

УДК 621.565:621.59

**М.Б. Кравченко**, канд. техн. наук

Одесская национальная академия пищевых технологий, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082

e-mail: [krautchenko@i.ua](mailto:krautchenko@i.ua)ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9310-2166>

## ВОЛНОВОЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА

*Волновой подход к описанию периодических процессов адсорбции и десорбции позволяет с единых позиций рассматривать различные адсорбционные технологии разделения газовых смесей. В связи с подобием процессов тепло- и массообмена все результаты, полученные для периодических процессов адсорбции могут быть с успехом перенесены на подобные процессы теплообмена. Приводится описание волнового подхода к построению математической модели регенеративного теплообменника. Проведен анализ адекватности математической модели реальным процессам теплообмена на примере регенеративного теплообменника газовой криогенной машины. Максимальная эффективность работы регенеративного теплообменника оказалась равной 0,81, что очень близко к реальному значению, при котором холодопроизводительность машины на азотном уровне температур составляет 700 Вт.*

**Ключевые слова:** Периодические процессы теплообмена. Регенеративный теплообменник. Газовая криогенная машина. Обратный цикл Стирлинга.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Волновой подход к анализу и расчету периодических процессов адсорбции и десорбции, изложенный в [1,2], позволяет не только существенно упростить расчёты периодических процессов разделения газов, но и лучше понять физику процессов, протекающих в современных адсорбционных аппаратах.

В связи с подобием процессов тепло- и массообмена все результаты, полученные для периодических процессов адсорбции, могут быть с успехом перенесены на подобные процессы теплообмена. Наиболее очевидным аналогом периодических процессов адсорбции и десорбции являются периодические процессы теплообмена в регенеративных теплообменниках.

Теплообменники регенеративного типа или просто регенеративные теплообменники — это теплообменные аппараты периодического действия. В регенеративных теплообменниках тепло от нагретой среды передается насадке, а затем от нагретой насадки — холодной среде.

Основной проблемой, с которой приходится сталкиваться разработчикам регенеративных теплообменников, является необходимость учёта процессов нестационарного теплообмена внутри элементов насадки. В технических расчётах этой проблемой обычно пренебрегают, сводя расчёт регенеративного теплообменника к более простому расчёту рекуперативного теплообменника [3].

В связи со сложностью учёта нестационарного теплообмена в элементах насадки регенеративного

теплообменника распространено мнение о том, что с этим можно справиться за счёт большого объёма вычислений, которые необходимо выполнять при решении дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих процессы нестационарной теплопроводности в твердом теле.

Основная проблема, возникающая при расчёте теплообменника с учётом продольной теплопроводности его стенки, заключается в том, что такой теплообменник необходимо рассматривать как одно целое. Поэтому широко используемые в настоящее время методы расчёта, основанные на разбиении теплообменника на множество участков, на каждом из которых все параметры считаются неизменными, оказываются непригодными, как только возникает необходимость учёта продольной теплопроводности такого теплообменника.

В работе автора [4] на примере задачи, которая допускает аналитическое решение, показано, что как только начинает учитываться продольная теплопроводность стенки теплообменника, проблемы, которые возникают при расчёте таких теплообменников, приобретают принципиальный характер в связи с тем, что теплообменник необходимо рассматривать как одно целое. При попытке учёта нестационарного теплообмена в насадке регенеративного теплообменника эти трудности растут в геометрической прогрессии.

В ряде публикаций [5-8] приводятся решения системы дифференциальных уравнений, описывающих работу противоточного теплообменника с учётом его продольной теплопроводности. При определении констант, входящих в общее решение этой системы дифференциальных уравнений, теплообменник также рассма-