

УДК 534.833.532.22; 66.045.13

ПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕНСИФИКАТОРА ДЛЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Сабирова Ю.Ф., студентка гр. ЭОСм-1-23, I курс
Научный руководитель: Хайбуллина А.И., к.т.н., доцент
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань

Современное общество стремится к энергоэффективности и устойчивому развитию. Одним из ключевых аспектов достижения этих целей является эффективное использование и сохранение энергии, особенно в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК). В этом контексте рекуперативные теплообменники играют важную роль. Энергетические системы предполагают большое количество различных типов взаимодействий с окружающей средой через свои физические границы. Поэтому следует обратить внимание на многие вопросы, которые в первую очередь касаются энергетических, экономических и экологических аспектов системы. Энергетическая оптимизация обычно направлена на максимизацию энергетической эффективности системы без учета затрат на ее улучшение [1].

Теплообмен – важный процесс в различных отраслях, таких как энергетика, химическая промышленность, пищевая промышленность и другие. Эффективность теплообмена играет ключевую роль в повышении эффективности и экономичности систем, а также в снижении негативного влияния на окружающую среду. Одним из методов улучшения теплообмена является использование пористых материалов. Пористые материалы обладают способностью увеличивать площадь поверхности, что позволяет увеличить контакт между теплоносителем и теплообменником. Это приводит к более эффективному теплообмену и повышению коэффициента теплопередачи [2,3]. Эффективность, равная 100%, свидетельствует о полном теплообмене между двумя потоками. В рекуперативных теплообменниках пористые материалы могут использоваться в качестве теплопроводного слоя, который обеспечит эффективный теплообмен между отходящим и приточным воздухом, благодаря большой поверхности с множеством пор и каналов, что позволит максимально увеличить контакт между потоками воздуха и обменивать тепло между ними. Но также необходимо учитывать конструкции теплообменников, которые должны быть модульными, легко масштабируемыми, высокоэффективными, компактными и легкими.

Действительно в работе [4] описан высокоэффективный рекуперативный теплообменник, эффективность которого может превышать 98%. Данный теплообменник состоит из отдельных блоков углеродной пены. Пористый материал уложен между тонкими листами нержавеющей стали с

низкой теплопроводностью. Углеродная пена используется для улучшения теплопередачи между горячими и холодными жидкостями, что позволяет уменьшить размер теплообменника. Каналы подачи расположены поочередно модульным образом, так что горячий и холодный потоки в теплообменнике протекают противотоком. Авторами исследования разработана новая конфигурация для минимизации осевой проводимости. Результаты эксперимента показали, что теплообменник на основе углеродной пены может эффективно передавать тепло от горячего потока к холодному. При использовании четырех пар блоков из углеродной пены достигнута общая эффективность более 80%. Общая эффективность более 0,98 может быть достигнута при использовании 50 пар блоков из углеродной пены. Эта разработка имеет преимущества в размере и весе и может быть расширена для более крупных систем.

Также в эксперименте [5] используется твердый и гофрированный углеродный пористый материал различных размеров. Исследование показывает, что углеродная пена может усиливать теплопередачу, а коэффициент теплопередачи увеличивается с уменьшением длины пены. Гофрирование может уменьшить перепад давления при сохранении высокого коэффициента теплопередачи. Эффективность для одной пары пористого материала из углеродного волокна ограничена из-за эффекта осевой проводимости пены. Анизотропное свойство пенополиуретана может быть использовано для получения более высокой эффективности для одной пары пеноблоков. Высокая эффективность теплообменника может быть достигнута путем размещения больших пар блоков из углеродного пористого материала последовательно. Эксперименты с четырьмя парами блоков из углеродного волокна показали, что можно достичь общей эффективности более 80%. Гофрирование может повысить общий коэффициент теплопередачи и одновременно снизить перепад давления в рекуперативных теплообменниках. Гофрирование не оказывает существенного влияния на эффективность, хотя перепад давления значительно снижается. Основываясь на этих данных испытаний, прогнозируется, что общая эффективность теплообменника в 98% может быть достигнута при использовании 50 пар блоков из углеродного пористого материала.

Несмотря на эффективность использования углеродного пористого материала, в статье [6] авторы представляют тепловую модель для определения размеров блока рекуперации тепла с использованием сотовой матрицы, где стремятся уменьшить поперечное сечение и гидравлический диаметр теплообменника, что приведет к увеличению скорости теплопередачи и уменьшению общего объема системы. Эти эффекты можно увидеть при определении числа Нуссельта и числа Рейнольдса. Для полностью развитого ламинарного потока (как термического, так и гидравлического) и для конкретной геометрии коэффициент теплопередачи является постоянным и легко вычисляется аналитически.

В тепловой модели используется новая методология дискретизации для уравнений энергии и массы, что дает возможность создать алгоритм для проектирования и определения размеров компактного блока рекуперации тепла. Модель включает анализ тепловой эффективности. Наиболее важным параметром пропускной способности является длина квадратной стороны, поскольку она связана с гидравлическим диаметром, влияет на перепад давления, тепловые характеристики и общий размер теплообменника. В экспериментальных исследованиях был достигнут КПД до 84%. Измерения, позволяющие предварительно нагревать воздух для горения до температуры 621°C при мощности 8,19 кВт и стандартном отклонении в 7% по сравнению с моделью. Результаты эксперимента и моделирования показывают, что предложенная конструкция компактной системы рекуперации тепла технически осуществима. Тепловая эффективность конструкции составляет около 80%, что выше, чем указано в существующей литературе. Кроме того, прототип установки рекуперации тепла имеет гидравлический диаметр 0,75 мм, общую длину менее 15 см и плотность по площади 1860 м²/м³. Эти размеры позволяют отнести устройство к категории компактных теплообменников. Также показано, что конфигурация с противотоком обеспечивает наибольшую эффективность системы рекуперации тепла с точки зрения занимаемого пространства.

Опираясь на изученную литературу, можно сделать вывод, что существуют исследования сосредоточенные на процессе рекуперации и, более конкретно, на геометрии теплообменников и их оптимизации. Но чтобы максимально повысить эффективность рекуперации, необходимо исследовать улучшение теплопередачи с использованием пористого материала.

Список литературы:

1. Shirmohammadi M., Sayyaadi H. Multi-objective exergetic, economic and environmental optimization of CGAM problem using genetic algorithm //Proceeding of 3rd international energy, exergy and environment symposium. – 2007. – С. 1-5.
2. Slater A. G., Cooper A. I. Function-led design of new porous materials //Science. – 2015. – Т. 348. – №. 6238. – С. aaa8075.
3. 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. – Т. 135. – С. 649-673.
4. Wu W. et al. Design and experiment of compact and effective carbon foam recuperative heat exchangers //Journal of thermophysics and heat transfer. – 2009. – Т. 23. – №. 2. – С. 339-345.
5. Lin Y. R. et al. Experimental study on heat transfer and pressure drop of recuperative heat exchangers using carbon foam. – 2010.
6. Cadavid Y., Amell A., Cadavid F. Heat transfer model in recuperative compact heat exchanger type honeycomb: Experimental and numerical analysis //Applied Thermal Engineering. – 2013. – Т. 57. – №. 1-2. – С. 50-56.