

16. **P. Biswas, P. Suganthan, R. Mallipeddi, G. Amaratunga**, "Optimal power flow solutions using differential evolution algorithm integrated with effective constraint handling techniques", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 68, pp. 81-100, 2018.

17. **S. Saremi, S. Mirjalili, A. Lewis**, "Grasshopper Optimisation Algorithm: Theory and application," *Advances in Engineering Software*, no. 105, pp. 30–47, 2017.

18. **A. G. Neve, G. M. Kakandikar, O. Kulkarni**, "Application of Grasshopper Optimization Algorithm for Constrained and Unconstrained Test Functions," *International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation, India*, vol. 6, no.3, 2017.

Ключевые слова: модель, оптимизация, поток, мощность, алгоритм, метод.

Аббас Майтхам Худайр Аббас- аспирант кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСиС

Косарева-Володько Ольга Владимировна – доцент кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСиС

e-mail: kosareva-volodko@rambler.ru, maitham2020hd@gmail.com

Адрес: 119991 Москва, Ленинский проспект д.4.

УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ АЦЕТОНА НА ПОПЕРЕЧНО-ОРЕБРЕННЫХ ТРУБАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ

УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»

Н.А. Вальченко, Д.С. Радюк

В представленной работе изложены результаты исследования процесса теплоотдачи при кипении ацетона на горизонтальных трубках. Исследовались трубки, с различной чистотой обработки поверхности, наружным диаметром 25 мм и трубки такого же диаметра с фрезерованным оребрением различного профиля. Наружный диаметр всех видов ребер одинаков и составлял 50 мм. Плотность подводимого теплового потока, $q = 2,9-30,1$ кВт/м². Определены закономерности влияния геометрических параметров теплоотдающей поверхности на вид кривой кипения. Опытным путем выявлено влияние условий «стеснения» на интенсификацию отдачи тепла от трубок к кипящей жидкости (ацетону) в канале. Полученные значения коэффициентов теплоотдачи трубок с ребрами в 2-3,5 раза выше аналогичных величин для трубок не имеющих оребрения, что свидетельствует о значительной эффективности теплоотдачи оребренных поверхностей.

Введение

Актуальность исследований определяется необходимостью отвода тепловых потоков высокой плотности с уменьшением габаритных размеров теплоотводящих поверхностей, с возможностью работы на различных типах теплоносителей [1, 2].

К тому же, до настоящего времени нет достаточно полных исследований по процессу теплообмена в условиях жидкостной прослойки, имеющей толщину соизмеримую с диаметром теплоотдающей трубки, и затрудненного отвода паровых пузырей, что снижает точность расчета различных теплообменных установок.

Экспериментальная установка и методика проведения исследований

Для проведения необходимых исследований на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого» была создана экспериментальная установка.

Тепловой поток к исследуемым поверхностям подводился от ТЭНа, размещенного внутри трубки. В изолированную камеру подавалась исследуемая жидкость, а образующаяся паровая фаза отводилась в конденсатор и возвращалась обратно в камеру. Регулируя расход охлаждающей жидкости в конденсаторе, в кольцевом канале камеры поддерживалось заданное давление.

Экспериментальные образцы изготавливались из дюралюминия. Образцы с наружным поперечным оребрением, представляющие собой горизонтальные трубки из дюралюминия, с трапецеидальным, треугольным и параболическим профилем ребра диаметром 50 мм. Для осуществления измерений температуры, на исследуемых образцах, устанавливались термопары.

Полученные результаты исследования и их анализ

Первоначально были получены опытные данные при кипении ацетона на гладких трубках в диапазоне тепловых потоков 7-98 кВт/м². Экспериментально определенные значения коэффициентов теплотдачи отображают интенсификацию процесса теплообмена в условиях «стеснения» [3, 4].

Опытные исследования, при кипении ацетона на оребренных трубках с различным профилем ребра, проведены в интервале тепловых потоков $q = 2,9-30,1$ кВт/м² при давлении равном атмосферному. В эксперименте применялись следующие типы оребренных трубок: с треугольным, параболическим и прямоугольным профилем ребра. Полученные расчетные величины плотности теплового потока на оребренных трубках, по сравнению с гладкими трубками, имеют меньшие значения. Это объясняется тем, что подводимый от ТЭНа тепловой поток относился к общей поверхности оребренной трубки, которая существенно больше, чем поверхность гладкой и шероховатой трубки.

Процесс образования паровых пузырей начинался у основания ребер, на

оребрённых поверхностях, при небольших температурных напорах и плотностях теплового потока ($0,5 - 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ и $5 \text{ }^\circ\text{C}$, $2,5 \text{ кВт/м}^2$ и 6 кВт/м^2 , соответственно, см. рис. 1), что свидетельствует о увеличении коэффициента теплоотдачи оребрённых поверхностей. Коэффициенты теплоотдачи для них в среднем в 2,75 раза выше, чем для гладкой трубки (рис. 2).

Хочется отметить, что форма графиков зависимостей $\Delta T = f(q)$ и $\alpha = f(q)$ оребрённых поверхностей определяется типом ребра [5-7], а сами кривые кипения оребрённых трубок, по сравнению с гладкими трубками, смещаются в область более низких температурных напоров. Наибольшие коэффициенты теплоотдачи, в диапазоне тепловых потоков $2,5 - 15 \text{ кВт/м}^2$, наблюдались на оребрённом образце с прямоугольным профилем. Это объясняется более быстрым прогревом прямоугольного ребра и, как следствием, жидкости между ребер. Соответственно и процесс парообразования начинался раньше.

В дальнейшем, с увеличением плотности теплового потока $q > 11 \text{ кВт/м}^2$, температурный напор прямоугольного оребрения становится соизмерим с аналогичным параметром трапецивидного оребрения. Так как зарождение паровых пузырей происходит в первую очередь у основания ребер, то с увеличением плотности теплового потока увеличивается объем образовавшейся паровой фазы и узкое, не меняющееся по высоте ребра, межреберное расстояние прямоугольного оребрения (по сравнению с другими оребрёнными поверхностями) затрудняет отвод паровых пузырей и приводит к росту температурного напора.

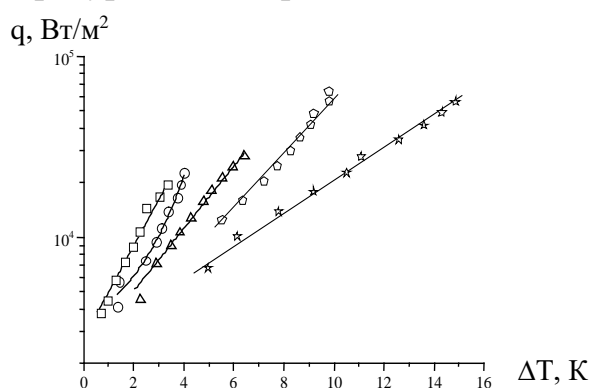


Рис. 1. Опытные зависимости $\Delta T = f(q)$ при кипении ацетона на исследуемых образцах при атмосферном давлении.

☆ - полированная трубка; ◊ - технически шероховатая трубка; △ - треугольный профиль ребра; ○ - параболический профиль ребра; □ - прямоугольный профиль ребра.

Достаточно высокие температурные напоры и, как следствие, низкие коэффициенты теплоотдачи у треугольного оребрения объясняются тем, что полная наружная площадь трубки с треугольным оребрением минимальна, а конвективный отвод нагретой жидкости из межреберного пространства и подвод холодной жидкости к основанию ребер максимальные, по сравнению с другими типами оребрённых поверхностей.

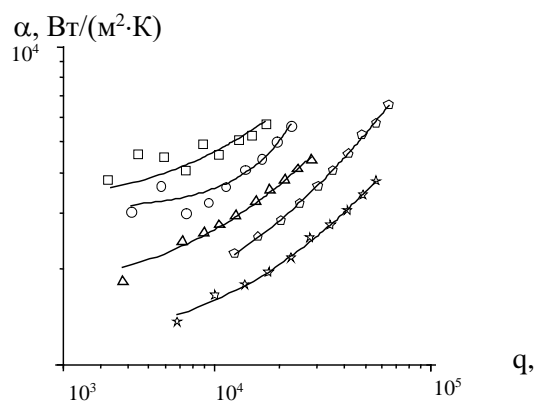


Рис. 2. Опытные зависимости $\alpha = f(q)$ при кипении ацетона на исследуемых образцах при атмосферном давлении.

Это подтверждается и визуальными наблюдениями за процессом кипения, который начинался на трубке с треугольным оребрением при более высоких температурных напорах и плотностях теплового потока ($2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 4 кВт/м^2).

Заключение

1. На основании проведенных экспериментов было получено подтверждение влияния условий «стеснения» на увеличение интенсивности процесса теплоотдачи при кипении ацетона на горизонтальных трубках в канале кольцевого профиля.

2. Экспериментальные исследования процесса кипения ацетона были проведены на поперечно-оребрённых трубках. Коэффициенты теплоотдачи, в этом случае были в 2-3,5 раза выше аналогичных величин для гладкой поверхности, что свидетельствует о том, что рассмотренный в работе метод интенсификации теплоотдачи обладает высокой эффективностью.

3. Определены закономерности влияния профиля ребра на вид кривой кипения. Установлено, что в диапазоне малых тепловых потоков ($2,9 - 11\text{ кВт/м}^2$) наиболее эффективным является прямоугольное оребрение, а при $q > 11\text{ кВт/м}^2$ и параболическое.

4. Полученные результаты могут быть использованы при разработке высокопроизводительных малогабаритных теплообменников, поверхности теплоотдачи которых работают в условиях «стеснения».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Керн, Д.** Развитые поверхности теплообмена: пер. с англ. / Д. Керн, А. Краус. – М.: Энергия, 1977. – 464 с. – Текст: непосредственный.

2. **Кутепов, А.М.** Гидродинамика и теплообмен при парообразовании / А. М. Кутепов, Л. С. Стерман, Н. Г. Стюшин. – М.: Высш. шк., 1977. – 352 с. – Текст: непосредственный.

3. **Малышев, А.А.** Истинные параметры кипящих хладагентов в трубах и каналах / А. А. Малышев, К. В. Киссер, А. В. Зайцев // Вестн. Междунар. акад. холода. – 2017. – № 2. – С. 53–56. – Текст: непосредственный.

4. **Володин, О.А.** Интенсификация теплообмена при кипении и испарении жидкостей на модифицированных поверхностях / О. А. Володин, Н. И. Печеркин, А. Н. Павленко // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 280–312. – Текст: непосредственный.

5. Интенсификация теплоотдачи и критические тепловые потоки при кипении на поверхностях с микрооребрением / И. А. Попов [и др.] // ТВТ. – 2017. – Т. 55, вып. 4. – С. 537. – Текст: непосредственный.

6. Влияние типа структурирования поверхности на теплоотдачу при испарении и кипении в стекающих пленках / О. А. Володин [и др.] // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 157. – Текст: непосредственный.

7. **Малышев, А.А.** Истинные параметры кипящих хладагентов в трубах и каналах / А. А. Малышев, К. В. Киссер, А. В. Зайцев // Вестн. Междунар. акад. холода. – 2017. – № 2. – С. 53–56. – Текст: непосредственный.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, оребренная поверхность, кольцевой канал, энергосберегающая технология.

Сведения об авторах

Вальченко Николай Адамович – старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология».

Радюк Дмитрий Сергеевич – студент группы ТЭ-51 кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология».

Email: nikolai_v@gstu.by

Адрес: Республика Беларусь, г. Гомель, проспект Октября, 48.

УДК 621.3

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕГЕТИКЕ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Гогорян М.Л., Н.В. Земцова, А.В. Щегольков

Повышение эффективности электроэнергетики основано на подходах создания инновационных с конструктивной точки зрения устройств, в которых могут быть использованы новые или улучшенные технические решения. Применение суперконденсаторов является новым направлением в системах электрогенерации, что позволяет реализовывать ранее недоступные режимы функционирования линейных электрогенераторов в условиях малых и апериодических колебаний.

Введение

Повышение эффективности электроэнергетических комплексов - используемых в технологиях возобновляемой энергетики (ветроэлектростанции) является важной научно-технической задачей и актуальной для таких отраслей, как АПК и ЖКХ. Использование суперконденсаторов в качестве промежуточного накопителя - позволяет формировать накопление заряда в условиях малого ветра, а также обеспечивает стабильный режим работы при зарядании литий-ионных аккумуляторов.

Теория вопроса

Конструктивные особенности линейного электрогенератора, который предназначен для использования в ветроэлектростанциях должны быть широкие диапазоны стабильной электрогенерации к.