

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ali H. M. et al. A critical review on heat transfer augmentation of phase change materials embedded with porous materials/foams // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – Vol. 135. – P. 649–673.
2. Badruddin I. A. et al. Heat transfer in porous media: a mini review // Materials Today: Proceedings. – 2020. – Vol. 24. – P. 1318–1321.
3. Mohamad A.A. Heat transfer enhancements in heat exchangers fitted with porous media Part I: constant wall temperature // International journal of thermal sciences. – 2003. – Vol. 42, no. 4. – С. 385–395.
4. Bağcı Ö., Dukhan N. Experimental hydrodynamics of high-porosity metal foam: Effect of pore density // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – Vol. 103. – P. 879–885.
5. Nemanič V. et al. Synthesis and characterization of melamine–formaldehyde rigid foams for vacuum thermal insulation // Applied energy. – 2014. – Vol. 114. – P. 320–326.
6. Dietrich B. et al. Pressure drop measurements of ceramic sponges—determining the hydraulic diameter // Chemical Engineering Science. – 2009. – Vol. 64, no. 16. – P. 3633–3640.
7. Dietrich B. Heat transfer coefficients for solid ceramic sponges—experimental results and correlation // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – Vol. 61. – P. 627–637.
8. Xu S. et al. Experimental Study of the Convective Heat Transfer and Local Thermal Equilibrium in Ceramic Foam // Processes. – 2020. – Vol. 8, no. 11. – P. 1490.

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВСТАВОК НА ТЕПЛОБМЕН В КАНАЛЕ

Ю.Ф. Сабирова

*Казанский государственный энергетический университет,
ИТЭ, ЭОС, гр. ЭОСм-1-23*

В данной работе представлен обзор исследований влияния пористой среды из пенометалла на теплопередачу и гидродинамику.

Ключевые слова: теплообмен, пористая среда, металл, алюминий, медь, перепад давления.

На протяжении многих десятилетий пористые среды представляют большой интерес для изучения [1]. Пена – это инженерный материал, изготовленный из различных материалов, таких как стекло, пластик, металл и керамика [2]. Пористостью называется объемная доля, занимаемая пустотами, т. е. общий объем пустот, деленный на общий объем, занимаемый твердой матрицей, и объемы пустот [3].

Ячеистые структуры пенопластов определяют такие свойства, как жесткость, прочность, общий вес и тепловые характеристики, также они обладают огнестойкостью и химической стойкостью [4]. Благодаря интенсивности теплообмена между проницаемой матрицей и протекающим сквозь нее теплоносителем вследствие очень развитой поверхности их соприкосновения, нашли широкое применение во многих сферах промышленности, сельского хозяйства. Также в процессах производства энергии связанных с тепло- и массообменом в пористых средах, энергетических системах, таких как компактные теплообменники, тепловые трубы, электронное охлаждение [5].

В работе [6] проводилось исследование конвективного теплообмена металлической пены, представляющий собой прямоугольный канал. Также металлическая пена подвергалась воздействию теплового потока $12\,787\text{ Вт/м}^2$ с одной стороны. Образец пеноалюминия с открытыми порами имел 20 пор на дюйм и пористость 91,8 %. Эксперимент проводился в диапазоне чисел Рейнольдса 2,8–25 с использованием воды в качестве рабочего тела. Измерения перепада давления показали, что течение находится в режиме Форхаймера. Проницаемость была получена $3,88 \cdot 10^{-8}\text{ м}^2$, коэффициент Форхаймера – 0,085. Коэффициент трения Фаннин-

га коррелирует с числом Рейнольдса на основе проницаемости в степени $-0,5$. Длина термического входа определялась для меньших скоростей потока и достигала 2,6 гидравлических диаметров. Результаты теплоотдачи показали, что среднее число Нуссельта хорошо коррелирует с числом Рейнольдса в степенном законе с показателем степени числа Рейнольдса, равным 0,61. Число Нуссельта также хорошо коррелировало с числом Рейнольдса, равного 10. Коэффициент j Колберна для теплоотвода из металлической пены коррелировал с числом Рейнольдса в степени $-0,39$ и был на 407 % выше, чем у пустого канала. Соответственно, полученные значения являются разумными по сравнению с данными для аналогичной пористой среды, доступными в литературе.

Большой интерес нашла пористая среда из металла, благодаря своей способности эффективного перемешивания и конвекции, из-за большого отношения площади к объему и их сложной структуры. Несмотря на их недавнее изучение, они с успехом используются во многих передовых технологиях. Например, их применение можно найти в пластинчатых пенопластовых рекуператорах, регенераторах, радиаторах, трубчатых реакторах, конденсаторах и топливных элементах, и это лишь некоторые из них [7].

Предлагаемая модель в работе [8] проста, но эффективна, так как позволяет избежать строгих численных расчетов, необходимых для анализа теплоотдачи в металлической пене, используемой в качестве протяженных поверхностей теплоотдачи во многих сферах, таких как радиаторы и теплообменники. Исследование проводится с высокопористыми медными образцами с открытыми порами, помещенными между пластинами при постоянной температуре. Конвективная жидкость после попадания в пористую среду при равномерной температуре выходит с пространственными изменениями. Также температура конвективной жидкости (на выходе) в любом месте, перпендикулярном направлению базовой пластины, уменьшается с увеличением скорости.

В работе [9] представлены экспериментальные данные по перепаду давления для течения воды в двух пеноалюминиях с открытыми порами, имеющих 10 и 40 пор на дюйм (PPI). Два образца имеют одинаковую пористость (88,5 %). Определены и сопоставлены режимы течения и переходы между ними. Показано, что одна и та же пена имеет разные значения проницаемости и коэффициент Форхаймера при разных режимах течения и при разных режимах пост-Дарси. Использование квадратного корня из проницаемости, измеренной в режиме Дарси, в качестве характерной длины для определения числа Рейнольдса и коэффициента трения позволяет хорошо коррелировать данные о перепаде давления.

В статье [10] экспериментально охарактеризован двадцать один образец алюминиевой и медной пены с различным количеством пор на дюйм (PPI), которое варьируется от 5 до 40, и с пористостью в диапазоне от 0,896 до 0,956. Исследованы образцы разной высоты (20 и 40 мм). Измерения проводились при изменении скорости воздушных масс от 2 до 7 кг/с·м² и наложением трех различных скоростей теплового потока: 250 и 400 Вт.

Результаты показывают, что медные образцы демонстрируют более высокие характеристики теплоотдачи, чем алюминиевые модели, благодаря их высокой теплопроводности. При постоянной пористости, даже если и медные, и алюминиевые образцы высотой 20 мм имеют примерно половину площади теплообмена по сравнению с образцами высотой 40 мм, они демонстрируют более высокую эффективность. Можно сделать вывод, что в случае теплового управления нормированная средняя температура стенки и мощность насоса на единицу площади теплоотдачи могут использоваться для сравнения различных характеристик теплоотдачи металлических пен.

Анализируя полученные результаты с изученной литературой можно сделать вывод, что на величину перепада давления существенное влияние оказывает геометрическая структура из пены. Перепад давления увеличивается с уменьшением диаметра ячейки и пористости. Для всех протестированных случаев течения (для всех жидкостей и пенообразователей) из-

меренное падение давления в однофазном потоке монотонно увеличивается с увеличением скорости жидкости. Перепад давления воздуха и воды увеличивается экспоненциально и может быть описан с помощью закона Форхаймера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Badruddin I.A. et al. Heat transfer in porous media: a mini review // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – Т. 24. – P. 1318–1321.
2. Kavšek M. et al. Melamine-formaldehyde rigid foams—Manufacturing and their thermal insulation properties // *Journal of Cellular Plastics*. – 2022. – Vol. 58, no. 1. – P. 175–193.
3. Nagai K., Musgrave C. S. A., Nazarov W. A review of low density porous materials used in laser plasma experiments // *Physics of Plasmas*. – 2018. – Vol. 25, no. 3. – P. 030501.
4. Kavšek M. et al. Melamine-formaldehyde rigid foams—Manufacturing and their thermal insulation properties // *Journal of Cellular Plastics*. – 2022. – Vol. 58, no. 1. – P. 175–193.
5. Mohamad A. A. Heat transfer enhancements in heat exchangers fitted with porous media Part I: constant wall temperature // *International journal of thermal sciences*. – 2003. – Vol. 42, no. 4. – P. 385–395.
6. Arbak A., Dukhan N. Performance and heat transfer measurements in asymmetrically-heated metal foam cooled by water // *Thermal Science and Engineering Progress*. – 2020. – Vol. 20. – P. 100688.
7. T’Joel C. et al. Thermo-hydraulic study of a single row heat exchanger consisting of metal foam covered round tubes // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2010. – Vol. 53, no. 15–16. – P. 3262–3274.
8. Dixit T., Ghosh I. An experimental study on open cell metal foam as extended heat transfer surface // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2016. – Vol. 77. – P. 28–37.
9. Bağcı Ö., Dukhan N. Experimental hydrodynamics of high-porosity metal foam: Effect of pore density // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2016. – Vol. 103. – P. 879–885.
10. Mancin S. et al. Air forced convection through metal foams: Experimental results and modeling // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2013. – Vol. 62. – P. 112–123.

ВОРОВСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПУТИ ЕГО МИНИМИЗАЦИИ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

С.Ю. Куликов

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
ЭФ, ЭПП, гр. Э-01*

Научный руководитель: И.А. Павличенко, ассистент ЭПП ЭФ АлтГТУ

Проблема воровства электроэнергии в наше время имеет огромное значение, ведь она является одним из важнейших ресурсов современного общества. Масштабы ущерба наносящийся по энергетическим компаниям по всей России приобретают катастрофические масштабы и исчисляется миллиардами рублей, а Алтайский край не является исключением. В 2020 году в Алтайском крае специалисты компании «Алтайкрайэнерго» выявили 615 случаев хищения электроэнергии – 7,8 млн кВт·ч. В денежном эквиваленте это 26,5 млн рублей. К краже электроэнергии относится как и несанкционированное подключение к сети электрооборудования, так и действия с приборами учета, направленные на намеренное занижения показателей расхода электроэнергии, именно этот метод хищения оказался наиболее распространенным в нашем крае.

Разветвленность магистральных и распределительных электрических сетей сложной конфигурации и их огромная протяженность в нашем регионе создает благоприятные условия для незаконных действий. Но людей, занимающихся данным видом противоправных действий не пугают серьезные последствия в виде относительно небольших штрафов, а так же редкая уголовная ответственность, где даже при огромных хищениях практически не дохо-