

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗВИТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В АБСОРБИЦИОННЫХ БРОМИСТОЛИТИЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ТЕПЛОТЫ (АБПТ)ⁱ

К.И. Степанов¹, О.В. Волкова²,

1 - ИТ СО РАН им С.С. Кутателадзе, г. Новосибирск, Россия

2 –НИУ ИТМО, Институт холода и биотехнологий, г. Санкт-Петербург, Россия

stepanov_ki@mail.ru

Абсорбционные бромистолитиевые преобразователи теплоты (АБПТ), такие как холодильные машины (АБХМ) и тепловые насосы (АБТН) широко распространены в России и за рубежом, поскольку данная техника является очень перспективной в плане энергосбережения и охраны окружающей среды.

На рис. 1 схематично изображены основные аппараты агрегаты АБПТ на примере АБХМ с одноступенчатой регенерацией раствора и паровым обогревом генератора.

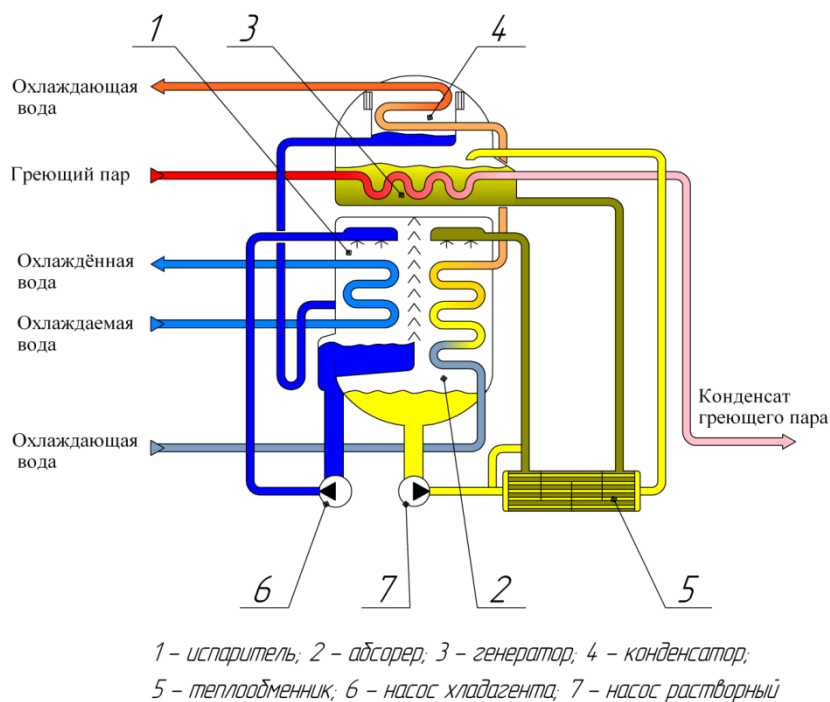


Рис. 1. Схема принципиальная АБХМ с паровым обогревом.

В условиях острой конкуренции производителей АБПТ, постоянно возрастающих цен на материалы и раствор бромистого лития основным направлением совершенствования данной техники является снижение массогабаритных характеристик оборудования и, соответственно, его цены.

Существует два основных пути решения этой задачи, одному из которых посвящена данная статья:

- Химический (поверхностно-активные вещества (ПАВ) для интенсификации теплообмена, ингибиторы коррозии для применения менее дорогостоящих конструкционных материалов и продления срока службы оборудования);
- Конструкционный (выгодное расположение и форма трубных пучков и оросительных устройств для оптимального смачивания поверхностей теплообмена, развитые поверхности теплообмена (рис. 2)) [1,2,4].

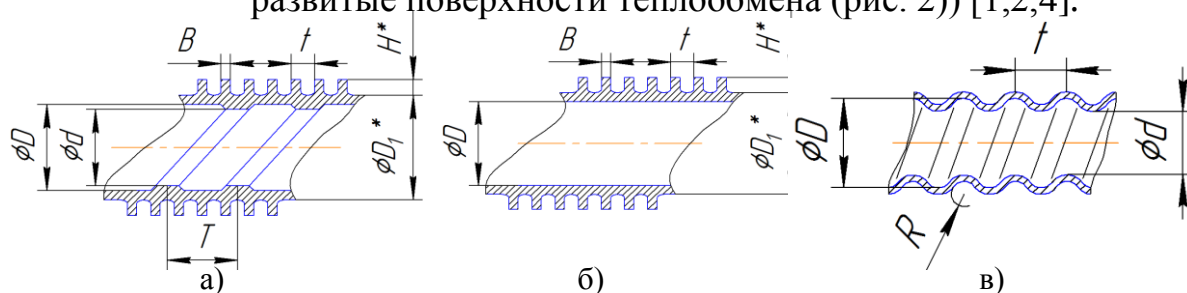


Рис. 2. Принципиальные технические решения для теплообменных труб испарителя, абсорбера и генератора (а) – (б) и конденсатора (в).

На рис. 3 показаны сравнительные результаты многолетней работы научных коллективов СПбГУНиПТ, г. Санкт-Петербург, ИТ СО РАН им. С.С. Кутателадзе и ООО «ОКБ Теплосибмаш», г. Новосибирск.

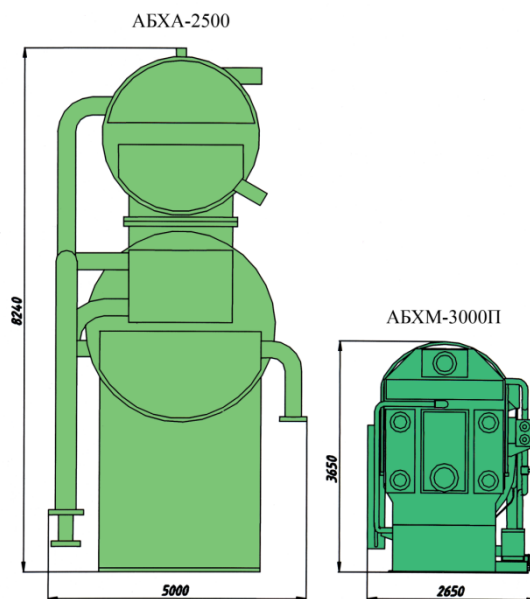


Рис. 3. Сравнительные размеры АБХМ российского производства разных лет (слева – выпускаемые с 1964 по 1991 гг., справа – с 2000 г. по н.в.).

Путем внедрения новых конструкционных материалов теплообменных труб, таких как нержавеющие стали и медно-никелевые сплавы, удельная металлоёмкость оборудования уменьшилась в разы. Было сокращено также и количество заправляемого раствора.

В настоящее время в отечественных АБХМ сложные поверхности теплообмена применяются только в конденсаторе (рис. 2в), что существенно увеличивает коэффициенты теплоотдачи как с внутренней, так и с наружной стороны труб, а также уменьшает скорость отложений солей жесткости оборотной воды [3].

Как правило, в современных АБПТ генератор является затопленным, соответственно, уменьшение количества теплообменных труб позволяет:

- уменьшить количество заправляемого раствора в машину;
- интенсифицировать теплообмен, поскольку коэффициент теплоотдачи на одиночной гладкой трубе при кипении раствора бромистого лития в большом объеме пропорционален удельному тепловому потоку [5]:

$$\alpha \sim q_F^n, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи при кипении;

q^F – удельный тепловой поток, Вт/м²;

n – коэффициент, зависящий от давления и концентрации раствора.

В настоящее время российские АБПТ несколько уступают зарубежным по таким показателям, как удельная металлоёмкость и габаритные размеры в среднем на 15-30 %. А в случае отдельно взятых аппаратов – до 2 раз (рис. 4).

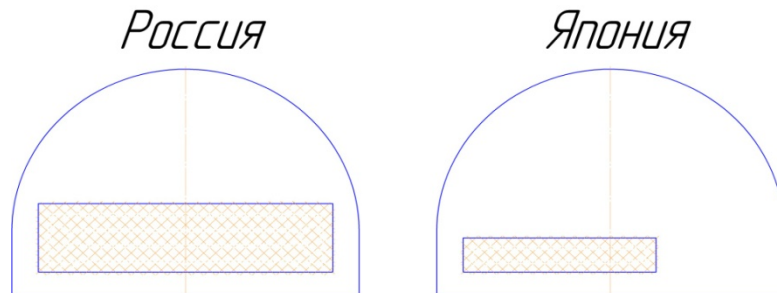


Рис. 4. Относительные размеры камер генераторов АБПТ российского производства и производства Японии.

Это различие объясняется тем, что в генераторах (десорберах) зарубежных машин используются оребренные трубки.

Выбор конфигурации ребра играет важную роль, поскольку это определяет физику процесса.

Расстояние между ребрами является важнейшим геометрическим параметром, влияющим на закономерности теплоотдачи при кипении [6]. Оптимальное расстояние между ребрами:

$$b \cong 0,2 \cdot l_\sigma, \quad (2)$$

где l_σ – капиллярная постоянная, м:

$$l_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot (\rho' - \rho'')}} , \quad (3)$$

где σ – поверхностное натяжение, Н/м;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 $\rho' - \rho''$ – плотности жидкости и пара, кг/м³.

Выводы:

Оребрение поверхности является хорошо известным и проверенным способом интенсификации теплообмена при кипении. В области малых тепловых потоков коэффициент теплопередачи может быть увеличен до 2-х раз при кипении воды и раствора бромистого лития и до 5 раз при кипении органических жидкостей.

Производство АБПТ с развитыми поверхностями теплообмена можно считать экономически выгодным в том случае, если стоимость оребренной трубы не будет превышать стоимость гладкой более чем в 2 раза, что в условиях серийного производства и дорожающих конструкционных материалов и раствора бромида лития вполне достижимо [2].

1. Carrier-Sanyo. Absorption Chiller SERVICE TRAINING BOOK.
2. Kevin A. GOODHEART Low Firing Temperature Absorption Chiller System, DECEMBER, 2000
3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. М., Энергоатомиздат, 1998.
4. Wang C., Zhen Lu, and Zhou J. "Enhancement of Heat and Mass Transfer in Lithium Bromide Falling Film Generator." Proceedings of the International Sorption Heat Pump Conference, Munich, Germany, 301-305.
5. Чернобыльский И.И., Кремнев О.А., Чавдаров А. Теплоиспользующие установки для кондиционирования воздуха. – Киев: Машгиз, 1958. – 267 с.
6. Гогонин И.И. Силкачев А.Е. Теплообмен и критические тепловые потоки при кипении на оребренных поверхностях. Теплофизика высоких температур, 1991, т. 29, №69, с. 1127.

ⁱ Данная работа проведена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013гг. Мероприятие 1.2.1., лот 4, соглашение №8081 от 20 Июля 2012 г.