

Рис. 3. Частотные спектры n -х гармонических составляющих напряжения

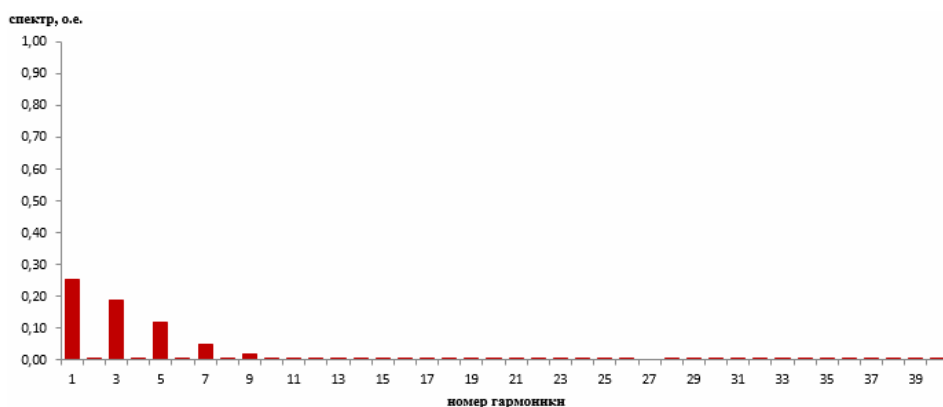


Рис. 4. Частотные спектры n -х гармонических составляющих тока

Литература

1. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О. Григорьев [и др.] // Новости электротехники. – 2002. – № 6.
2. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах промышленного электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ЗАМКНУТЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Т. Н. Никулина, Д. А. Светличный

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. А. В. Шаповалов

В современных условиях и в перспективе один из важных путей повышения экономичности энерготехнологических установок – совершенствование теплообменного оборудования с помощью внедрения эффективных способов интенсификации теплообмена.

Различные способы интенсификации теплообмена разработаны и исследованы в неодинаковой степени, лишь часть из них доведена до уровня промышленного использования.

Известны различные методы интенсификации теплообмена [1], [2]:

1. Способы интенсификации теплообмена путем модификации теплообменных поверхностей:

- *Применение коммерческих интенсифицирующих поверхностей и авторских поверхностей, полученных механической обработкой.*

В работе [3] описаны результаты экспериментального исследования пузырькового кипения хладона R123 на интенсифицирующей поверхности – горизонтально-ориентированной трубе с трехмерной микроструктурой, произведенной Wolverine Tube, Inc. (рис. 1). Сообщается об увеличении теплоотдачи при кипении на модифицированной трубе по сравнению с эталонной гладкой от шести до десяти раз.

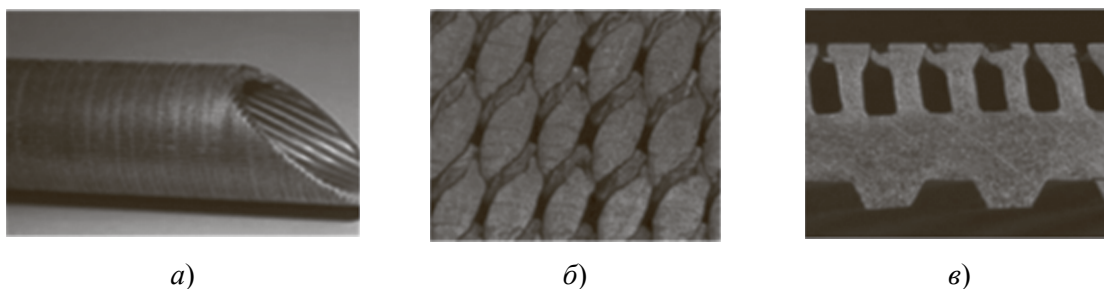


Рис. 1. Снимки экспериментальной трубы:
 а – сегмент трубы; б – увеличенное изображение наружной микроструктурированной поверхности; в – увеличенное изображение поперечного разреза стенки трубы

- *Интенсификация кипения и испарения с помощью проволочных покрытий.*

Развитие данного метода в современных экспериментальных работах [4]–[6], позволяет добиваться результатов, сопоставимых с применением специализированных коммерческих поверхностей кипения или авторских микроструктурированных поверхностей, полученных более сложными методами.

В [5] исследовалась интенсификация теплообмена при применении тонких металлических сеток с различным количеством слоев (1–4). Рабочей жидкостью служил спирт. Авторами достигнута значительная интенсификация теплоотдачи в режиме кипения – около восьми раз, продемонстрировано значительное снижение температурного напора. Показано, что применение четвертого слоя сетки ухудшает теплоотдачу.

С целью интенсификации кипения в [6] применялись многослойные медные сеточные покрытия с градиентной пористостью. Максимальные увеличения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи получены авторами при использовании градиентного покрытия из трех мелких и трех более грубых сеток (наложенных сверху) и составили 6,6 и 3 раза соответственно.

- *Применение оребрения, изменение шероховатости, влияние материала.*

В [7] исследовалось кипение хладона R134a на гладкой и микрооробренной поверхностях в диапазоне давлений 6,1–12,2 бар (рис. 2). Авторами показано, что теплоотдача для микрооробренной трубы с канавками треугольной формы несколько выше, чем для гладкой. Однако интенсификация заметна только при относительно высоких тепловых потоках и лишь на нижней части трубы, что связано с ростом крупных пузырей с «сухими пятнами» в основании трубы, тогда как в случае микрооробренной поверхности часть жидкости продолжает удерживаться в канавках, затягивая развитие кризиса пузырькового кипения.

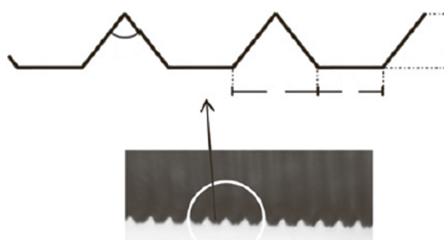


Рис. 2. Микроорребренная поверхность с канавками треугольной формы [7]

2. Способы интенсификации теплообмена в стесненных условиях.

В работах [8]–[12] экспериментально изучались теплогидродинамические характеристики при кипении воды, R134a в мини-микроканалах с гидравлическим диаметром от 0,2 до 1 мм.

Процессы кипения хладагентов изучались в [9]: R134a, R410A и водовоздушные смеси в миниканалах с гидравлическим диаметром канала 1 мм. В работе [8] исследовалось кипение хладагента R134a в канале с гидравлическим диаметром $D_h = 0,5$ мм при положительных температурах. В этих работах были отмечены следующие преимущества миниканальных технологий: высокий коэффициент теплоотдачи; высокая коррозионная стойкость, надежность. При этом в основном результаты исследований относятся к решению отдельных вопросов теплообмена либо гидродинамики.

В работах [10]–[13], основываясь на изучении процессов кипения хладагентов в трубах [8], были разработаны основы комплексного подхода к исследованию и моделированию теплогидродинамических процессов в трубах и миниканалах.

На основании проведенного обзора существующих методов интенсификации теплообмена теплопередающих поверхностей были определены варианты модернизации экспериментальной установки, созданной на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого [14], [15]:

а) в зоне конденсации выполнено наружное поперечное ребрение поверхности конденсатора (рис. 3). Материал ребра – латунь, толщина – 15 мм. Количество ребер – 202 шт., шаг ребрения – 2 мм, высота ребер – 16 мм;

б) в зоне парообразования изменен кольцевой зазор за счет изменения диаметров внутренней трубки (материал трубки – медь, диаметр – 20 и 15 мм, длина – 1 м). Посредством изменения ширины парового канала планируется увеличить теплообмен в зоне парообразования.



Рис. 3. Экспериментальный образец двухфазного замкнутого термосифона с улучшенными тепломассообменными характеристиками

Литература

1. Бессонный А. Н. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения : справочник / А. Н. Бессонный, Г. А. Дрейцер, В. Б. Кунтыш ; под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессоного. – СПб. : Недра, 1996. – 512 с.
2. Дзюбенко, Б. В. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах / Б. В. Дзюбенко, Ю. А. Кузма-Китча, А. И. Леонтьев – М. : ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2008. – 539 с.
3. Chen, T. An Experimental Investigation of Nucleate Boiling Heat Transfer from an Enhanced Cylindrical Surface / T. Chen // Appl. Therm. Eng. – 2013. – Vol. 59, iss. 1–2. – P. 355.
4. Chien, L. H. An Experimental Study of Pool Boiling and Falling Film Vaporization on Horizontal Tubes in R-245fa / L. H. Chien, Y. L. Tsai // Appl. Therm. Eng. – 2011. – Vol. 31, iss. 17–18. – P. 4044.
5. Dąbek, L. Ethyl Alcohol Boiling Heat Transfer on Multilayer Meshed Surfaces AIP Conference Proceedings / L. Dąbek, A. Kapjor, J. Orman // AIP Publ. LLC. – 2016. – Vol. 1745, iss. 1. – P. 020005.
6. Extraordinary Boiling Enhancement through Micro-Chimney Effects in Gradient Porous Micro-meshes for High-Power Applications / S. Zhang [et al.] // Energy Convers. Manage. – 2020. – Vol. 209. – P. 112665.
7. Nucleate Pool Boiling of R-134a on Plain and Micro-Finned Tubes / S. P. Rocha [et al.] // Int. J. Refrigeration. – 2013. – Vol. 36, № 2. – P. 456.
8. Khovalyg, D. M. Two phase flow dynamics during boiling of R134a refrigerant in minichannels / D. M. Khovalyg, A. V. Baranenko // Technical Physics. – 2015. – Vol. 85, № 3. – P. 34–41.
9. Niño, V. G. Characterization of Two-Phase Flow in Microchannels / V. G. Niño, P. S. Hrnjak, T. A. Newell // ACRC TR-202. – 2002. – October.
10. Кузнецов, В. В. Режимы течения и теплообмена при кипении движущегося хладагента R318с в кольцевом миниканале / В. В. Кузнецов, А. С. Шамирзаев // Теплофизика и аэромеханика. – 2007. – Т. 4, № 1. – С. 57–65.
11. Исследование теплообмена и гидродинамики при кипении недогретой воды в канале малого диаметра / Сузуки К. [и др.] // Тепловые процессы в технике. – 2012. – № 7. – С. 307–311.
12. Ховалыг, Д. М. Неустойчивости двухфазного течения веществ при кипении в микроканалах / Д. М. Ховалыг, А. В. Бараненко // Холодильная техника. – 2013. – № 10. – С. 45–47.
13. Малышев, А. А. Новые методы прогнозирования режимов течения кипящих хладагентов в макро- и миниканалах / А. А. Малышев, К. В. Киссер, А. С. Филатов // Вестн. Междунар. акад. холода. – 2016. – № 2. – С. 67–70.
14. Экспериментальное исследование пародинамического термосифона с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе / Л. Л. Васильев [и др.] // Тепло- и массоперенос 2015 : сб. науч. тр. / ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси. – Минск, 2016. – С. 18–23.
15. Экспериментальное исследование работы термосифонов, заправленных хладагентами R404A, R407C, R410A / А. В. Шаповалов [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2020. – № 3/4. – С. 87–93.

**ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ В СВЯЗИ С ЛИКВИДАЦИЕЙ
НАПРЯЖЕНИЯ 220 КВ**

А. А. Новиков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. П. В. Лычѐв

На сегодняшний день системообразующая сеть объединенной энергетической системы (ОЭС) Беларуси сформирована на напряжении 220–750 кВ. Основными целями развития системообразующей сети ОЭС Беларуси являются:

– организация выдачи мощности существующих электростанций при их реконструкции, вводе новых блоков;