

А.А. Генбач<sup>1</sup>, К.С. Олжабаева<sup>1</sup>, Ж.А. Сеитова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

E-mail: k.olzhabayeva@aes.kz

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СИСТЕМАХ

**Аннотация.** Применение капиллярно-пористых покрытий в промышленности потребовало провести разработку и исследование теплообмена на экспериментальных установках и получить для различных условий коэффициенты теплообмена и коэффициенты условной проницаемости в капиллярно-пористых структурах различного рода (изотропных, анизотропных). Выявлено влияние способа подвода охладителя, высоты поверхности теплообмена, избытка охладителя, степени прижатия структуры, давления в системе, вида структуры и ориентации поверхности теплообмена в гравитационном поле. Изучалось совместное влияние на теплопередачу капиллярных, массовых сил, сил давления и вибрации.

**Ключевые слова.** Капиллярно - пористые системы, турбофундамент, конденсатор.

### Введение.

Использование пористых материалов в энергетике привлекает многих исследователей. Для разработки различных устройств. Интенсивность систем теплоотвода и нагнетание проточных процессов в них увеличивались. Применение капиллярно-пористых материалов помимо систем охлаждения позволяет создавать агрегаты, в которые решались проблемы взрывобезопасности, безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды, а также надежности. Это облегчает возможность управления процессом парообразования за счет избыточной жидкости, образующейся в порах и капиллярных структурах, за счет создаваемых совместных действий капиллярных и объемных сил. Изучение процессов тепломассопереноса в тонких капиллярных структурах направлено на управление коэффициента теплопередачи.

В работе представлены исследования процессов тепломассообмена в перспективных капиллярно-пористых системах охлаждения, служащих для проектирования теплоэнергетических систем. Представлен алгоритм, раскрыт механизм теплообмена, показаны пути интенсификации.

Установки созданы для исследования теплопередачи и гидродинамики жидкости в капиллярно-пористых телах. Они позволяют определять удельные тепловые потоки, коэффициент теплопередачи и условный коэффициент проницаемости пористых структур.

Возможно проведение моделирования при распределении волн напряжений и динамики паровой фазы в методе управления быстропротекающими энергетическими процессами [1] в пористых эллиптических системах. Для обобщения и суммирования экспериментальных данных использовалась теория подобия [2] и теория аналогий распределения волн в металлических и пористых материалах [3].

Управление теплопередачей производилось за счет комбинированного действия капиллярных и массовых сил [4], в том числе аналогичных и подобных явлений кипения и барботажа в пенном многофазном потоке [5,6], включая работу пористых систем под давлением [7].

Исследования пористых систем имеет прикладное значение и позволяет создавать геоэкраны для защиты турбофундаменты электростанций от землетрясений [8],

пароохладители паровых котлов [9], плохотеплопроводные пористые покрытия [10], для турбинной техники электростанций [11-13], управляя процессами в тепловых, массовых, пенных, взрывных и звуковых физических полях.

### Материалы и методы.

Основные области практического применения капиллярно-пористых систем защищены патентами и авторскими свидетельствами на изобретения в области теплоэнергетических установок, а также опубликованы в научных изданиях [1-9].

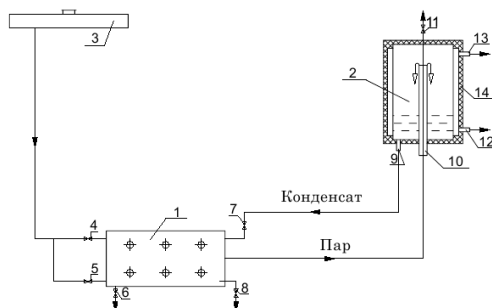
Необходимо решить проблемы использования некачественного тепла для отопления и кондиционирования воздуха в градирнях, прудах-охладителях, зданиях, сооружениях, теплицах, предотвратить загрязнение воды и почвы нефтепродуктами.

Пористые системы, выполненные в виде тепловых трубок, стали внедрять на различных электростанциях. Они позволяют с высокой интенсивностью и надежностью отводить и транспортировать высокие тепловые потоки, решают ряд экологических проблем, выдвинутых в результате антропогенного воздействия на окружающую среду: возможность экономить природные ресурсы, воду, кислород и снижать количество вредных выбросов.

Внедрение оборудования и технологических процессов в области энергетики должно осуществляться, прежде всего, с экологической и экономической точки зрения. Предлагаемая разработка капиллярно-пористых систем способствует реализации технологических процессов, значительному улучшению и сохранению природной среды, повышает производительность сооружений.

На рисунке 1 показана схема функционирования капиллярно пористой системы, которая может работать по открытому и замкнутому испарительно – конденсационному циклу. Слив жидкости 6 и 8 позволяет существенно расширить пределы отвода тепловых потоков и упростить эксплуатацию системы.

Схема работы системы охлаждения и методики измерения показаны на рисунке 2. Измерить следующие величины:  $m_{ж}^{\delta}, t_{ж}^{\delta}$  – расход и температура жидкости в баке;  $m_1, m_2$  – расход жидкости, подаваемые в верхнюю и нижнюю питающие артерии;  $t_{ст}^i, t_n$  – температура стенки и пара;  $m_{сл}, t_{ж}^{сл}$  – расход и температура жидкости на сливе;  $t_{диф}, t_{эл}^{из}$  – температура электрической изоляции и дифференциальная;  $m_k, t_{ж}^k$  – расход и температура конденсата;  $m_n$  – расход пара;  $m_{воз}$  – расход уделяемого воздуха;  $m_{вб}, t_{ж}^{вб}, t_{ж}^{вбх}$  – расход, температуры на входе и выходе циркуляционной воды.

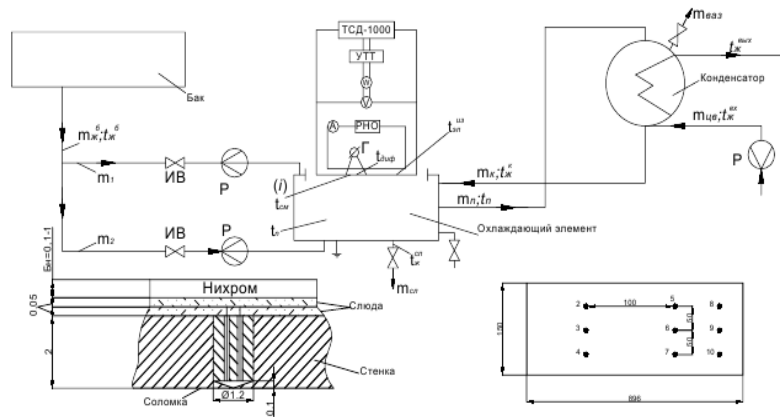


1 – теплообменный элемент (испаритель); 2 – конденсатор; 3 – бак питания; 4,5 – игольчатые вентили; 6,8 – вентиль для слива; 7 – вентиль подачи конденсата; 9 – патрубков; 10 – паропровод; 11 – вентиль выпуска воздуха; 12,13 – подвод и отвод циркуляционной воды.

Рисунок 1 - Схема функционирования капиллярно-пористой системы охлаждения:

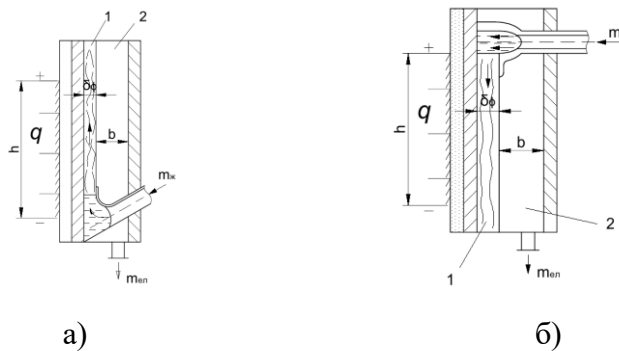
Подвод охладителя в высоконапорных системах охлаждения показан на рисунке 3. На рисунке 4 представлено устройство конденсатора.

Условный коэффициент проницаемости пористой структуры определялся по закону Дарси, а схемы измерения величины  $m_{ж}, m_{сл}, \Delta P$  показана на рисунке 5.



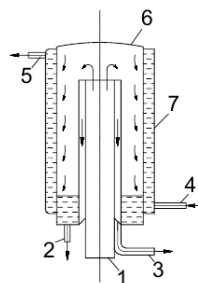
ТСД – 1000 – сварочный трансформатор; УТТ – универсальный трансформатор тока; w – ваттметр; v – вольтметр; А – амперметр; РНО – регулятор напряжения; Г – гальванометр; Р – ротаметр; ИВ – игольчатый вентиль.

Рисунок 2 - Схема работы системы охлаждения и методика измерения:



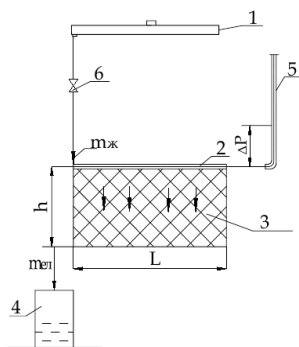
- а) нижний подвод жидкости;
- б) верхний подвод жидкости.

Рисунок 3 - Подвод охладителя в высоконапорных системах охлаждения:



1 – патрубок подвода пара; 2 – патрубок отвода конденсата; 3 – патрубок отвода неконденсирующихся газов; 4 – патрубок подвода охлаждающей жидкости; 5 – патрубок отвода охлаждающей жидкости; 6 – корпус конденсатора; 7 – труба охлаждающей жидкости.

Рисунок 4 - Конденсатор



1 – бак; 2 – артерия; 3 – капиллярно-пористая структура; 4 – бачок слива; 5 – труба подвода жидкости; 6 – вентиль.

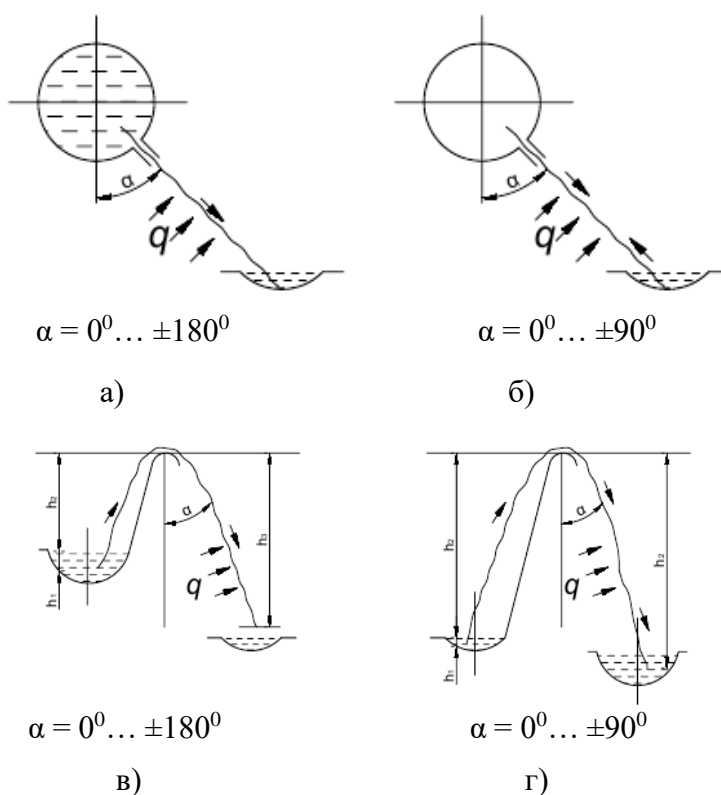
$\Delta P$  – перепад давления;  $m_{ж}$ ,  $m_{сл}$  – расходы жидкости и слива.

Рисунок 5 - Схема измерения условного коэффициента проницаемости

### Результаты.

Исследованы различные факторы процессов тепло- и массообмена в капиллярно-пористых системах тепловых электростанций (путем аналитических, модельных, физических экспериментов). Определены такие факторы, как тип теплоносителя, схема циркуляции, конструкция системы, материал корпуса блока, типы систем, вид подводимой энергии и направление системы.

Исследование влияния ориентации системы охлаждения относительно гравитационной силы проводилось по схеме, изображенной на рисунке 6.



а, б) – подвод жидкости осуществляется артерией;

в, г) – подвод жидкости:

$\alpha$  – угол между поверхностного охлаждения и силой гравитации.

Рисунок 6 - Результаты исследования ориентации теплоотдающей поверхности

Имеются явные противоречия в конструкции охлаждения теплообменных поверхностей элементов силовой установки до критических потоков, когда имеет обсуждение механизма процесса теплообмена в капиллярно пористых структурах, а именно какая среда находилась в стене: жидкость, пар или пароводяная смесь. На основе экспериментальных и теоретических исследований создаются динамические модели усиленной теплоотдачи при кипении на пористой поверхности. И в нем содержатся внутренние полости в виде прямоугольных каналов и мелкие поры, соединяющие каналы с объёмом жидкости. Жидкость быстро испаряется из мениска, при незначительном избытке и увеличении охлаждающей жидкости. Для некоторого теплового потока главное нарушение волнообразного течение пленки жидкости, образуются отдельные пузырьки пара. Постоянные центры генерации являются несколько активных ячеек структуры. Начало кипения жидкости зависит от многими эксплуатационными и расчетными параметрами и определяется уравнением для этого процесса, что соответствует тепловому потоку.

А снижение расхода охлаждающей жидкости приводит образование многих центров парообразования. А если увеличим расход циркулирующего теплоносителя, то паровые пузыри увеличиваются, а активные наоборот уменьшаются. Все процессы управляются и реализуется термогидравлическими характеристиками. Разработанные экспериментальные установки, позволяют исследовать интегральные характеристики теплообмена. К ним относятся удельные тепловые потоки расходы пара и жидкости и т.д.

Также было проведено различные исследование, в том числе анализы голографических интерферограмм, которые показывают, что при получениях при величине теплового потока постоянная концентрация интерференционных полос во времени, характеризуют процесс кипения как квазистационарный. Однако некоторая деформация полос связана с пульсирующим режимом процесса кипения и наличием центров парообразования в ячейках структуры, которые время от времени изменяются. В этом случае можно предположить, что капля жидкости выбрасывается в присеточное пространство.

Тепловое и гидродинамическое состояния процессов тепломассообмена оценивались по разным значениям степени деформации форм и плотности интерференционных полос, при разных значениях теплового потока.

И в этом случае можно говорить о микропроцессах и некоторых внутренних процессах, таких как тепловой (температурный) микрорельеф, явление колебаний, выброс капель. Чем интенсивнее процесс, тем четче изображения. Есть определенные системы и некоторые дифференциальные закономерности, которые нельзя определить другими методами.

### **Обсуждение.**

Изучение капиллярно-пористых покрытий в тепловых электростанциях связано с созданием системы охлаждения высокотемпературных элементов и узлов. Для этого в современных технологиях используются покрытия на поверхности теплообмена.

Наиболее перспективной и управляемой системой охлаждения является система, использующая совместное действие массовых и капиллярных сил для транспортировки хладагента с теплом к поверхности охлаждения. При построении физической модели кипения жидкости в новой пористой системе, работающей под совместным действием гравитационных и капиллярных сил для исходного типа кипения, мы предполагаем, что в процессе теплообмена передается большое количество теплоты  $q$  за счет эффективности теплопроводности.

Для такой системы разработаны физико-математические модели, позволяющие получить конструкторские методы расчета тепловых потоков и коэффициентов теплоотдачи.

С целью упрощения и удешевления исследований представляет интерес изучение процессов теплообмена в теплорассеивающих и малопористых хрупкопористых покрытиях для моделирования капиллярно-пористых структур. К таким покрытиям относятся разнообразные породы, способные выдерживать хрупкое разрушение или интенсивно расслаиваться с образованием отделившихся от покрытия частиц. Покрытия позволяют исследовать механизм процессов теплообмена в нормальных и критических условиях, связанных с прекращением подачи теплоносителя или возникновением гидротермодинамического кризиса теплоотдачи.

### **Заключение.**

Разработаны и исследованы экспериментальные установки, позволившие выявить влияние на теплопередачу и гидродинамику жидкости в капиллярно-пористых структурах способа подвода охладителя, высоты теплообменной поверхности, избытка охладителя (разомкнутая или замкнутая испарительно-конденсационная система), степени прижатия пористой структуры, равномерности температурного поля стенки, давления в системе, наличия конденсатора (либо пар отводился в атмосферу), виды структуры на коэффициент проницаемости и ориентации поверхности относительно гравитационной силы. Описанные экспериментальные установки позволяли различными способами создавать и регулировать давление пара в испарительно конденсационных системах.

### **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.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. – М., 1993. - Vol.40, № 7. – P.551-554.
- [3] Поляев В.М., Генбач А.Н., Генбач А.А. Предельное состояние поверхности при термическом воздействии // ТВТ. - Т. 29, № 5. 1991. - С.923-934.
- [4] Polyayev V.M., Genbach A.A. Control of Heat Transfer in a Porous Cooling System // Second world conference on experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics.– Dubrovnik, Yugoslavia, 23-28 June. 1991. – 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. - С. 68-72.
- [8] Генбач А.А., Бакытжанов И.Б. Защита от землетрясений фундаментов ТЭС с помощью пористых геозкранов. – Алматы: Поиск, МОН РК, №1(2), 2012. - С. 289-297.
- [9] Генбач А.А., Данильченко И. Пористый пароохладитель паровых котлов. – Алматы: Промышленность Казахстана, №1(70), 2012. - С. 72-75.
- [10] Генбач А.А., Олжабаева К.С. Визуализация термического воздействия на пористый материал в ТЭУ ЭС. – Алматы: Вестник Национальной инженерной академии РК, № 3 (45), 2012. - С. 63-67.



- [11] Генбач А.А., Исламов Ф.А. Исследование присопловой галтели в энергоустановках. – Алматы: Вестник КазНТУ, № 3 (97), 2013. - С. 245-248.
- [12] Генбач А.А., Исламов Ф.А. Моделирование процесса задевания ротора турбины // Вестник КазНТУ, №6 (100), 2013. - С.235-240.
- [13] Поляев В.М., Генбач А.А. Области применения пористой системы // Известия вузов. Энергетика. 1991. № 12. - С. 97 - 101.
- [14] Genbach A.A., Olzhabayeva K.S. Boiling process in oil coolers on porous elements // Thermal Science. - Serbia. – 2016. - Vol. 20. - No. 5. - PP. 1777-1789.

#### REFERENCES\*

- [1] Polyaev 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.V.10.April.- P.273-286.
- [2] Polyaev V., Genbach A. Heat Transfer in a Porous System in the Presence of Both Capillary and Gravity Forces // Thermal Engineering. – M., 1993. - Vol.40, № 7. – P.551-554.
- [3] Poliaev V.M., Genbach A.N., Genbach A.A. Predelnoe sostoianie poverhnosti pri termicheskom vozdeistvii // TVT. - T. 29, № 5. 1991. - S.923-934.
- [4] Polyaev V.M., Genbach A.A. Control of Heat Transfer in a Porous Cooling System // Second world conference on experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics.– Dubrovnik, Yugoslavia, 23-28 June. 1991. – P.639-644.
- [5] Poliaev V.M., Genbach A.A., Minashkin D.V. Protsessy v poristom ellipticheskom teploobmennike // Izvestia výzov. Mashinostroenie.- 1991. -№4-6. –S.73-77.
- [6] Poliaev V.M., Genbach A.A. Analiz zakonov trenia i teploobmena v poristoi strýktýre // Vestnik MGTÝ. Ser. Mashinostroenie. 1991. №4. – S.86-96.
- [7] Poliaev V.M., Genbach A.A., Bocharova I.N. Vlianie davlenia na intensivnost teploobmena v poristoi sisteme // Izvestia výzov. Mashinostroenie, - 1992. - S. 68-72.
- [8] Genbach A.A., Bakytjanov I.B. Zaita ot zemletriaseni fyndamentov TES s pomoiý poristyh geokranov. – Алматы: Poisk, MON RK, №1(2), 2012. - S. 289-297.
- [9] Genbach A.A., Danilchenko I. Poristy paroolhaditel parovyh kotlov. – Алматы: Promyshlennost Kazahstana, №1(70), 2012. - S. 72-75.
- [10] Genbach A.A., Oljabaeva K.S. Vizýalizatsia termicheskogo vozdeistvii na poristy material v TEÝ ES. – Алматы: Vestnik Natsionalnoi injenernoï akademii RK, № 3 (45), 2012. - S. 63-67.
- [11] Genbach A.A., Islamov F.A. Issledovanie prisoplovoi galteli v energoýstanovkah. – Алматы: Vestnik KazNTÝ, № 3 (97), 2013. - S. 245-248.
- [12] Genbach A.A., Islamov F.A. Modelirovanie protsesssa zadevaniia rotora týrbiny // Vestnik KazNTÝ, №6 (100), 2013. - S.235-240.
- [13] Poliaev V.M., Genbach A.A. Oblasti primeneniia poristoi sistemy // Izvestia výzov. Energetika. 1991. № 12. - S. 97 - 101.
- [14] Genbach A.A., Olzhabayeva K.S. Boiling process in oil coolers on porous elements // Thermal Science. - Serbia. – 2016. - Vol. 20. - No. 5. - PP. 1777-1789.

**Александр Генбач**, т.ғ.д., профессор, Ғ.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, a.genbach@aes.kz

**Карлыгаш Олжабаева**, PhD, доцент, Ғ.Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, k.olzhabayeva@aes.kz

**Жадра Сеитова**, т.ғ.к., аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, zhadira\_sa@mail.ru

## КАПИЛЛЯРИЯЛЫҚ-КЕУЕКТІ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖЫЛУ ЖӘНЕ МАССАЛЫҚ ӨТКІЗУДІ ЗЕРТТЕУ

**Андатпа.** Өнеркәсіпте капиллярлы-кеуекті жабындарды қолдану тәжірибелік қондырғыларда жылу беруді дамытуды және зерттеуді және әртүрлі типтегі (изотропты, анизотропты) капиллярлы-кеуекті құрылымдарда әр түрлі жағдайда жылу беру коэффициенттері мен шартты өткізгіштік коэффициенттерін алуды қажет етті. Салқындатқышты беру әдісінің әсері, жылу алмасу бетінің биіктігі, салқындатқыштың артық мөлшері, құрылымның басылу дәрежесі, жүйеде қысым, құрылым типі және гравитациялық өрістегі жылу алмасу бетінің бағыты анықталды. Капиллярлық, масса күштерінің, қысым мен тербеліс күштерінің жылу алмасуға бірлескен әсері зерттелді.

**Түйінді сөздер.** Капиллярлы - кеуекті жүйелер, турбофонда, конденсатор.

**Alexandr Genbach**, doctor of technical sciences, professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, a.genbach@aes.kz

**Karlygash Olzhabaeva**, PhD, docent, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, k.olzhabayeva@aes.kz

**Zhadra Seitova**, candidate of technical sciences, senior lecturer, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan, zhadira\_sa@mail.ru

## STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER IN CAPILLARY-POROUS SYSTEMS

**Abstract.** The use of capillary-porous coatings in industry required the development and study of heat transfer in experimental installations and to obtain heat transfer coefficients and conditional permeability coefficients for various conditions in capillary-porous structures of various kinds (isotropic, anisotropic). The influence of the method of supplying a coolant, the height of the heatexchange surfaces, the excess of a coolant, the degree of pressing of the structure, the pressure in the system, the type of structure and the orientation of the heat exchange surface in the gravitational field are revealed. The joint influence of capillary, mass forces, pressure forces and vibration on heat transfer was studied.

**Keywords.** capillary - porous systems, turbofoundation, condenser.

\*\*\*\*\*