

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 52-104-2009. Сталефибробетонные конструкции. – М.: ОАО НИЦ Строительство, 2010. 63 с.
2. Плевков В.С., Мальганов А.И., Уткин Д.Г. Оценка технического состояния, восстановление и усиление железобетонных конструкций зданий и сооружений с применением фибробетона: учебное пособие / под ред. В.С. Плевкова. – Томск: Издво Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016.
3. Поднебесов П.Г., Теряник В.В. Внецентренно сжатые колонны, усиленные обоймами из самоуплотняющегося сталефибробетона // Бетон и железобетон. – 2015. – № 3.
4. Al-Osta M.A. и др. Flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with ultra-high performance fiber reinforced concrete // Construction and Building Materials. – 2017. – Т. 134, no. 2013. – Р. 279–296.

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТЫХ ВСТАВОК ИЗ КЕРАМИКИ НА ТЕПЛООБМЕН В КАНАЛЕ

Ю.Ф. Сабирова

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

В настоящее время большое внимание уделяется изучению улучшенной теплоотдачи через пористый материал. Пористые материалы представляют значительный научный и технологический интерес для преобразования и хранения энергии.

Простыми словами, пористая среда, это та среда, которая имеет твердую матрицу со связанными между собой пустотами. Примерами природных пористых сред являются пляжный песок, песчаник, известняк, ржаной хлеб, дерево и легкие человека. К искусственным пористым средам относятся керамика, композитные материалы и высокопористые пенопласты [1]. Пустое пространство, созданное из-за матричного расположения среды, обеспечивает возможность протекания жидкости через область, которая может переносить тепло из одной области в другую, тем самым способствуя конвективному режиму жидкости, а также теплу [2]. Кроме того, более интенсивная конвекция выше для систем, заполненных пористым материалом, чем для систем без пористого материала из-за высокой теплопроводности пористой матрицы по сравнению с теплопроводностью жидкости, особенно для газовых потоков [3].

Как уже было сказано ранее, большой интерес нашли пористые материалы, благодаря своему улучшенному теплообмену, свойствам пористой структуры и т. д.

Падение давления, режимы течения и переход от одного к другому необходимы для любого применения, связанного с течением жидкости через пористый материал, а также для скоростей теплоотдачи или скорости реакции. Параметры перепада давления, такие как проницаемость и коэффициенты сопротивления инерции, сильно различаются для пористой среды из металла; то же самое можно сказать и о границах режимов течения [4].

Как уже было сказано ранее пеноматериал может быть изготовлен из различного материала, наиболее распространенный материал для изучения, это металл и керамика. Пеноматериал на основе керамики, схож строением и морфологией на металлическую пену. Однако в некоторых сферах необходимы современные конструкционные материалы, которые должны быть прочнее, жестче, легче по весу и более устойчивыми к агрессивным средам. Поэтому двумя основными преимуществами использования керамических материалов в конструкции теплообменников по сравнению с более традиционными металлическими материалами являются их термостойкость и коррозионная стойкость [5].

Также благодаря данным преимуществ пенокерамика нашла широкое применение в области теплоизоляции, использование в качестве насадок в колоннах, в качестве каталитических реакторов, теплообменников, солнечных приемников [6].

В работе [6] представлены экспериментальные результаты измерения перепада давления для различных твердых керамических пористых сред. В экспериментах варьировались материал, размеры пор и пористость (10,20,45 PPI).

Для экспериментов по перепаду давления использовался обогреваемый проточный канал. Падение давления на пористых вставках при различных скоростях воздуха до 9 м/с определяли чувствительным манометром. Для измерения скорости потока использовали измерительную секцию с диафрагмой и преобразователь перепада давления. Воздух и образец нагревались до постоянной температуры 40 °С. Образцы были обернуты несколькими слоями резиновой ленты, чтобы исключить байпас воздуха между образцом и корпусом. Благодаря полученным экспериментальным данным получены две константы уравнения Эргуна. Результаты показали, что обе константы оказались независимыми от объемного содержания и размера пор (PPI). Эта корреляция также позволяет определять гидравлический диаметр пористых вставок на основе измерений перепада давления. Для оценки удельной поверхности по геометрическим параметрам, которые можно легко получить с помощью световой микроскопии, в данной работе также представлена простая корреляция. Если сравнить данные о перепаде давления губок и уплотненных слоев сфер с пористостью, представляющей технический интерес (с одинаковым гидравлическим диаметром), обнаруживается, что образцы имеют более низкий перепад давления. Проведенное исследование и полученная корреляция перепада давления в канале обеспечит простой метод определения гидравлических диаметров твердых керамических губок с неизвестными геометрическими параметрами.

В исследовании [7] представлены экспериментальные результаты о коэффициентах теплоотдачи для различных керамических губок (вариации материала, пористости и размера пор). Полученные коэффициенты теплоотдачи в пределах 40–500 Вт/м² К. Скорость воздуха в канале варьировалась от 0,5 до 5 м/с. Полученные коэффициенты корреляции получены в безразмерной форме, чтобы обеспечить «универсальную» корреляцию для оценки коэффициентов теплоотдачи любой керамической пены с использованием данных о перепаде давления. Таким образом, коэффициенты теплоотдачи могут быть оценены из экспериментов по перепаду давления. Наблюдается сильное влияние приведенной скорости воздуха и свойств типа пены на теплообмен. Экспериментальные данные коррелируют с подходом Нуссельта-Рейнольдса, как это обычно делается для данных теплоотдачи.

Проведенное исследование [8] показывает как пористые свойства, пористость, размер ячеек и толщина образца влияют на объемный конвективный теплообмен. Исследованные образцы имеют толщину 30–105 мм, пористость 0,75–0,85, PPI 30–60 и поверхностную скорость 0,58–1,76 м/с. В работе используется метод однократного выдувания для определения объемного коэффициента теплоотдачи пенокерамики в диапазоне температур от 283 до 323 К. В частности, анализ чувствительности пористости пены, размера ячеек, скорости и толщины образца на объемный коэффициент теплоотдачи внутри пенокерамики. Результаты показывают, что толщина образца оказывает значительное влияние на объемный коэффициент теплоотдачи, который уменьшается с увеличением толщины образца. На основе экспериментальных данных предлагается новая корреляция, включающая толщину образца, пористость, приведенную скорость и свойства жидкости. Полученная корреляция включает толщину пористой вставки из керамики, ее пористость, скорость газа и свойства газа и считается более применимой. Корреляция хорошо согласуется с экспериментальными данными.

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 ТЕПЛООБМЕН 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 проникаемой 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-