

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

ISSN 2224-5227

Volume 5, Number 309 (2016), 139 – 145

A.A. Genbach, N.O. JamankulovaAlmaty University of Power Engineering & Telecommunications,
Almaty, the Republic of Kazakhstan
dnellya@mail.ru**STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER IN CAPILLARY-POROUS
COOLING SYSTEMS OF A NEW CLASS OF ENERGY THERMAL
INSTALLATIONS**

Abstract. A capillary-porous cooling system of the new class for thermal energy installations has been developed and researched. It allows controlling the heat transfer by separating energy processes, and creating the underheating and flow rate by changing the internal (thermal hydraulic) characteristics of the boiling process due to excess of fluid. An algorithm for the study of the influence of various factors on the process of heat and mass transfer (type and circulation of heat-cold carrier; system design; housing material; the type of system; supply and type of energy; system orientation) is presented. A list of applying porous systems to various energy installations, aiming at increasing their reliability, efficiency and the maneuverability taking into account the ecology is presented; the scheme of location to capillary porous structure and performance of the clamping perforated plates has been designed. A critical heat flux, depending on the thermophysical properties of the fluid, the distance between the steam conglomerates, the type of porous structure and its orientation has been obtained.

Key words: capillary-porous system; heat and mass transfer processes; critical heat flux; thermal energy installations.

УДК 536.248.2

А.А. Генбач, Н.О. Джаманкулова

Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Республика Казахстан

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В КАПИЛЛЯРНО-
ПОРИСТЫХ СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ НОВОГО КЛАССА
ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК**

Аннотация. Разработана и исследована теплоотводящая капиллярно-пористая система охлаждения нового класса применительно к различным тепловым энергоустановкам. Она позволяет управлять теплопередачей путем разделения энергетических процессов, а также за счет избытка жидкости создавать недогрев и скорость потока, изменяя внутренние (термогидравлические) характеристики процесса кипения. Приводится алгоритм по исследованию влияния различных факторов на процесс тепломассообмена (вид и циркуляция теплохолодоносителя; конструкции системы; материал корпуса; тип системы; подвод и вид энергии; ориентация системы). Дан перечень разработок пористой системы к различным энергоустановкам с целью повышения их надежности, экономичности и маневренности с учетом экологии и разработана схема расположения капиллярно-пористой структуры и выполнения прижимных перфорированных пластин. Получен на основе гидродинамического кризиса критический тепловой поток в зависимости от теплофизических свойств жидкости, расстояния между паровыми конгломератами, вида пористой структуры и ее ориентации.

Ключевые слова: капиллярно-пористая система; процессы тепломассообмена; критический тепловой поток; тепловые энергоустановки.

В предложенных и исследуемых капиллярно-пористых системах организуется управление теплопередачей, что позволяет их выделить в новый класс теплоотводящих систем.

Для управления энергетическими процессами предлагается разделить общую энергию на две составляющие: энергию тепловой волны, взрывообразно возникшего парового зародыша и энергию сжатого парового потока, что также важно для моделирования и аналогии процессов кипения в порах структуры (покрытия) [1]. Повышению форсировки системы охлаждения и интенсификации процессов способствует использование совместного действия массовых и капиллярных сил, создающих избыток жидкости в структуре с недогревом вынужденной скоростью потока [2-4]. При этом происходит управление интегральными, а также внутренними характеристиками процесса кипения [3,4]. В случае кризиса кипения исследуется предельное и запредельное состояние поверхности нагрева и покрывающей ее пористой структуры [3,5-7].

Исследования процессов теплопередачи используются в тепловых энергоустановках: камерах сгорания и сверхзвуковых соплах [3], эллиптических пыле-газоуловителях [5], в пористых геозкранах [8], пароохладителях паровых котлов [9], маслоохладителях турбин [10], в паровых и газовых турбинах [11-14].

Заслуживает внимание исследование динамики неоднородных (гетерогенных) многофазных сред. Они содержат макроскопические неоднородности (включения), тогда как в гомогенных средах составляющие перемешаны на молекулярном уровне. Среди гетерогенных систем представляют интерес дисперсные смеси, состоящие из двух фаз, одна из которых – пузыри, капли, твердые частицы [2,3,5]. Делают два основных допущения: размеры неоднородностей (включений) в смеси, например, размер пузыря или длина волны, во много раз больше молекулярно-кинетических размеров, в то же время размеры неоднородностей во много раз меньше расстояний, на которых осредненные (макроскопические) параметры смеси или фаз меняются существенно. Эти допущения позволяют использовать уравнения механики сплошных однофазных сред для описания процессов внутри или около отдельных включений (микропроцессы) и описывать макропроцессы в среде, такие как течение среды в пористой структуре, распределение в них волн, характеризуя процессы интегральными (осредненными или макроскопическими) параметрами. Однако аналитических решений для кипящих потоков нет. Поэтому проведенное изучение процессов оптическими методами в околофитильном пространстве и в капиллярно-пористой структуре, а также в области паровых пузырей необходимо для замыкания осредненных уравнений движения дисперсных сред. Поэтому нами определены значения тепловых потоков, коэффициентов теплоотдачи и проницаемости пористых структур, выброс жидкости из структуры [3,6,10,14].

Ряд эффектов, протекающих с малой концентрацией дисперсной фазы, количественно могут быть описаны формулами для двухфазных потоков. К таким эффектам относятся процессы паропеногенерации, пылеулавливания, разрушения материалов закрученными потоками газовзвесей [5].

В средах с фазовыми переходами возможно рассчитывать пористые эллиптические системы при прохождении сильных волн с давлениями (1-100) ГПа в металлах, минералах, полимерах, сосредоточенных во втором фокусе эллиптического тороида (в мишени). При этом образуются новые вещества, их модификации и фазы, упрочняются металлы, реализуются процессы синтеза. В одном устройстве одновременно можно получать давления, резко отличающиеся друг от друга: в газовой смеси – до 10 МПа, а в жидкости и твердом веществе – 10^5 МПа и более [1].

Многофазность потоков, особенно при наличии капиллярно-пористых покрытий, в полной мере находит отражение в полях массовых и вибрационных сил, и проявляются с наибольшей полнотой при распространении волн растяжения и сжатия, которые могут быть управляемыми в разработанных нами пористых эллиптических системах. Аналитическое решение распространения волн в двухфазных парожидкостных смесях, где рассмотрены особенности движения волн в смесях газа с каплями или частицами, важно для предложенных нами эллиптических пористых многофазных пыле-газоуловителей и теплообменников [1,5].

В волновых течениях парожидкостных потоков, кроме размазанных волн, характерных для газовзвесей (газ, частицы, капли), имеют место волны с осцилляционной структурой со схлопывающимися и дробящимися пузырями, которые возникают из-за радиальных пульсаций пузырей и сильно зависят от характера процессов тепломассопереноса. К тому же при фильтрации многофазных жидкостей появляются кинематические волны.

За счет вибрационного воздействия на многофазные жидкости многократно

интенсифицируются процессы тепломассопереноса, особенно в резонансных режимах.

Области практического применения капиллярно-пористых систем нами защищены патентами и авторскими свидетельствами на изобретения [3,5,8,9,11,13].

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.

Капиллярно-пористые системы позволяют достигнуть экономии топлива, сырья, воздуха, воды, тепла; повысить надежность охлаждения и взрывопожаробезопасность работы оборудования; способствовать высокоэффективному разрушению горных пород, бетонов, металлов; уменьшить низкотемпературную коррозию поверхностей; сократить загрязнения биосферы ядовитыми газами, пылью, теплом; ускорить решение проблем продовольственной программы; получить большой экономический и социальный эффекты в области экологии и охраны труда [13].

Основными преимуществами капиллярно-пористых систем являются высокая интенсивность, большая теплопередающая способность, надежность, компактность, простота в изготовлении и эксплуатации; они улучшают режимные и технологические показатели и имеют невысокие капитальные и эксплуатационные расходы.

Для внедрения разработки исследовалось влияние различных факторов на процессы тепломассообмена в различных капиллярно-пористых системах тепловых энергоустановок (ТЭУ) (рис. 1).

Для повышения надежности, экономичности и маневренности энергоустановок с учетом экологии эффективны [3,5,8-13]:

1. Сепарирование влаги в ступени капиллярно-пористой структурой;
2. Проведение гидрогазодинамики, массообмена двухфазных потоков в ступени при наличии пористых вставок (естественных и искусственных);
3. Организация движения частиц влаги жидких 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. Детонационное горение в пористых образованиях в камерах ГТУ;
8. Утилизация тепла в ГТУ тепловыми трубами;
9. Голографирование деформаций и тепловых расширений в узлах статора и ротора турбины с целью диагностики;
10. Пористое охлаждение элементов ротора турбины при ее пуске и останове;
11. Пористое охлаждение статора турбины при ее пуске и останове;
12. Повышение маневренности турбины за счет применения пористых систем;
13. Защита валопровода турбины от землетрясений пористыми энергоразделителями;
14. Резка 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. Голографическое диагностирование валопровода турбины;
18. Голографическое диагностирование двухфазных потоков в турбинной ступени;
19. Установка пористых экранов диафрагм первых ступеней ЦВД и ЦСД;
20. Фотоупругостное диагностирование валопровода, дисков, лабиринтовых уплотнений;
21. Применение 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. Крепеж шпилек фланцевых соединений турбин тепловыми трубами;
24. Управление масляной пленкой в подшипниках турбин капиллярно-пористыми структурами;

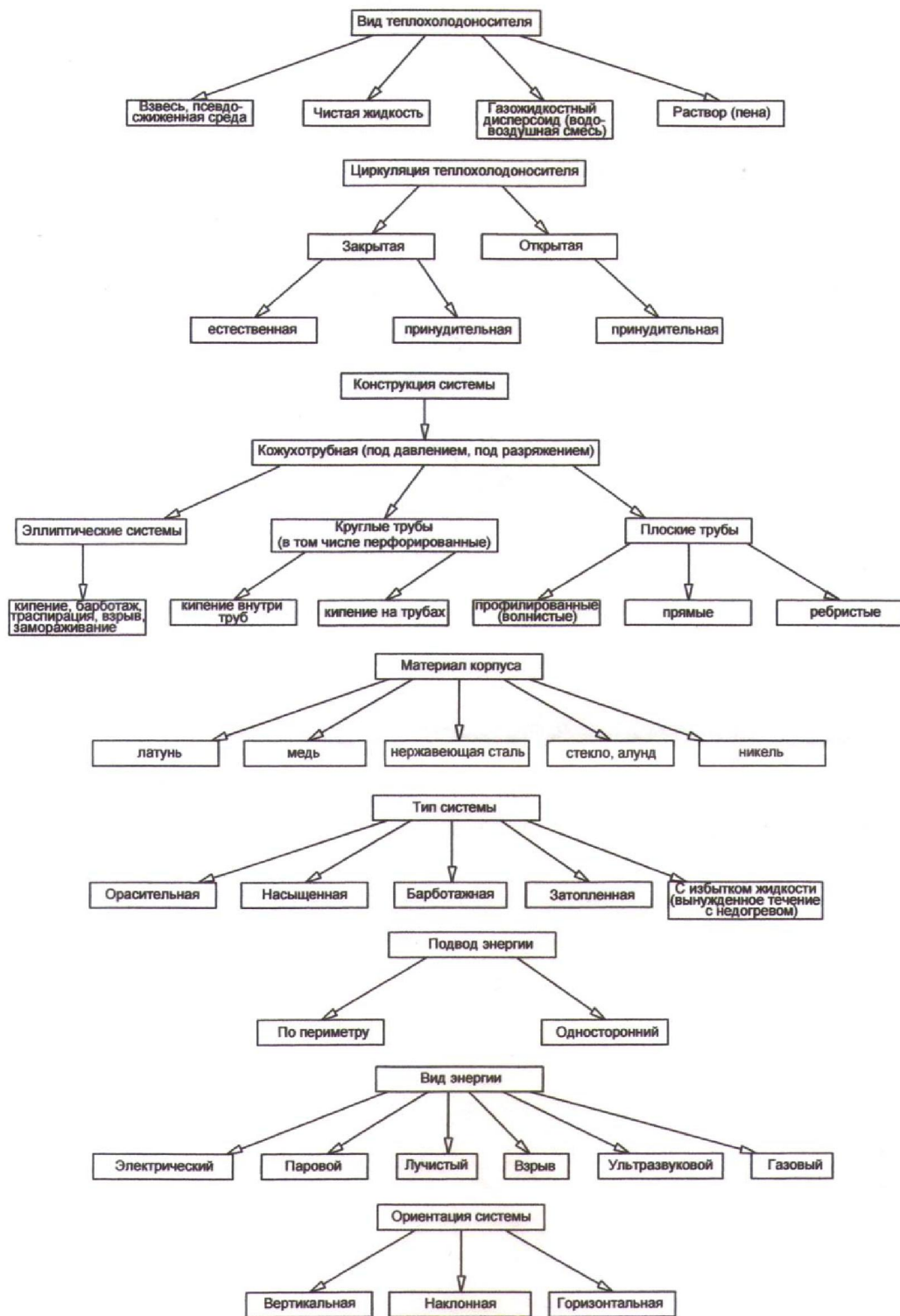


Рисунок 1 - Исследование влияния различных факторов на процессы теплообмена в различных капиллярно-пористых системах ТЭУ

25. Ускорение пуска и останова турбины за счет применения пористых систем;
26. Борьба с шумом и вибрацией пористыми системами;
27. Управление малоцикловой усталостью в зонах концентраторов напряжений элементов ротора и статора турбины с помощью пористых систем;
28. Повышение виброустойчивости лабиринтовых уплотнений с помощью пористых систем;

29. Борьба со стеснением тепловых расширений турбины на фундаменте с помощью пористых систем;
30. Реализация изотермического цикла расширения пара в турбине с помощью пористых систем;
31. Повышение надежности работы лопаточного аппарата при вибрационных режимах при установке пористых вставок;
32. Управление поведением многопролетных валопроводов, вращающихся на масляной пленке, путем применения пористых систем;
33. Повышение прочности деталей турбины при нестационарных тепловых режимах (переменные и переходные режимы) за счет их охлаждения пористыми структурами;
34. Управление осевым усилием путем применения пористой системы;
35. Повышение надежности работы регулирующей и последней ступени за счет применения пористой структуры;
36. Управление температурным полем выхлопного патрубка турбины при ее разгрузке с помощью пористой структуры;
37. Управление предельной деформацией ротора относительно статора при переходных режимах за счет пористой системы;
38. Управление тепловым изгибом ротора с помощью пористой системы;
39. Управление деформацией корпуса турбины вследствие несимметричного прогрева пористой системы;
40. Снижение пусковых потерь топлива за счет управления тепловым состоянием турбины пористой системой;
41. Управление масляной пленкой подшипников для борьбы с низкочастотной вибрацией (самоподдерживающейся прецессией вала) с помощью пористой системы;
42. Борьба с хрупким внезапным разрушением ротора путем управления пуском турбины посредством пористой системы.

Рассмотрим конструктивное исполнение пористой системы (рис. 2) для теплообменника коробчатой формы. Теплообменник состоит из корпуса и съемной крышки, герметично скрепляемых по периметру болтами. Внутренняя поверхность стенки покрыта капиллярно-пористой структурой 1, прижатой перфорированными пластинами 3. Артерии 2 соединены с верхними концами структуры, через торец которой к охлаждаемой поверхности подается жидкость массовыми и капиллярными силами. Нижние концы структуры обычно свободны и погружены в корытца 4, где скапливается жидкость за счет утечек, каплеуноса или избытка. На поверхности пластин выштампованы углубления с отверстиями, которые обеспечивают выход пара из структуры в канал, а также служат уловителями выбрасываемых из структуры капель и стекающей избыточной жидкости по внешней поверхности пластины. Артерия соединена с патрубком, с разводящими трубами и коллектором. Избыток охлаждающей жидкости скапливается в нижней части и сифоном удаляется в нижний коллектор, и далее в накопитель для возврата в систему. С целью облегчения конструкции и сохранения достаточной жидкости кессоны снабжаются распорками, выполненными в виде Z-образных перфорированных пластин или ребрами жесткости. Ребра могут располагаться снаружи или внутри корпуса и крышки. На крышке, в верхней ее части, приварены патрубки с фланцами для соединения с паропроводом. Структура может быть вытянутой в вертикальном (*a*) или горизонтальном направлении, верхний или нижний концы которой (либо оба) соединены с артерией (*a, б*). Перфорированные пластины (*в, з*) изготавливаются по форме и размерам в соответствии со структурой. Выштампованные перфорированные углубления в них могут иметь форму усеченного конуса (*в*), либо продольных пазов с отверстиями, обращенных вверх (*з*).

В капиллярно-пористой системе охлаждения наличие массовых сил позволяет обеспечить подвод охлаждающей жидкости к обогреваемой поверхности при высоких тепловых нагрузках ($\sim 1 \cdot 10^6$ Вт/м²) и создает вблизи стенки устойчивый двухфазный пограничный слой. В пористой структуре содержится весьма малое количество жидкости, что до 80 раз экономит расход воды, имеет экологическое значение и обеспечивает взрывобезопасность.

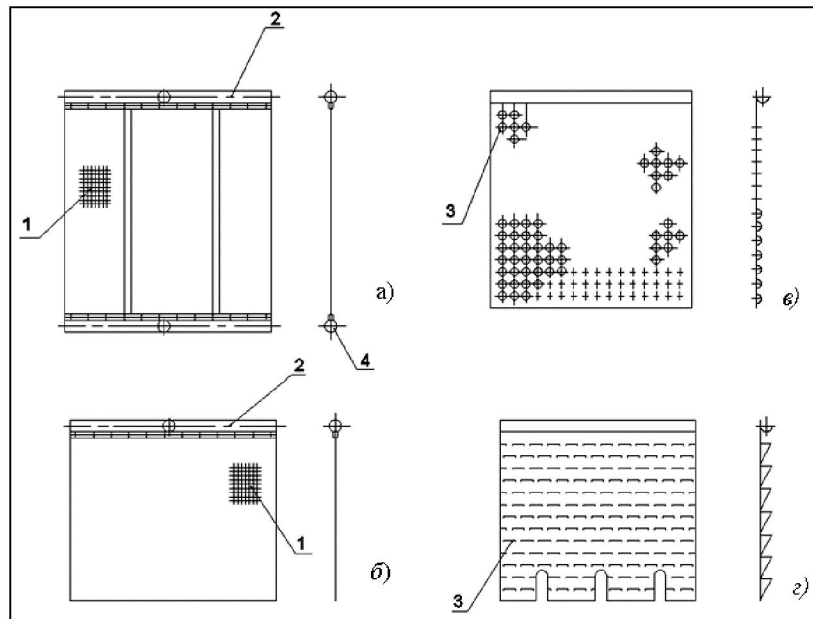


Рисунок 2 - Расположение капиллярно-пористой структуры (а,б) и конструктивное выполнение прижимных перфорированных пластин (в,г): 1 – капиллярно-пористая структура; 2 – питающая артерия; 3 - прижимные перфорированные пластины; 4 – корытце.

Критический тепловой поток $q_{кр}$ для оптимизированных сетчатых структур, работающих на воде, получен на основе гидродинамического кризиса, а постоянная определена путем голографических исследований для $P \geq 0,1$ МПа и в СИ имеет вид:

$$q_{кр} = 3,47 \times 10^{-2} r [g(\rho' - \rho'')\rho'' D_0]^{0,5} \left(\frac{b}{b_0}\right)^{0,3} \left(\frac{\delta}{\delta_0}\right)^{0,5} (1 + \cos \beta)^{0,6},$$

где r – теплота парообразования; g – ускорение свободного падения; ρ' , ρ'' – плотность пара и жидкости; b , δ – ширина ячейки и толщина структуры; D_0 – расстояние вдоль поверхности теплообмена между паровыми конгломератами; β – угол наклона системы к вертикали; $b_0 = 0,284 \cdot 10^{-3}$ м; $\delta_0 = 0,184 \cdot 10^{-3}$ м; $0,284 \cdot 10^{-3}$ м $\leq b \leq 0,554 \cdot 10^{-3}$ м.

В случае, когда $0,084 \cdot 10^{-3}$ м $\leq b \leq 0,284 \cdot 10^{-3}$ м, постоянная возрастает до величины $4,544 \cdot 10^{-2}$, а показатели степеней симплексов b и δ имеют знак минус.

Капиллярно-пористая система охлаждения заменяет водяную систему, лишена ее существенных недостатков (взрывоопасность, перерасход воды, заболевания ревматизмом работающих, возникновение циклических напряжений в стенке) и обладает следующими положительными качествами: самоприспосабливаемость, способность стабилизировать температуру теплонапряженных поверхностей, компактность, простота, надежность, обеспечение экологической чистоты окружающей среды при дальнейшей экономии природных ресурсов (воды).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Polyayev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. Methods of Monitoring Energy Process//Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics, Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics. Avenue of the Americas. -New York, 1995.V.10, April. P. 273-286.
- [2] Polyayev V., Genbach A. Heat Transfer in a Porous System in the Presence of Both Capillary and Gravity Forces // Thermal Engineering, M., 1993, V.40, No. 7. P.551-554.
- [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., 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.
- [5] Поляев В.М., Генбач А.А., Минашкин Д.В. Процессы в пористом эллиптическом теплообменнике // Известия вузов. Машиностроение. – 1991. – № 4-6. – С.73-77.
- [6] Поляев В.М., Генбач А.А. Анализ законов трения и теплообмена в пористой структуре // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. – 1991. №4. – С.86-96.
- [7] Поляев В.М., Генбач А.А., Бочарова И.Н. Влияние давления на интенсивность теплообмена в пористой системе // Известия вузов. Машиностроение. – 1992. № 4-6. -С.68-72.

- [8] Генбач А.А., Бакытжанова И.Б. Защита от землетрясений фундаментов ТЭС с помощью пористых геозанов // Поиск, МОН РК, - 2012, № 1(2). – С.289-298.
- [9] Генбач А.А., Данильченко И. Пористый пароохладитель паровых котлов // Промышленность Казахстана. - 2012. – №1 (70). – С.72-75.
- [10] Генбач А.А., Олжабаева К.С. Визуализация термического воздействия на пористый материал в ТЭУ ЭС // Вестник КазНТУ, 2012, № 3 (45), -С. 63-67.
- [11] Генбач А.А., Исламов Ф.А. Исследование присопловой галтели в электроустановках // Вестник КазНТУ, – 2013, – № 3 (97), – С. 245-248.
- [12] Генбач А.А., Исламов Ф.А. Моделирование процесса задевания турбины // Вестник КазНТУ, 2013, № 6 (100), С. 235-240.
- [13] Поляев В.М., Генбач А.А. Области применения пористой системы. // Известия вузов. Энергетика. – 1991. – №12. – С.97-101.
- [14] 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.

REFERENCES

- [1] Polyayev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. Methods of Monitoring Energy Process // *Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics, Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics. Avenue of the Americas. New York, 1995*, V.10, April, pp. 273-286. (in Eng.).
- [2] Polyayev V., Genbach A. Heat Transfer in a Porous System in the Presence of Both Capillary and Gravity Forces // *Thermal Engineering. M., 1993*, V.40, No. 7, pp. 551-554. (in Eng.).
- [3] Polyayev V. M., Genbach A.N., Genbach A.A. A limit condition of a surface at thermal influence, *TVT, 1991*, V.29, № 5, pp. 923-934. (in Russ.).
- [4] Polyayev 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, pp. 639-644. (in Russ.).
- [5] Polyayev V.M., Genbach A.A., Minashkin D.V. Processy v poristom ellipticheskom teploobmennike. *Isvestiya vuzov. Mashinostroyeniye, 1991*, № 4-6, pp.73-77. (in Russ.).
- [6] Polyayev V.M., Genbach A.A. Analiz zakonov treniya i teploobmena v poristoy structure. *Vestnik MGTU. Ser. Mashinostroyeniye, 1991*, № 4, pp. 86-96. (in Russ.).
- [7] Polyayev V.M., Genbach A.A., Bocharova E.N. Vliyanie davleniya na intensivnost teploobmena v poristoy sisteme. *Isvestiya vuzov. Mashinostroyeniye, 1992*, № 4-6, pp. 68-72. (in Russ.).
- [8] Genbach A.A., Bakytzhanov E.B. Zashita ot zemletryaseniy fundamentov TES s pomoshyu poristyh geozanov. *Poisk, MON RK, 2012*, № 1(2), pp. 289-298. (in Russ.).
- [9] Genbach A.A., Danilchenko I. Poristy parookhladitel parovyh kotlov. *Promyshlenost Kazakhstana, 2012*, № 1 (70), pp. 72-75. (in Russ.).
- [10] Genbach A.A., Olzhabaeva K.S. Vizualizatsiya termicheskogo vosdeystviya na poristy material v TEU ES. *Vestnik KazNTU, 2012*, № 3 (45), pp. 63-67. (in Russ.).
- [11] Genbach A.A., Islamov F.A. Issledovaniye prisoplovoy galteli v elektroustanovkah. *Vestnik KazNTU, 2013*, № 3 (97), pp. 245-248. (in Russ.).
- [12] Genbach A.A., Islamov F.A. Modelirovaniye processa zadevaniya turbiny, *Vestnik KazNTU, 2013*, № 6 (100), pp. 235-240. (in Russ.).
- [13] Polyayev V.M., Genbach A.A. Oblasti primeneniya poristoy sistemy. *Isvestiya vuzov. Energetika, 1991*, № 12, pp. 97-101. (in Russ.).
- [14] Polyayev V.M., Genbach A.A. Upravleniye teploobmenom v poristyh strukturah. *Isvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika i transport, 1992*, V.38, №6. pp. 105-110. (in Russ.).

А.А. Генбач, Н.О. Джаманкулова

Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы

**ЖЫЛУ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ КАПИЛЛЯРЛЫҚ-КЕУЕКТІК ЖАҢА КЛАСТЫ
САЛҚЫНДАТУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ЖЫЛУМАССААЛМАСУДЫ ЗЕРТТЕУ**

Аннотация. Өртүрлі жылулық энергетикалық қондырғыларда қолданылатын салқындату жүйесінің жылу өткізгіш капиллярлық-кеуектік түрдегі жаңа класы құрастырылып, зерттелген. Мұндай жүйе энергетикалық процестерді бөлу арқылы жылу берілуін басқарады, сонымен қатар, сұйықтың артық мөлшері есебінен, қайнау процесінің ішкі (термогидравликалық) сипаттамаларын өзгерте отырып, ағынның қызып кетпеуіне және ағу жылдамдығын арттыруға мүмкіндік жасайды. Жылу алмасу процесіне (түріне және жылу- мен салқын-тасымалдағыштың айналымына; жүйенің конструкциясына; корпусының материалына; жүйенің түріне; энергияның келуіне және түріне; жүйенің бағыт бағдарына) әсер ететін әртүрлі факторларды зерттеу алгоритмі келтіріледі. Экология жағдайларын ескере отырып, жүйенің сенімділігі мен тиімділігін, оңтайлылығын арттыру мақсатында әртүрлі энергетикалық қондырғыларда қолданылатын кеуектік жүйені жасау тізімі берілген және капиллярлық-кеуектік құрылымның орналасу сұлбасы жетілдіріліп, қысқаш перфорациялық қабатты орындау сұлбасы жасалған. Гидродинамикалық дағдарыс негізінде сұйықтың жылу физикалық қасиеттеріне, булық конгломераттар арасының қалыңдығына, кеуектік құрылымның түріне және оның бағыт бағдарына тәуелді болатын дағдарыстық жылулық ағын алынды.

Түйін сөздер: капиллярлық-кеуектік жүйе, жылуалмасу процестері, дағдарысты жылулық ағын, жылулық энергетикалық қондырғылар.