

- мусоросжигательных электростанций в Украине. – Режим доступа: <https://vse.energy/docs/OEW-ranov.pdf>. – Дата доступа: 11.03.23.
2. Энергия из отходов: новейшие технологии против мусора. – Режим доступа: https://rostec.ru/news/energiya-iz-otkhodov-zelenye-tekhnologii-protiv-musora/?sphrase_-id=492-6878. – Дата доступа: 11.03.23.
3. Европейская конфедерация заводов по преобразованию мусора в энергию. Confederation of European Waste-to-Energy Plants. – Режим доступа: <http://www.sewer.eu/>. – Дата доступа: 11.03.23.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ЗАМКНУТЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

О. А. Кныш

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

Научный руководитель А. В. Шаповалов

Рассмотрены способы интенсификации теплообмена путем модификации двухфазного термосифона. Разработана и запатентована конструкция пародинамического термосифона с организованной циркуляцией теплоносителя. Создана экспериментальная установка для исследования эффективности работы замкнутых двухфазных теплопередающих устройств. Экспериментально исследован процесс теплообмена в замкнутых теплопередающих устройствах, заправленных дистиллированной водой, этиловым спиртом и озонобезопасными хладагентами.

Ключевые слова: термосифон, интенсификация теплообмена, тепломассообмен.

Для успешной работы современного энергетического оборудования важное значение имеет отвод теплоты от отдельных тепловыделяющих элементов и поверхностей [1–3].

Замкнутые двухфазные термосифоны многими авторами [4–6] рассматриваются как достаточно перспективные, высокоэффективные, надежные теплопередающие теплообменные устройства за счет автономности, конструкционной гибкости, простоты изготовления, отсутствия движущихся частей, высокой интенсивности внутренних процессов теплопереноса, отсутствия насосов для перекачки теплоносителя и др. [7]. В связи с этим актуальным является исследование возможности применения термосифонов как основного элемента системы охлаждения приборов, устройств и оборудования [8–9].

Известны различные методы интенсификации теплообмена [10, 11]:

1. Способы интенсификации теплообмена путем модификации теплообменных поверхностей:

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

В работе [12] описаны результаты экспериментального исследования пузырькового кипения хладона R123 на интенсифицирующей поверхности – горизонтально ориентированной трубе с трехмерной микроструктурой, произведенной «Wolverine Tube, Inc» (рис. 1).

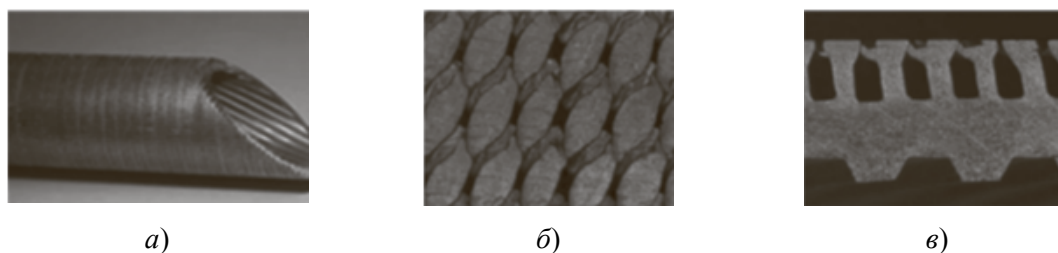


Рис. 1. Снимки экспериментальной трубы:
 а – сегмент трубы; б – увеличенное изображение наружной микроструктурированной поверхности; в – увеличенное изображение поперечного разреза стенки трубы

• Интенсификация кипения и испарения с помощью проволочных покрытий. Развитие данного метода в современных экспериментальных работах [13–15] позволяет добиваться результатов, сопоставимых с применением специализированных коммерческих поверхностей кипения или авторских микроструктурированных поверхностей, полученных более сложными методами.

В [16] 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 [17] 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 [18] исследовалось кипение хладона R134a на гладкой и микроорбренной поверхностях в диапазоне давлений 6,1–12,2 бар (рис. 2). Авторами показано, что теплоотдача для микроорбренной 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 микроорбренной поверхности часть жидкости продолжает удерживаться в канавках, затягивая развитие кризиса пузырькового кипения.

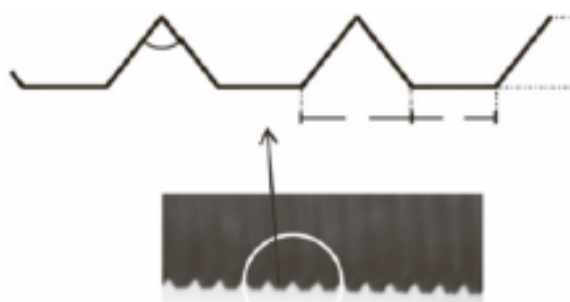


Рис. 2. Микроорбренная поверхность с канавками треугольной формы [18]

2. Способы интенсификации теплообмена в стесненных условиях. В работах [17–21] 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 [18]: R134a, R410A и водо-воздушные смеси в миниканалах с гидравлическим диаметром канала 1 мм. В работе [17] исследовалось кипение хладагента R134a в канале с гидравлическим диаметром $Dh = 0,5$ 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 [19–22], основываясь на изучении процессов кипения хладагентов в трубах [17], 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 [23, 24]:

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



Рис. 3. Экспериментальный стенд

Посредством изменения ширины парового канала планируется увеличить теплообмен в зоне парообразования.



Рис. 4. Экспериментальный образец двухфазного замкнутого термосифона с улучшенными тепломассообменными характеристиками

Литература

1. Garimella, S. V. On-chip thermal management with microchannel heat sinks and integrated micropumps / S. V. Garimella, V. Singhal, D. Liu // *Proceedings of the IEEE*. – 2006. – Vol. 94, N 8. – P. 1534–1548.
2. Investigation of a long term passive cooling system using two-phase thermosyphon loops for the nuclear reactor spent fuel pool / W. Fu [et al.] // *Annals of Nuclear Energy*. – 2015. – Vol. 85. – P. 346–356.
3. Xue, Z. H. High performance loop heat pipe with flat evaporator for energy-saving cooling systems of supercomputers / Z. H. Xue, W. Qu, M. H. Xie // *J. Heat Transfer*. – 2020. – N 142 (3). – P. 7.
4. Пародинамические термосифоны и их применение в тепловом оборудовании различного назначения / Леонард Л. Васильев [и др.] // *Тепло- и массоперенос – 2013 : сб. науч. тр. / ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси. – Минск, 2014. – С. 12–16.*
5. Безродный, М. К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика / М. К. Безродный, И. Л. Пиоро, Т. О. Костюк. – К. : Факт, 2005. – 704 с.
6. Накоряков, В. Е. Тепломассообмен при фазовых переходах и химических превращениях в микроканальных системах / В. Е. Накоряков, В. В. Кузнецов // *Тр. 4-й Рос. нац. конф. по теплообмену, Москва, 23–27 окт., 2006 г. : в 8 т. / РАН [и др.]. – М., 2006. – Т. 1. – С. 33–37.*
7. Шаповалов, А. В. Результаты экспериментального исследования пародинамического термосифона / А. В. Шаповалов, А. В. Родин, Р. Н. Жихарев // *Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 3. – С. 58–64.*
8. Васильев, Л. Л. Перспективы применения тепловых насосов в Республике Беларусь / Л. Л. Васильев // *Инженер.-физ. журн. – 2005. – Т. 78, № 1. – С. 23–34.*
9. Безродный, М. К. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике / М. К. Безродный, С. С. Волков, В. Ф. Мокляк. – К. : Вища школа, 1991. – 75 с.
10. 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.
11. Дзюбенко, Б. В. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах / Б. В. Дзюбенко, Ю. А. Кузма-Китча, А. И. Леонтьев. – М. : ФГУП «ЦНИИАТОМИН-ФОРМ», 2008. – 539 с.
12. 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.
13. 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.
14. 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.*
15. Extraordinary Boiling Enhancement through Micro-Chimney Effects in Gradient Porous Micromeshes for High-Power Applications / S. Zhang [et al.] // *Energy Convers. Manage.* – 2020. – Vol. 209. – P. 112665.
16. Nucleate Pool Boiling of R-134a on Plain and Micro-Finned Tubes / S. P. Rocha [et al.] // *Int. J. Refrigeration*. – 2013. – Vol. 36, N 2. – P. 456.
17. 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, N 3. – P. 34–41.
18. Niño, V. G. Characterization of Two-Phase Flow in Microchannels / V. G. Niño, P. S. Hrnjak, T. A. Newell // *ACRC TR-202. – 2002. – October.*
19. 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.*
20. Исследование теплообмена и гидродинамики при кипении недогретой воды в канале малого диаметра / К. Сузуки [и др.] // *Тепловые процессы в технике. – 2012. – № 7. – С. 307–311.*
21. Ховалыг, Д. М. Неустойчивости двухфазного течения веществ при кипении в микроканалах / Д. М. Ховалыг, А. В. Бараненко // *Холодильн. техника. – 2013. – № 10. – С. 45–47.*
22. 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.*

23. 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.
24. 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.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ: ЦИФРОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ

В. А. Маркевич

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

Научный руководитель Т. В. Алфёрова

Рассмотрены преимущества и целесообразность применения цифровой подстанции как одной из инновационных технологий в области цифровизации электроэнергетики.

Ключевые слова: инновационные технологии, цифровая подстанция, логические уровни, интеллектуальная сеть, GOOSE-сообщения, безопасность, надежность.

Инновационными технологиями в области цифровизации электроэнергетики (цифровая подстанция) можно считать «интеллектуальные» технологии управления объектами электросетевого комплекса в рамках международного стандарта «МЭК 61850. Цифровые подстанции»: «цифровой переход» в электроэнергетике.

Цифровая подстанция (ЦПС) – это объект энергетического хозяйства, выполняющий основные технологические функции передачи, преобразования, распределения и снабжения электроэнергией потребителей, состоящий из интеллектуального первичного и вторичного оборудования, использующего унифицированный цифровой информационный обмен данными для организации внутренних (вторичных) систем энергообъекта с целью поддержания его работоспособности и выполнения основных функций.

Цели внедрения ЦПС и причины, по которым нужно внедрять технологии:

- снижение ошибок и повышение, надежности на ПС. Как следствие повышение обоснованности и своевременности принятия управленческих решений;
- повышение функциональной совместимости устройств – переход на новый уровень;
- сокращение времени на проектирование и наладку;
- сокращение затрат на проектирование и строительство;
- сокращение затрат на эксплуатацию ЦПС.

Проблемы, мешающие внедрению ЦПС:

- технические вопросы, требующие дополнительной стандартизации. Нужно время для выработки и применения определенных стандартизированных решений;
- необходимо разрабатывать ПО для проектирования ЦПС. Разработка ПО в соответствии с МЭК 61850-4;
- применение новых технологий. Оборудование и ПО должно проходить опытную эксплуатацию для определения явных преимуществ;
- повышение квалификации наладочных, эксплуатирующих и проектных организаций. Создание и проведение курсов по ЦП на базе сформированных стандартов по ЦПС.