-пористых систем для турбинной техники электростанций. Создана научная методика их исследования изучены предельные тепловые потоки в металлических и плохотеплопроводных пористых структурах в виде гранитных покрытий, работающих при совместном действии гравитационных и капиллярных сил. Математическая модель построена на основе термоупругостной задачи. Описан механизм разрушения процессов для аналогии теплообмена плохотеплопроводных покрытий малой пористости и металлической подложки. Выявленные величины удельной энергии разрушения позволяют расширить кризисные явления в пористой системе охлаждения и обеспечить оптимальный подбор пористых покрытий малой пористости и теплопроводности.

Ключевые слова: теплообмен, пористая структура, тепловые электрические станции.

Применение пористых материалов в турбинной технике привлекали многих исследователей создавать различные устройства. Повышалась интенсивность теплоотводящих систем и форсировка протекающих в них процессов [1-3]. Использование пористых материалов помимо систем охлаждения позволяло создавать агрегаты, в которых решались проблемы взрывобезопасности, охраны труда и долговечности [2, 4]. Этому способствовала возможность управлять процессами парообразования за счет избытка жидкости в порых и капиллярных структурах, создаваемого совместными действиями капиллярных и массовых сил [5-7].

В тепловых энергетических установках (ТЭУ) капиллярно-пористые материалы используются для охлаждения высокофорсированных детонационных горелочных устройств [8], создания

пароохладителей в паровых котлах [9], маслоохладителей, исключющие попадания масло в охлаждающую воду и воды в систему подшипников [10], лабиринтных уплотнений [11], и в других устройствах [12].

Основные области практического применения капиллярно-пористых систем нами защищены патентами и авторскими свидетельствами на изобретение [2, 4, 6-12].

Внедрение оборудования и технологических процессов в энергетике должно производиться, прежде всего, с эколого-экономических позиций. Предлагаемые разработки капиллярно-пористых систем будут способствовать проведению процессов, существенно улучшая и сохраняя природную среду.

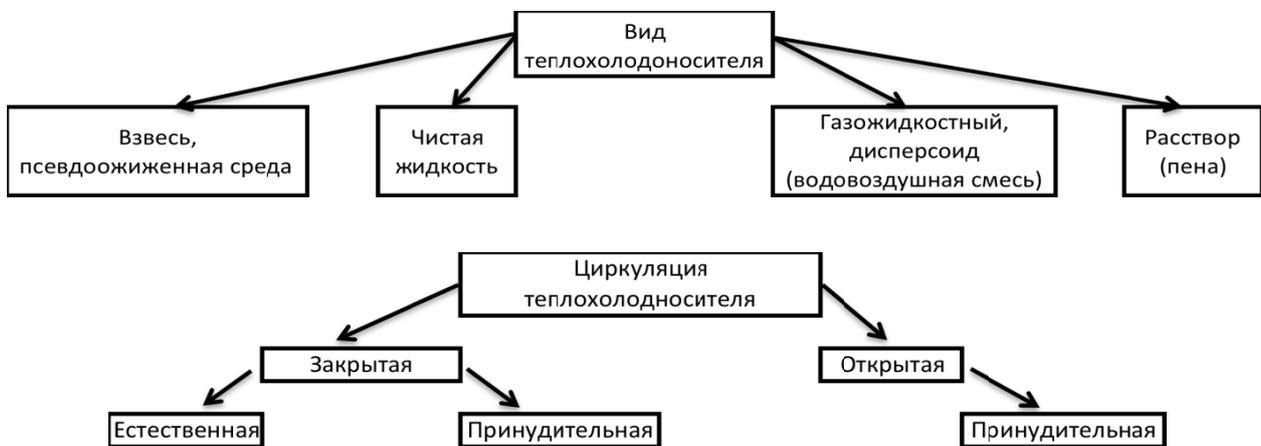
Для повышения надежности, экономичности и маневренности турбинных установок с учетом экологии эффективны мероприятия [4, 6-8, 10-12]:

1. Сепарирование влаги в ступени капиллярно-пористой структуры;
2. Проведение гидрогазодинамики, массообмена двухфазных потоков в ступени при наличии пористых вставок (естественных и искусственных);
3. Организация движения частиц влаги и жидкости пленок в пористых каналах ступени;
4. Интенсификация процессов в пористых сепараторах проточной части турбины;
5. Проведение пористого охлаждения лопаток и камер сгорания ГТУ;
6. Подавление образования оксидов азота в камерах сгорания ГТУ тепловыми трубами;
7. Детонационного горения в пористых образованиях в камерах ГТУ;
8. Утилизации тепла в ГТУ тепловыми трубами;
9. Голографирования деформаций и тепловых расширений в узлах статора ротора турбины с целью диагностики;
10. Пористого охлаждения элементов ротора турбины при ее пуске и останове;
11. Пористого охлаждения статора турбины при ее пуске и остановке;
12. Повышения маневренности турбины за счет применения пористых систем;
13. Защиты валопровода турбины от землетрясений пористыми энергоразделителями;
14. Резки фундаментов турбоустановки терморезактивными горелками при производстве строительно-монтажных работ;
15. Защита от кавитации лопаток турбины с помощью пористых структур;
16. Борьба с тепловыми ударами в паропроводах и клапанах пористыми системами;
17. Голографического диагностирования валопровода турбины;
18. Голографического диагностирования двухфазных потоков в турбинной ступени;
19. Установки пористых экранов диафрагм первых ступеней ЦВД и ЦСД;
20. Фотоупругостного диагностирования валопровода, дисков, лабиринтных уплотнений.
21. Применения волновой теории двухфазных потоков в сопловых и рабочих лопатках на основе разделения, концентрации и стока энергии влаги и легкой фазы;
22. Разработка волновой теории теплообмена в элементах ротора и статора при взрывообразном рождении паровых пузырей;
23. Крепежа шпилек фланцевых соединений турбин тепловыми трубами;
24. Управления масляной пленкой в подшипниках турбин капиллярно-пористыми структурами;
25. Ускорение пуска и останова турбин за счет применения пористых систем;
26. Борьба с шумом и вибрацией пористыми системами;
27. Управления малоциклового усталостью в зонах концентратов напряжений элементов ротора и статора с помощью пористых систем;
28. Повышения виброустойчивости лабиринтных уплотнений с помощью пористых систем;
29. Борьбы со стеснением тепловых расширений турбины на фундаменте с помощью пористых систем;
30. Реализации изотермического цикла расширения пара в турбине с помощью пористых систем;
31. Повышения надежности работы лопаточного аппарата при вибрационных режимах путем установки пористых вставок;
32. Управления поведением многопролетных валопроводов, вращающихся на масляной пленке, путем применения пористых систем;

- 33. Повышения прочности деталей турбины при нестационарных тепловых режимах (переменные и переходные режимы) за счет их охлаждения пористыми структурами;
- 34. Управления осевым усилием путем применения пористой системы;
- 35. Повышения надежности работы регулирующей и последней ступени за счет применения пористой структуры;
- 36. Управления температурным полем выхлопного патрубка турбины при ее разгрузке с помощью пористой структуры;
- 37. Управления предельной деформацией ротора относительно статора при переходных режимах работы за счет пористой системы;
- 38. Управления тепловым изгибом ротора с помощью пористой системы;
- 39. Управления деформацией корпуса турбины вследствие несимметричного прогрева с помощью пористой системы;
- 40. Снижения пусковых потерь топлива за счет управления тепловым состоянием турбины пористой системы;
- 41. Управления масляной пленкой подшипников для борьбы с низкочастотной вибрацией (самоподдерживающейся процессией вала) с помощью пористой системы;
- 42. Борьбы с хрупким внезапным разрушением ротора путем управления пуском турбины посредством пористой системы.

На рисунке 1 представлена методика исследования капиллярно-пористых систем применительно к различным элементам ТЭУ. Системы отличаются тем, что имеют преимущественно гравитационный подвод жидкости и по интенсивности теплопередачи занимают промежуточное положение между тонкопленочными испарителями и пористыми испарителями с преимущественно капиллярным подводом жидкости (тепловыми трубами). Поэтому такие системы следует выделить в отдельный класс теплоотводящих систем. Проведенные исследования позволяют дать рекомендации по выбору теплохолодоносителя, учесть вид его циркуляции, определить геометрию и материал аппаратов и интенсификаторов теплообмена, с учетом условия работы системы (под давлением или разрежением), подводом и видом энергии и ориентацией системы. Обобщение экспериментальных результатов и методика расчета тепло- и массообмена в капиллярно-пористых системах в соответствии с рисунком 1 представлены в [2, 3, 5-8].

Исследование различных факторов, влияющих на теплообмен в капиллярно-пористых структурах, показывает, что особый интерес вызывают предельные состояния поверхности нагрева, когда система способна переносить минимальные потоки энергии и вещества. Однако в этом случае требуется знать величины тепловых потоков и термических напряжений с целью обеспечить надежную и долговечную работу установки. Так, следуя рисунку 1, можно получить максимальный перепад энергии и вещества для следующих условий: используется чистая жидкость, циркулирующая по принудительной схеме в закрытых эллиптических теплообменниках под давлением в перфорированных и профилированных поверхностях нагрева, выполненных из нержавеющей стали. Система работает с избытком жидкости, а наличие массовых сил обеспечивают вынужденные течения теплохолодоносителя с недогревом. Энергия подводится к вертикально расположенной поверхности по периметру сверхзвуковым высокотемпературным пульсирующим вращающимся факелом.



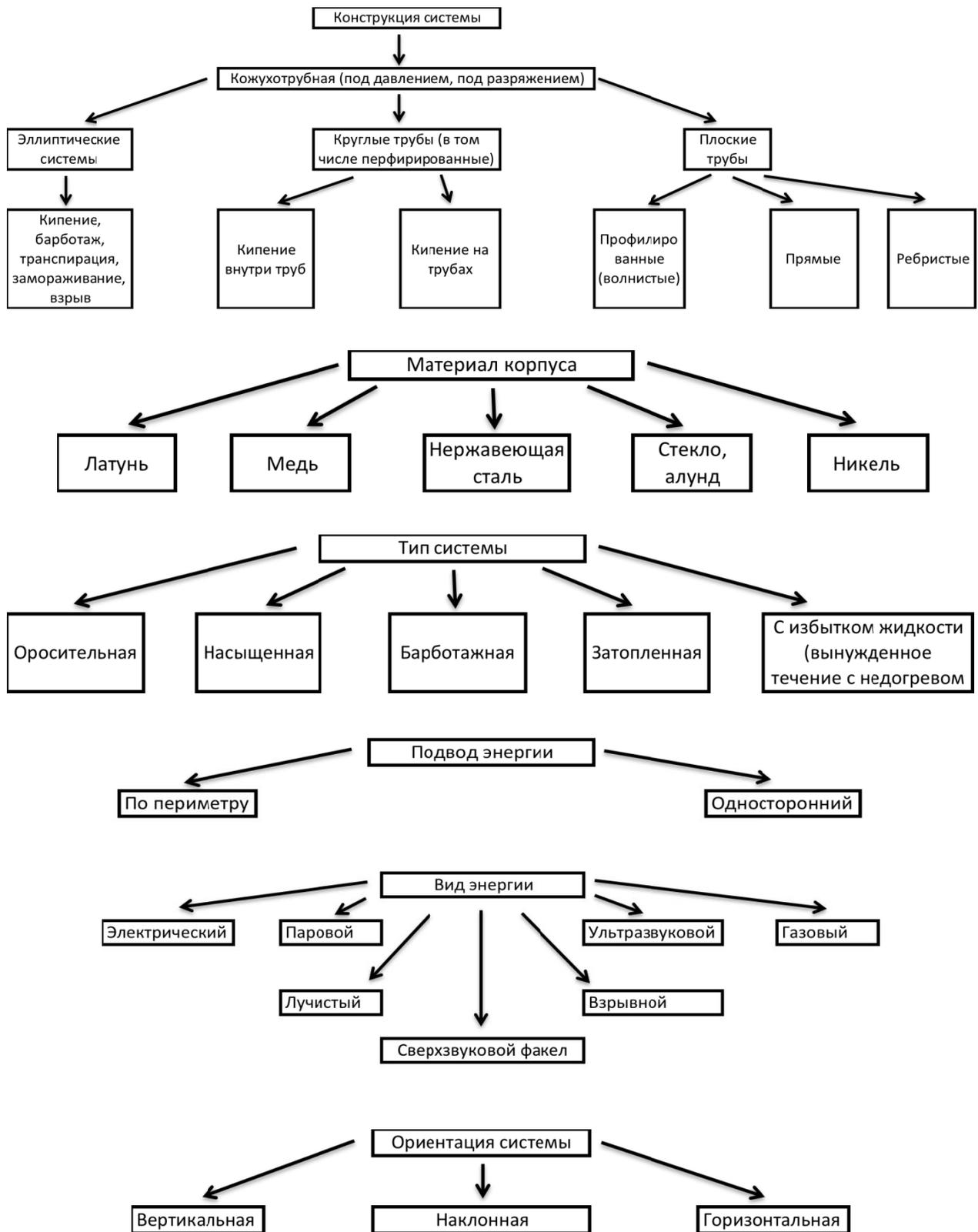


Рисунок 1 – Методика исследования различных факторов влияния на теплообмен капиллярно-пористых системах ТЭУ

Для определения предельных тепловых потоков и напряжений решается задача термоупругости [2, 7, 11] при граничных условиях второго рода для одномерного уравнения нестационарной теплопроводности.

Рассмотрим пластину толщиной $2h$. К поверхности $z = +h$, начиная с момента времени $t=0$, подводится постоянный удельный тепловой поток q . Нижняя поверхность $z = -h$ и боковые края пластины теплоизолированы.

Уравнения теплопроводности с граничными и начальными условиями запишется в виде:

$$\begin{aligned} d \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= \frac{\partial T}{\partial t} \\ T &= 0 \quad t < 0 \\ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} &= q, \quad z = +h \\ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} &= 0, \quad z = -h \end{aligned}$$

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

$$T\left(\frac{z}{h}; \tau\right) = q \left\{ \frac{M}{2(c\lambda g)_{cm}} \tau + \frac{3z^2}{h^2} + \frac{6z}{h-1} - \frac{4}{\pi^2 M} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \exp\left[-n^2 \frac{\pi^2 M^2}{4(c\lambda g)_{cm}} \tau\right] \cos \frac{n\pi}{2} \left(\frac{z}{h} + 1\right) \right\},$$

где $M = \frac{\lambda_{cm}}{h}$; n – целые положительные числа.

Зная распределение температуры в пластине, находим термические напряжения растяжения и сжатия, возникающие в некоторый момент времени τ на различной глубине от поверхности $\delta_i = (h=z_i)$ при данном значении теплового потока q , поскольку пластина с переменной по толщине температурой находится в плоско напряженном состоянии.

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = -\frac{\alpha E}{(1-\nu)} T\left(\frac{z}{h}; \tau\right) + \frac{1}{(1-\nu)2h} \int_{-h}^{+h} 2'ET\left(\frac{z}{h}; \tau\right) dz,$$

где первый член – составляющая напряжения сжатия, а второй – растяжения.

Задаваясь предельными значениями напряжения сжатия и растяжения для горной породы (пористые покрытия из естественной минеральной среды) и металла, получаем зависимость теплового потока, требуемого для разрушения, от времени подачи и глубины проникновения. Кроме того, приравнявая температуры на поверхности пластины к температуре плавления породы и металла, находим значения удельных тепловых потоков, необходимых для расплавления поверхностного слоя за различный промежуток времени их действия [2,7]:

плавление поверхности

$$q_1 = \frac{T_{пл.}}{\frac{M}{2(cg\lambda)_{cm}} \tau + \frac{2}{3M} - \frac{4}{\pi^2 M} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \exp\left[-n^2 \frac{\pi^2 M^2}{4(cg\lambda)_{cm}} \tau\right] \cos n\pi};$$

создание предельных напряжений сжатия

$$q_2 = \frac{(1-\nu)\sigma_{пр.сж.}}{\alpha E} \frac{M}{2c\lambda g_{cm}} \tau + \frac{3z^2}{h^2} + \frac{6z}{h-1} - \frac{4}{\pi^2 M} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \exp\left[-n^2 \frac{\pi^2 M^2}{4c\lambda g_{cm}} \tau\right] \cos \frac{n\pi}{2} \left(\frac{z}{h} + 1\right)$$

создания предельных напряжений растяжения

$$q_3 = \frac{(1 - \nu)\sigma_{пр.раст.}}{\frac{\alpha E}{M} \frac{\tau}{2c\lambda g_{cm}}}$$

где $M = \lambda_{ст}/h$ – параметр, n – целые положительные числа.

Зависимости величины q_1, q_2, q_3 от времени τ при фиксированных значениях размера частицы δ для покрытия, либо глубины проникновения температурных возмущений для металла, рассчитывались на ПК применительно к пластине, выполненным из кварца, гранита и металла (медь и нержавеющая сталь).

В формулах приняты следующие обозначения: q – удельный тепловой поток, Вт/м²; g – плотность, кг/м³; z – координата, м; T, t – температура, К; τ – время, с; δ – толщина, м; C – теплоемкость, кДж/кг·К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; G – напряжение (Н/м²); α – коэффициент линейного растяжения, К⁻¹; E – модуль Юнга, Н/м²; ν – коэффициент Пуассона; a – коэффициент температуропроводности, м²/с; $кр$ – критический (предельный); $пр. сж.$ – предельное состояние от сил сжатия; $пр. раст.$ – предельное состояние от сил растяжения.

Результат расчетов представлены на рисунках 2, 3. Максимальная толщина частиц, отрывающихся под действием сил сжатия для покрытий из гранита, составляет $(0,25-0,3) \cdot 10^{-2}$ м, что согласуется с результатами, полученными скоростной киносъемкой (рисунок 4). Участки кривых сжатия, определяющие отрыв частиц с размером $\delta > 0,3 \cdot 10^{-2}$ м для больших тепловых потоков и малых τ , экранируются кривой плавления, а в случае малых тепловых потоков и значительных интервалов времени – кривой растяжения.

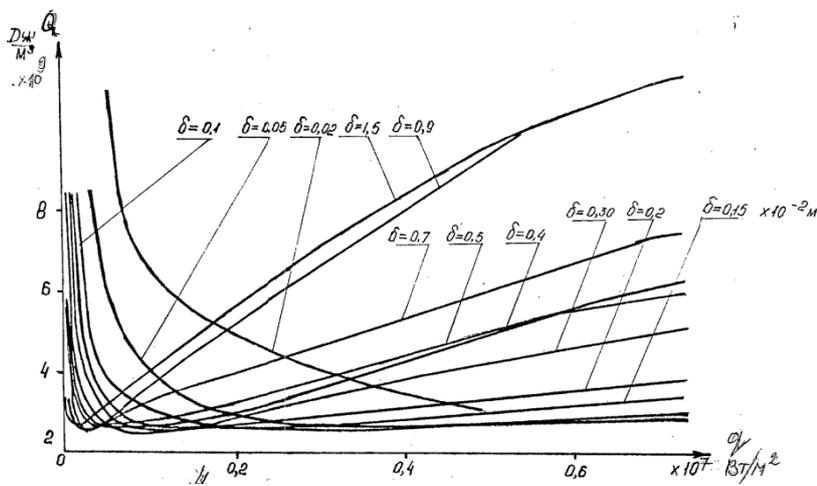


Рисунок 2 –
Изменение удельной энергии разрушения гранитного покрытия в зависимости от q для различных δ .
 $Q = q \cdot \tau / \delta$

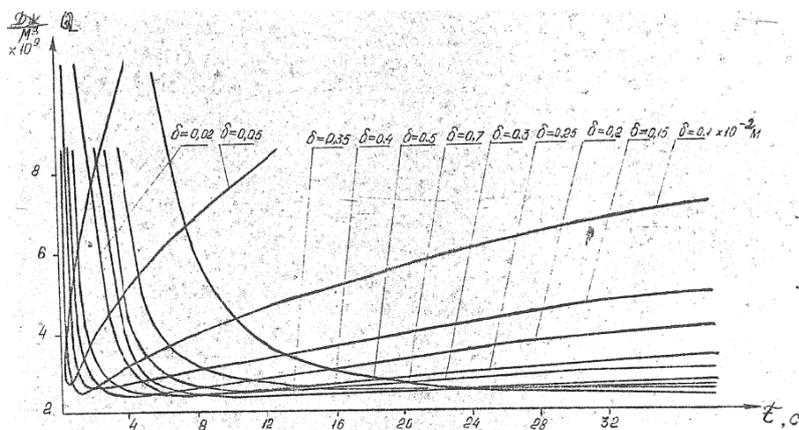


Рисунок 3 –
Изменение удельной энергии разрушения гранитного покрытия в зависимости от τ для различных δ

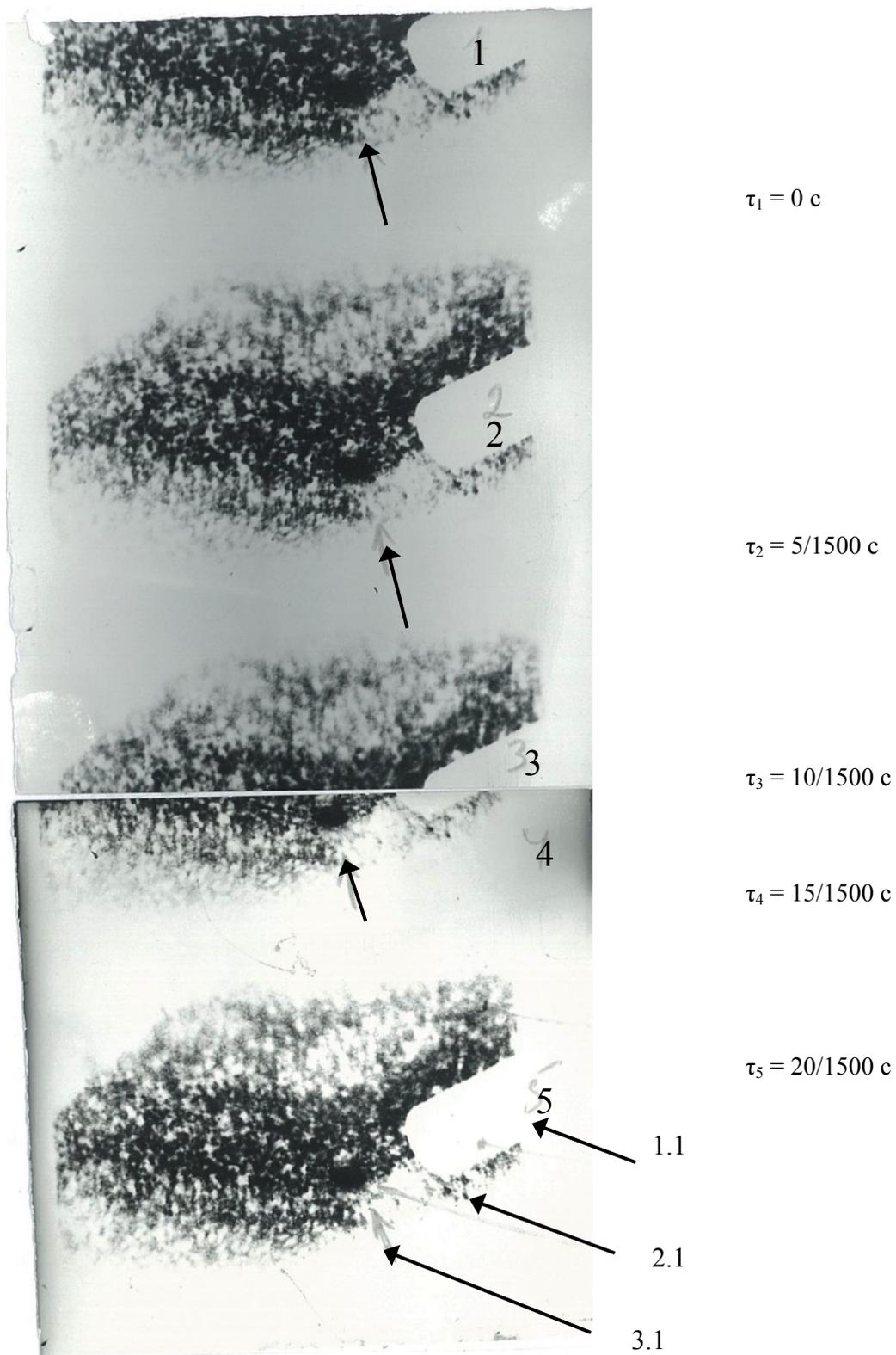


Рисунок 4 – Кинограмма полета (шелухи) размером $\delta = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м при разрушении частицы гранитного покрытия горелкой ракетного типа ($q = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$):
 1.1 – капиллярно-пористое покрытие; 2.1 – ствол горелки, из которого истекает сверхзвуковой высокотемпературный, пульсирующий детонационный поток газов; 3.1 – частица, оторванная от покрытия

Взаимосвязь напряжений сжатия и растяжения представляют собой эпюры напряжений внутри пластины для различных интервалов времени от начала рассматриваемого процесса. При малых τ , порядка 10^{-1} с, возникают только напряжения сжатия. Начиная с $\tau \approx 1$ с, в некоторой области Δ ($h-z_i$) до $0,3 \cdot 10^{-2}$ м, напряжения сжатия переходят в напряжения растяжения за весьма короткий промежуток времени, причем для различных интервалов времени они находятся на различной глубине от поверхности пластины. Верхним пределом устойчивого разрушения покрытия из кварца является -10^7 Вт/м², а из гранита – до $0,5 \cdot 10^7$ Вт/м², а нижним пределом, когда еще наблюдается отрыв частиц под действием термонапряжений сжатия – $0,25 \cdot 10^7$ и $0,05 \cdot 10^7$ Вт/м² соответственно. Разрушение анизотропной среды под действием направленного нагрева основано на неравномерном расширении ее составляющих (кристаллов). Нагреваемый слой породы покрытия увеличиваясь в объеме, начинает оказывать давление на соседние менее нагретые слои. Так как расширению во всех других направлениях препятствует реакция непрогретых слоев, то порода начинает свободно расширяться с открытой стороны и в силу своей перенапряженности отделяется и откалывается.

Если полости вакансий могут превращаться в дислокации, то обучаемое покрытие приобретает пластические свойства и не разрушается под действием факела. Таковые все металлы. Этим свойством обладают также и некоторые породы. Проведено тестирование с парогенерирующими металлическими поверхностями нагрева в момент кризиса кипения [2]. Для металлов кристаллы разрушаются при напряжениях до 10^{-5} В. Процесс разрушения состоит из стадий зарождения трещин и их развития. В результате термического воздействия зарождаются микротрещины в области концентраторов напряжений (включения, неоднородности, трещины). Высокие внутренние напряжения так же могут возникать вследствие неоднородного протекания пластической деформации, после чего возникает хрупкое разрушение. Пластическая деформация при этом рассматривается как первопричина разрушения, хотя она может задерживать рост трещин. В основе разрушения, с одной стороны, лежат разрывы связей, обусловленные тепловыми флуктуациями, а с другой – разрушение есть кинетический термоактивационный процесс, в основе которого лежит перемещение вакансий к трещинам, рост которых определяет кинетику разрушения.

На основе проведенных исследований в случае облучения факелом керосино-кислородной горелки пористого покрытия на рабочем участке имеем до $4 \cdot 10^7$ Вт/м², что соответствует q покрытий $0,4 \cdot 10^7$ Вт/м². Механизм разрушения металлов принципиально отличается от механизма разрушения покрытий из горных пород. Несмотря на это, на основе аналогии выявлены зависимости тепловых потоков от времени их действия и глубины проникновения температурных возмущений, что позволяет избежать кризиса кипения в системе охлаждения и обеспечить оптимальный подбор пористых покрытий малой пористости и теплопроводности. В перспективе требуется исследования других пористых природных материалов.

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. Предельные состояния поверхности при термическом воздействии // Теплофизика высоких температур. – 1991. Т.29, № 5. – С. 923-934.
- [3] Polyayev V., Genbach A. Control of Heat Transfer in a porous cooling System // Second world conference of 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 теплообменов в пористой структуре // Известия Российской академии наук. Энергетика и транспорт – 1992. Т 38. №6 – с 105-110
- [6] Генбач А.Н., Генбач А.А. Капиллярно-пористые системы в промышленности // Деп. рук. ВИНТИ. 1988. №8 (202). С. 181. – (КазНИИНТИ. 1987. №2105).
- [7] Генбач А.А. Двухфазные кипящие потоки в пористых структурах // Деп. рук. ВИНТИ. – 1989. №12 (218). С.178. (КазНИИНТИ). 1989. №2812.
- [8] Генбач А.А., Гнатченко Ю.А. Система охлаждения теплонагруженного элемента детонационного горелочного устройства – камеры сгорания, диффузора и конфузора // Вестник КазНТУ. – Алматы, 2007. №4, (61), июль. –С. 87-91.
- [9] Генбач А.А., Данильченко И. Пористый пароохладитель паровых котлов // Промышленность Казахстана, № 1(70), 2012. – с. 72 – 75.

- [10] Генбач А.А., Олжабаева К.С. Визуализация термического воздействия на пористой материал в ТЭУ ЭС // Вестник Национальной инженерной академии РК, № 3 (45), 2012. – с. 63 – 67.
- [11] Генбач А.А., Исламов Ф.А. Моделирование процесса задевания ротора турбины // Вестник КазНТУ, № 6 (100), 2013. – с. 235 – 240.
- [12] Генбач А.А., Генбач Н.А. Исследование капиллярно-пористых систем в тепловых энергетических установках электростанций // Вестник АУЭС. – 2011. №2 (13). – С. 57-62.

REFERENCES

- [1] Poljaev V.M., Genbach A.A. Skorost' rosta parovyh puzyrej v poristyh strukturah // Izvestija vuzov. Mashinostroenie. – 1990. №10 – S. 56-61.
- [2] Poljaev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. Predel'nye sostojanija poverhnosti pri termicheskom vozdejstvii // Teplofizika vysokih temperatur. – 1991. T.29, № 5. – S. 923-934.
- [3] Polyayev V., Genbach A. Control of Heat Transfer in a porous cooling System // Second world conference of experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics. – 1991. – Dubrovnik, Yugoslavia, 23 – 28, June. – p. 639 – 644.
- [4] Poljaev V.M., Genbach A.A. Oblasti primeneniya poristoj sistemy // Izvestija vuzov. Jenergetika. – 1991. № 12. – s. 97 – 101.
- [5] Poljaev V.M. Genbach A.A. Upravlenie teploobmenov v poristoj strukture // Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Jenergetika i transport – 1992. T 38. №6 – s 105-110
- [6] Genbach A.N., Genbach A.A. Kapilljarno-poristye sistemy v promyshlennosti // Dep. ruk. VINITI. 1988. №8 (202). S. 181. – (KazNIINTI. 1987. №2105).
- [7] Genbach A.A. Dvuhfaznye kipjashhie potoki v poristyh strukturah // Dep. ruk. VINITI. – 1989. №12 (218). S.178. (KazNIINTI). 1989.№2812.
- [8] Genbach A.A., Gnatchenko Ju.A. Sistema ohlazhdenija teplonagruzhenogo jelementa detonacionnogo gorelochnogo ustrojstva – kamery sgoranija, diffuzora i konfuzora // Vestnik KazNTU. – Almaty, 2007. №4, (61), ijul'. –S. 87-91.
- [9] Genbach A.A., Danil'chenko I. Poristyj parooxladitel' parovyh kotlov // Promyshlennost' Kazahstana, № 1 (70), 2012. – S. 72 – 75.
- [10] Genbach A.A., Olzhabaeva K.S. Vizualizacija termicheskogo vozdejstvija na poristoj material v TJeU JeS // Vestnik Nacional'noj inzhenernoj akademii RK, № 3 (45), 2012. – s. 63 – 67.
- [11] Genbach A.A., Islamov F.A. Modelirovanie processa zadevanija rotora turbiny // Vestnik KazNTU, № 6 (100), 2013. – s. 235 – 240.
- [12] Genbach A.A., Genbach N.A. Issledovanie kapilljarno-poristyh sistem v teplovyh jenergeticheskix ustanovkah jelektrostantsij // Vestnik AUJeS. – 2011. №2 (13). – S. 57-62.

А. А. Генбач¹, Д. Ю. Бондарцев²

¹Техникалық ғылым докторы, профессор АЭЖБУ,

²докторант АЭЖБУ, бас инженер АО «Трест Средазэнерго монтажа»

ТУРБИНАЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫ БИЛІК ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЖАСАУ ҒЫЛЫМИ ӘДІСІН ДАМУ

Аннотация. Энергетикалық жабдықтарды үшін капиллярлы кеуекті турбина жүйелер үшін әдістер мен құрылғыларды әзірлеу мақсатында жүргізіледі. Бұл металл шегі жылу ағыны, оқыған және гравитациялық және капиллярлық күштердің біріккен іс-қимыл бойынша жұмыс істейтін, гранит беттерді түрінде кеуекті құрылымдарды плохотеплопроводных зерттеудің ғылыми әдісі құрды. математикалық моделі термоупругостной тапсырмаға негізделген. Төмен кеуектілігі жабындарды плохотеплопроводных жылу алмасу ұқсас металл астарының үшін сынуы процестердің механизмі. анықталған құндылықтар нақты сынуы энергетикалық дағдарыс кеуекті салқындату жүйесінде кеңейту және кеуекті төмен жылу өткізгіштік жабу жақсы Сергектік және кеуектілігі қамтамасыз мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жылуалмасу, кеуектік құрылым, жылу электрстанция.

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 10.10.2017.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
15,4 п.л. Тираж 2000. Заказ 5.