

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 6, Number 420 (2016), 102 – 108

A. A. Genbach, K. S. Olzhabaeva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Olzhabaeva.k@mail.ru

**STUDIES OF INTERNAL BOILING CHARACTERISTICS
OF THE CAPILLARY-POROUS STRUCTURES OF POWER PLANTS
BY HIGH-SPEED CINEMATOGRAPHY AND HOLOGRAPHY**

Key words: heat flow; heat transfer; porous structure; thermal power stations.

Abstract. We give stands for investigation of internal (thermal-hydraulic) fluid boiling characteristics in capillary-porous structures. As the optical methods used by high-speed camera filming SCS - 1M and holographic interferometry. The estimation of heat transfer coefficients and the list of heat exchangers with capillary-porous coatings. Described engineering calculation of workers and limiting characteristics of porous systems. We give a split-second process heat- and mass transfer for various wicks, specific heat flow and cooling costs. Fragments of the split-second illustrate the ejection of droplets from the wick, excess droplets, vapor bubbles in the structure of cells.

УДК 536.421.1

A. A. Генбач, К. С. Олжабаева

Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ХАРАКТЕРИСТИК КИПЕНИЯ
В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРУКТУРАХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК
МЕТОДОМ СКОРОСТНОЙ КИНОСЪЕМКИ И ГОЛОГРАФИИ**

Аннотация. Приводятся стенды для исследования внутренних (термогидравлических) характеристик кипения жидкости в капиллярно-пористых структурах. В качестве оптических методов использовались скоростная киносъемка камерой СКС – 1М и голографическая интерферометрия. Дана оценка коэффициентов теплопередачи и перечень теплообменников с капиллярно-пористыми покрытиями. Описан инженерный расчет рабочих и предельных характеристик пористых систем. Приводятся кинограммы процессов тепло- и массопереноса для различных фитилей, удельных тепловых потоков и расходов охладителя. Фрагменты из кинограммы иллюстрируют выброс капель из фитиля, избыточные капли, паровые пузыри в ячейках структуры.

Ключевые слова: тепловой поток; теплопередача; пористая структура; тепловые электрические станции.

Разработка методов управления быстропротекающими процессами [1] позволяет моделировать внутренние (термогидравлические) характеристики процесса кипения жидкости в капиллярно-пористых структурах, например, взрывообразное «рождение» («гибель») паровых пузырей и капель, распространение тепловых волн и легкой фазы (пара).

Происходит интенсификация процессов тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых структурах, работающих при совместном действии капиллярных и массовых сил [2].

Для расчета тепловых потоков и коэффициентов теплопередачи требуется знания внутренних характеристик кипения, таких как плотность центров парообразования, выброс капель жидкости из структур, [3] отрывной диаметр и частоту отрыва пузырей, время их «жизни» и «молчания» [4].

Механизм кипения изучается для начальной [5], развитой [6] и критической [7, 8] областей (режимов) и обобщается в виде критериальных уравнений теплообмена и гидродинамики [9].

Ориентировочные значения коэффициентов теплопередачи K , Вт/м²·К, в теплообменных устройствах энергоустановок можно представить в общем виде:

1. При нагревании и охлаждении воздуха = 1...50;
2. При нагревании и охлаждении перегретого пара = 20...100;
3. При нагревании и охлаждении масел = 50...1500;
4. При нагревании и охлаждении воды = 200...10000;
5. При кипении = 500...45000;
6. При пленочной конденсации водяных паров = 4000...15000;
7. При капельной конденсации водяных паров = 40000...120000;
8. При теплопередаче от газа к газу 25;
9. При теплопередаче от газа к воде 50;
10. При теплопередаче от воды к воде 1000;
11. При теплопередаче от конденсирующихся паров к воде 3500.

Для повышения надежности и эффективности стационарных теплообменников ТЭУ ТЭС с учетом экологии полезны следующие устройства [1. 6-9]:

- 1) Конденсаторы турбин на пористых структурах;
- 2) Интенсификаторы деаэрации в конденсата-сборниках;
- 3) Утилизация сбросной теплоты путём применения «триады»: тепловые трубы, вихревые трубы, тепловые насосы, создание ТЭС без градирен и без дымовых труб;
- 4) Градирни с пористыми элементами;
- 5) Пористые вставки для борьбы с кавитацией в конденсатных и питательных насосах;
- 6) Интенсификаторы теплообмена в ПВД и в ПНД с пористыми элементами;
- 7) Пористые структуры в деаэраторах, повышающие эффективность дегазации;
- 8) Пористые структуры для повышения эффективности сепарации пара и теплообмена в сепараторах-пароперегревателях (ССП);
- 9) Маслоохладители на тепловых трубках, исключающие попадание масла в воду и наоборот;
- 10) Пористые маслоохладители;
- 11) Барботеры в пористых деаэраторах;
- 12) Пористые испарители;
- 13) Тепловые трубы в тепличном хозяйстве ТЭС (управление фенофазами цветения, пористый полив, хранение плодов);
- 14) Волнистые пористые двухфазные теплообменники;
- 15) Пористые сетевые подогреватели;
- 16) Пористые отопители;
- 17) Пористые теплообменники на эффекте Коанда;
- 18) Пористые теплообменники в виде пенетратора;
- 19) Пористые теплообменники, использующие эффект разделения, концентрации, транспорта, стока и управления энергиями волны и газов;
- 20) Теплообменники на основе управляемых гибких пористых структур.

Инженерный расчет рабочих и предельных характеристик капиллярно-пористой системы охлаждения может быть выполнен с использованием номограммного метода [2].

Для построения характеристик предварительно определяют геометрические параметры охлаждающей системы пористой структуры.

Расчет производится на основе соотношения для тепловой мощности

$$Q = \frac{T_{cm}^u - T_{cm}^k}{\frac{1}{\alpha_u \cdot F_u} + \frac{1}{\alpha_k \cdot F}}, \text{ Вт.}$$

Величина коэффициента теплообмена испарителя α_u определяется по критериальному уравнению, либо по расчетным зависимостям [2, 6-9].

Задаваясь температурой стенки в конденсаторе $T_{cm}^k = const$ для ряда значений температуры пара T_n , определяют необходимые физические параметры жидкости в конденсаторе и строится график $\alpha_k = f(T_n)$. Из формулы

$$Q = \alpha_k \cdot F_k (T_n - T_{жс}^k), \text{ Вт},$$

где $T_{жс}^k = 0,5(T_n + T_{жс}^k)$, находятся для ряда значений T_n соответствующие значения Q ; α_k – коэффициент теплоотдачи в конденсаторе; F_k – поверхность конденсатора.

Задаваясь несколькими T_{cm}^u , определяют параметры жидкости в испарителе при выбранной температуре пара и строят графики для $\alpha_u = f(T_{cm}^u)$ по упомянутым формулам и по формуле

$$\alpha_u = \frac{Q}{(T_{cm}^u - T_n)F_u}, \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Точка пересечения кривых дает искомую температуру T_{cm}^u .

Таким образом, может быть нанесена сетка эквидистантных линий в плоскости $Q = f(T_{cm}^u)$ для различных значений T_{cm}^u , причем следует учитывать теплопередающие возможности, ограниченные кризисными явлениями [8].

Для построения номограммы необходимо также знать закономерности теплообмена охлаждающей системы с окружающей средой $\alpha_k^B = const$. Для этого, например, задаются коэффициенты теплообмена с внешней средой, либо принимают условия построения температуры окружающей среды ($t_{o.c.} = const$)

Величина Q определяется по формуле, характеризующей теплообмен наружной стенки конденсатора с окружающей средой

$$Q = \alpha_k^B \cdot F_k (T_{cm}^k - T_{o.c.}), \text{ Вт}.$$

Тогда каждой величине Q (или T_{cm}^k) соответствует определенное значение T_{cm}^k (или Q). Следовательно, изменением внешних условий теплообмена с окружающей средой можно регулировать T_{cm}^u при заданном тепловыделении.

В случае, если задается температура стенки охлаждаемого элемента, необходимо рядом значений критерия Рейнольдса Re , которому вычисляют ряд значений чисел Стантона и, определив величину α_u , уточняют T_{cm}^u [9].

Если температура стенки будет превышать заданное значение, необходимо уменьшить величину Re и, следовательно, отводимую тепловую нагрузку.

Для исследования процессов парообразования использовались оптические методы (скоростная киносъемка и голографическая интерферометрия «на просвет» и «на отражение») (рисунки 1–3). Применялся лазер ЛГ-38 и кинокамера СКС – 1М. Охлаждающим элементом служил трубчатый пористый теплообменник (рисунок 4).

Результаты экспериментов обрабатывались в виде кинограмм процессов тепло- и массопереноса для различных фитилей, тепловых нагрузок и расходов охлаждающей жидкости (рисунки 5–7).

На рисунке 8 показана схема голографической регистрации «на просвет» процессов тепло- и массопереноса в отдельных ячейках пористых структур. Наблюдение и регистрация восстановленного с голограммы изображения производилось согласно схеме рисунка 9.

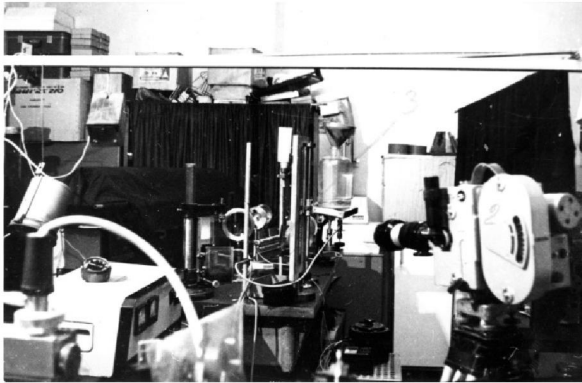


Рисунок 1 – Стенд для исследования процессов парообразования оптическими методами:
1 – лазер; 2 – кинофотокамера;
3 – пористый охлаждающий элемент

Figure 1 – Stand for the study of the evaporation processes by optical methods: 1 - laser; 2 - cinematograph;
3 - porous cooling element

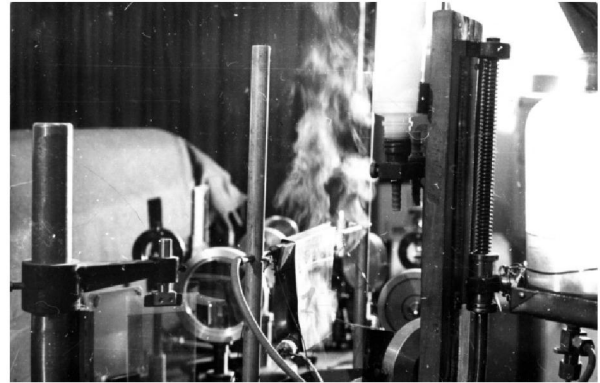


Рисунок 2 – Трубчатый пористый охлаждающий элемент в работе (подвод жидкости – по направлению действия гравитационных сил): 1 – питающая артерия; 2 – лучистый нагреватель; 3 – голограмма

Figure 2 – Tubular porous cooling element in work (liquid supply - in the direction of gravitational force): 1 - feeding artery; 2 - radiant heater; 3 - hologram

Рисунок 3 – Схема стенда для киносъемки:
1 – камера; 2 – плита; 3 – капиллярно-пористая структура; 4 – алундовая трубка;
5 – лампа кг – 220–1000–3; 6 – артерия;
7 – бак; 8 – прожектор

Figure 3 – Stand for filming: 1 - camera; 2 - plate;
3 - capillary-porous structure; 4 - alundum tube;
5 - 220-1000-3-kg lamp; 6 - artery; 7 - tank; 8 - spotlight

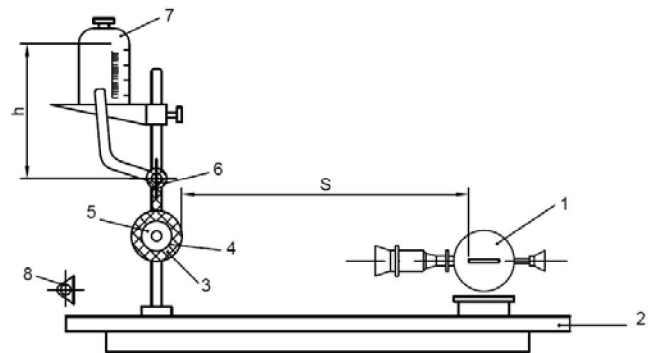
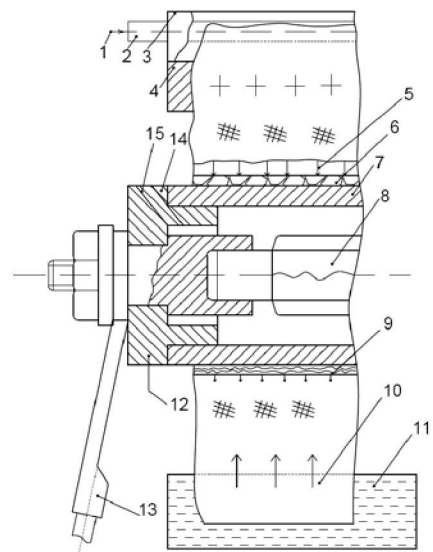


Рисунок 4 – Экспериментальная установка для визуализации процессов парообразования:
1 – подвод жидкости; 2 – трубка; 3 – питающая артерия; 4 – прижим;
5 – фильтрация охлаждающей жидкости; 6 – капиллярно-пористая структура; 7 – фарфоровая трубка; 8 – йодная кварцевая лампа;
9 – избыток жидкости;
10 – нижний (капиллярный) подвод жидкости; 11 – сборник;
12 – фиксирующий шрифт; 13 – электропровод; 14 – контакт;
15 – канал для охлаждения лампы

Figure 4 – Experimental setup for visualization of vaporization process:
1 - liquid supply; 2 - tube; 3 - feeding artery; 4 - clamp;
5 - filtration of coolant; 6 - capillary-porous structure; 7 - porcelain tube;
8 - iodine quartz lamp; 9 - surplus liquid; 10 - low (capillary) liquid supply;
11 - collection; 12 - registering pin; 13 - electric conduit; 14 - contact;
15 - channel for cooling the lamp



КИНОГРАММЫ

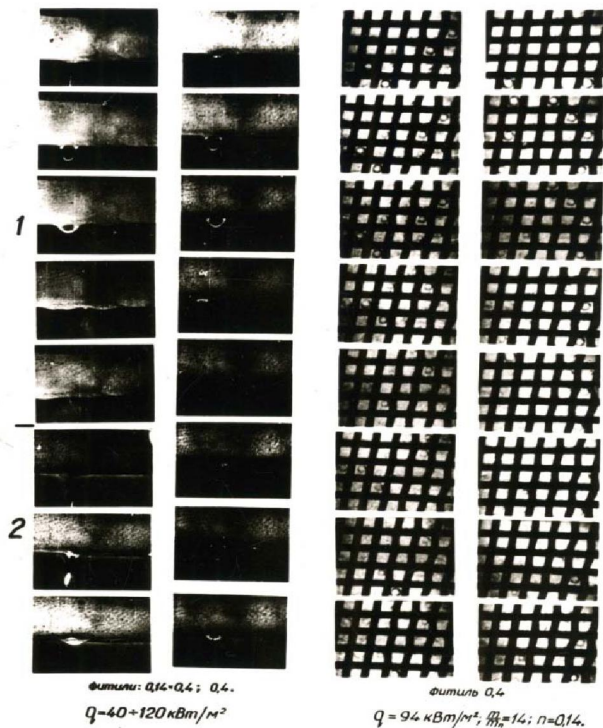


Рисунок 5 – Кинограмма процессов тепло- и массопереноса: а – фитиль 0,14·0,4; б – фитиль 0,4; $q = 40 \div 120 \text{ кВт/м}^2$; в, г – фитиль 0,4 в увеличенном виде; $q = 94 \text{ кВт/м}^2$; $m_{\text{ж}}/m_{\text{н}} = 14$; $n = 0,14$; q – удельный тепловой поток; $m_{\text{ж}}, m_{\text{н}}$ – расход жидкости и пара; n – плотность центров парообразования, пузырей/количество ячеек

Figure 5 – Gramophone record of the heat and mass transfer processes: а – wick 0,14·0,4; б – wick 0,4; $q = 40 \div 120 \text{ кВт/м}^2$; в, г – wick 0,4, enlarged $q = 94 \text{ кВт/м}^2$; $m_{\text{ж}}/m_{\text{н}} = 14$; $n = 0,14$. q – heat flux density; $m_{\text{ж}}, m_{\text{н}}$ – liquid and vapor flow; n – vaporization, bubbles/number of cells centers density



Рисунок 6 – Фрагмент из кинограммы (столбец «а» рисунок 5) в увеличенном виде

Figure 6 – A fragment of gramophone record (column "a" in Figure 5) in the enlarged view

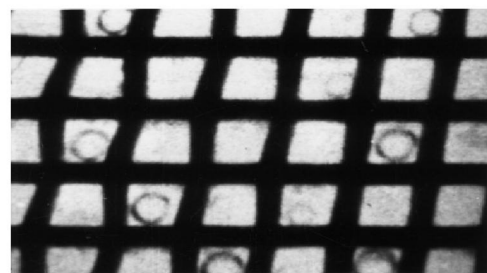


Рисунок 7 – Фрагмент из кинограммы (столбец «г» рисунок 5) в увеличенном виде

Figure 7 – A fragment of gramophone record (column "g" in Figure 5) in the enlarged view

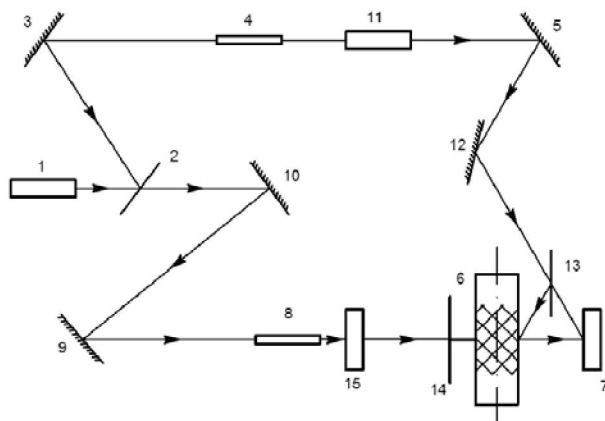
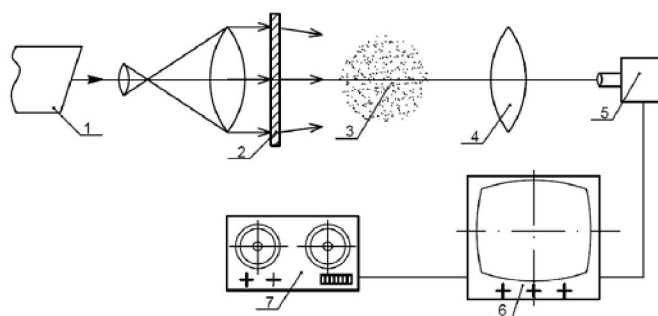


Рисунок 8 – Схема голографической регистрации «на просвет» процессов тепло-массопереноса в ячейках пористых структур: 1 – лазер; 2 – полупрозрачное зеркало (светоделитель); 3, 5, 9, 10, 12 – зеркала; 4, 8 – сферические коллиматоры; 6 – пористая система; 7 – фотопластинка (голограмма); 11 – цилиндрический коллиматор; 13 – полупрозрачное зеркало; 14 – рассеиватель; 15 – цилиндрическая линза

Figure 8 – Scheme of the holographic recording "peek-a-boo" of the heat and mass transfer processes in the porous structures cells: 1 - laser; 2 - semitransparent mirror (beam splitter); 3, 5, 9, 10, 12 - mirrors; 4, 8 - spherical collimators; 6 - porous system; 7 - photographic plate (hologram); 11 - cylindrical collimator; 13 - half-transmitting mirror; 14 - diffuser; 15 - cylindrical lens

Рисунок 9 – Наблюдение и регистрация восстановленного с голограммы изображения: 1 – лазер; 2 – голограмма; 3 – действительное изображение двухфазного потока; 4 – линза; 5 – телевизионная камера; 6 – телевизионный экран; 7 – видеоматрицафон

Figure 9 – Monitoring and registration of the image restored by hologram: 1 - laser; 2 - hologram; 3 - real image of the two-phase flow; 4 - lens; 5 - TV camera; 6 - television screen; 7 - videocassette recorder



Таким образом, на основе проведенных фундаментальных исследований на моделях и натуре теплогидравлических характеристик теплопередачи получена требуемая информация для разработки, проектирования, инженерного расчета и эксплуатации капиллярно-пористых систем в различных тепловых энергетических установках электростанций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Polyayev V., Genbach A.N., Genbach A.A. Methods of Monitoring Energy Processes, Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics // Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics, avenue of the Americas. – New York, 1995. – Vol. 10, April. – P. 273-286.
- [2] Генбач А.А., Федоров В.Н., Шелгинский А.Я. Интенсивность теплообмена при кипении жидкости в капиллярно-пористой структуре в поле массовых сил // Теплообменные процессы и установки: Сб. трудов МЭИ. – Вып. 448. – М., 1980. – С. 27-32.
- [3] Поляев В.М., Генбач А.А. Плотность центров парообразования и выброс капель из пористой структуры // Известия вузов. Машиностроение. – 1990. – № 9. – С. 50-55.
- [4] Поляев В.М., Генбач А.А. Отрывной диаметр и частота отрыва паровых пузырей в пористых структурах // Вестник МГТУ. Серия Машиностроение. – 1990. – № 1. – С. 69-72.
- [5] Поляев В.М., Генбач А.А. Начальная область парообразования в пористых структурах, работающих с избытком жидкости // Известия вузов. Энергетика. – 1991. – № 2. – С. 84-87.
- [6] Поляев В.М., Генбач А.А. Механизм процессов парообразования в пористой системе охлаждения // Теория рабочих процессов в узлах и трактах энергетических установок. Сб. трудов МАИ. – М., 1991. – С. 81-90.
- [7] Поляев В.М., Генбач А.А., Минашкин Д.В. Визуализация процессов в пористом эллиптическом теплообменнике // Известия вузов. Машиностроение. – 1991. – № 10-12. – С. 75-80.
- [8] Поляев В.М., Генбач А.А. Пористое охлаждение камер сгорания и сверхзвуковых сопел // Тяжелое машиностроение. – 1991. – № 7. – С. 8-10.
- [9] Polyayev V., Genbach A. Heat Transfer in a Porous System in the Presence of Both Capillary and Gravity Forces // Thermal Engineering. – M., 1993. – Vol. 40, N 7. – P. 551-554.

REFERENCES

- [1] Polyayev V., Genbach A.N., Genbach A.A. Methods of Monitoring Energy Processes. Experimental thermal and fluid science, International of Thermodynamics, Experimental Heat Transfer, and Fluid Mechanics, avenue of the Americas. New York, **1995**. Vol. 10, April. P. 273-286 (in Eng.).
- [2] Genbach A.A., Fedorov V.N., Sheginski A.Y. The intensity of heat exchange with boiling liquid in a capillary-porous structure in the field of mass forces // Heat and mass transfer processes and plants: Sb. trudov MEI. Issue 448. M., **1980**. P. 27-32 (in Russ.).
- [3] Polyayev V.M., Genbach A.A. The density of the centers of vaporization and ejection of droplets from the porous structure // Proceedings of the universities. Mechanical Engineering. **1990**. N 9. P. 50-55 (in Russ.).
- [4] Polyayev V.M., Genbach A.A. Tear-off diameter and a frequency separation of vapor bubbles in porous structures // Vestnik MSTU, a series of Engineering. **1990**, N 1. P. 69-72 (in Russ.).
- [5] Polyayev V.M., Genbach A.A. The initial area of vaporization in the porous structures, working with excess fluid // Proceedings of the universities. Energy. **1991**. N 2. P. 84-87 (in Russ.).
- [6] Polyayev V.M., Genbach A.A. The mechanism of evaporation processes in the porous system of cooling // The theory of working processes in the nodes and paths of power plants. Sb.trudov MAI. Moscow, **1991**. P. 81-90 (in Russ.).
- [7] Polyayev V.M., Genbach A.A., Minashkin D.V. Visualization of processes in porous elliptic heat exchanger // Proceedings of the universities. engineering. **1991**. N 10-12. P. 75-80 (in Russ.).
- [8] Polyayev V.M., Genbach A.A. Transpiration cooling of the combustion chambers and supersonic nozzles // Heavy Engineering. **1991**. N 7. P. 8-10 (in Russ.).
- [9] Polyayev V., Genbach A. Heat Transfer in a Porous System in the Presence of Both Capillary and Gravity Forces // Thermal Engineering. M., **1993**. Vol. 40, N 7. P. 551-554 (in Eng.).

А. А. Генбач, К. С. Олжабаева

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

**ЖОҒАРЫ ЖЫЛДАМДЫҚТЫ КИНОСЪЕМКА ЖӘНЕ ГОЛОГРАФИЯ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ
ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ КАПИЛЛЯРЛЫҚ-КЕУЕКТІ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ
ІШКІ ҚАЙНАУ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ**

Аннотация. Сұйықтықтың капиллярлы-кеуекті құрылымда қайнауының ішкі сипаттамасын зерттеу үшін стендтер жүргізіледі. Оптикалық әдіс ретінде СКС-1М камерамен жылдам кино түсірілім және голографиялық интерферометр пайдаланылды. Жылу беру коэффициентінің бағасы мен капиллярлы-кеуекті жабындары бар жылуалмастырғыштардың тізімі берілген. Кеуекті жүйенің жұмыстық және шекті сипаттамаларының инженерлік есебі сипатталған. Өртүрлі білтелер, меншікті жылу ағындары және салқындату шығындары үшін жылу- және масса тасымалдау құбылысының кинограммасы орындалады. Кинограмманың үзіндісі фитильден шыққан тамшы қалдығын, артық тамшы, құрылым ұяшығындағы бу көпіршіктерін бейнелейді.

Түйін сөздер: жылуағын; жылуберу; кеуектік құрылым; жылу электр станция.

Сведения об авторах:

Alexander Genbach – Professor Dr. Sc., Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Kazakhstan. E-mail: katerina-1@rambler.ru;

Olzhabayeva Karlygash – Ph.D. Student, Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Kazakhstan. E-mail: karla210784@mail.ru