

РАСЧЕТ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ
АППАРАТОВ
КРИОГЕННЫХ
УСТАНОВОК

В. П. АЛЕКСЕЕВ,
Г. Е. ВАЙНШТЕЙН
П. В. ГЕРАСИМОВ



Ленинград
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
Ленинградское отделение
1987

ББК 31.392
А 47
УДК 621.59

Рецензенты В. А. Григорьев, А. Б. Грачев

А 47 **Алексеев В. П. и др.**
Расчет и моделирование аппаратов криогенных установок / В. П. Алексеев, Г. Е. Вайнштейн, П. В. Герасимов. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. — 280 с.: ил.

В книге изложены методы расчета, моделирования и оптимизации аппаратов криогенных установок: ректификационных и регенеративных теплообменников, конденсаторов-испарителей, ректификационных колонн, адсорберов. Освещены вопросы определения кинетических параметров тепломассообменных процессов, описываемых дифференциальными уравнениями, расчета квазистационарных режимов работы систем теплообменных аппаратов, применения теории информации в расчетах ректификационных колонн. Приведены фактические материалы, примеры, иллюстрирующие излагаемые методики, и программы для ЭВМ на языке ПЛД.

Книга предназначена для инженерно-технических работников и аспирантов, занимающихся разработкой, исследованием и применением криогенных установок, будет полезна студентам вузов, обучающимся соответствующим специальностям.

А 2303050000—105 223—86
051(01)—87

ББК 31.392

747862

К-30

© Энергоатомиздат, 1987

Институт Горькая

ПРЕДИСЛОВИЕ

В принятых на XXVII съезде КПСС Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года указано, что главным средством повышения темпов экономического развития страны является всесторонняя и последовательная интенсификация на основе высших достижений науки и техники. К важнейшим направлениям научно-технического прогресса относятся освоение передовых технологий, автоматизация производства и проектирования с помощью ЭВМ.

Одной из особенностей современного научно-технического прогресса является интенсивное развитие криогенной техники и технологии. Непрерывно расширяется круг применения криогенного оборудования в промышленности и в научных исследованиях, уровень и темпы развития которых тесно связаны с возможностями и достижениями криогенной техники.

Криогенное машиностроение выпускает установки для получения газообразных и жидких продуктов разделения воздуха, гелиевые установки для производства холода на уровне 2—20 К и для сжижения гелия, оборудование для хранения и газификации жидких криопродуктов и другое оборудование.

Появились новые области применения криогенной техники: имитация условий космического пространства; электрические машины со сверхпроводящими обмотками; охлаждение квантовых генераторов, приемников инфракрасного излучения и других радиоэлектронных устройств; сверхпроводящие соленоиды в магнетогидродинамических генераторах и ускорителях элементарных частиц; замораживание и длительное хранение продуктов, тканей и клеток живых организмов, крови, спермы животных.

Число научно-исследовательских работ в области криогенной техники в СССР и за рубежом быстро растет. Одновременно расширяется круг специалистов, участвующих в исследовании, разработке и применении криогенного оборудования. Существует достаточно обширная литература по криогенной технике, основное место в которой занимают вопросы термодинамического расчета схем криогенных установок; вопросы расчета, и в особенности математического моделирования, аппа-

ратов освещены еще недостаточно полно и не всегда на современном уровне. Результаты исследовательских работ рассеяны по отечественным и иностранным периодическим изданиям и не всегда доступны широкому читателю.

Многочисленные тепло- и массообменные аппараты относятся к основным элементам криогенных систем. При их создании необходимо тщательно учитывать специфику техники низких температур. Традиционные методы расчета аппаратов по осредненным характеристикам не позволяют рассчитать их с достаточной точностью, выполнить надежную технико-экономическую оптимизацию.

В связи с потребностями практики все больше исследований и публикаций посвящается применению методов вычислительной математики и изложению алгоритмов решения задач теории тепломассообмена и расчета тепломассообменных аппаратов. В настоящее время не существует издания, совмещающего систематическое изложение современных методов расчета тепломассообменных аппаратов криогенных установок с описанием реализующих эти методы алгоритмов и программ для ЭВМ.

В данной книге поставлена цель восполнить указанные пробелы. В ней рассмотрены теоретические основы расчета рекуперативных и регенеративных теплообменников, конденсаторов-испарителей, ректификационных колонн, адсорбционных установок, газификаторов криогенных жидкостей и других аппаратов, приведены обширные фактические материалы, примеры, иллюстрирующие излагаемые методики, и программы для ЭВМ на алгоритмическом языке ПЛ/1.

Изложены результаты работ по методам расчета тепломассообменных и гидравлических характеристик теплообменных и ректификационных аппаратов, оптимизации трубчатых витых теплообменников и адсорбционных блоков очистки воздухо-разделительных установок, применению методов статистической теории информации в расчетах ректификационных аппаратов.

Значительное внимание уделено постановке и решению задач математического моделирования аппаратов и их систем. Рассмотрены нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие стационарный и нестационарный тепло- и массоперенос в одномерной постановке задачи, и изложены схемы численного интегрирования этих уравнений.

В книге рассмотрены основные физические закономерности массопереноса и совместного тепло- и массопереноса в движущихся двухфазных системах газ (пар) — жидкость, выполнен анализ ряда факторов, влияющих на интенсивность процессов, освещены вопросы определения кинетических параметров тепломассообменных процессов, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями, расчета квазистационарных режимов работы систем теплообменных аппаратов криогенных гелиевых установок, оптимизации новых типов испарителей — газификаторов криогенных жидкостей.

Задача определения кинетических параметров процесса тепло- и массопереноса сформулирована как задача оценки параметров дифференциальных уравнений и решена минимизацией квадратичных функционалов. Это позволило строго определить сопротивление массопереносу в фазах при пленочной ректификации как на участках стабилизации, так и стабилизированного течения. Задача расчета квазистационарных режимов работы систем теплообменных аппаратов криогенных гелиевых установок сформулирована в виде общей задачи нелинейного программирования и решена методами условной минимизации.

Рассмотрена совокупность нестационарных процессов, протекающих в адсорберах, что позволяет рассчитывать динамику всех стадий работы блоков очистки воздухо-разделительных установок с учетом различных конструктивных и технологических факторов.

Методы расчета и моделирования основных аппаратов изложены с единых позиций, обсуждены вопросы применения этих методов и моделей при проектировании криогенного оборудования. В ряде разделов излагаются новые результаты, полученные авторами и их сотрудниками.

Приведенные в книге программы для ЕС ЭВМ на алгоритмическом языке ПЛ/1 готовы к использованию.

Книга рассчитана на инженеров, научных сотрудников и аспирантов, занимающихся разработкой, исследованием и применением криогенных систем. Книга также полезна студентам, обучающимся специальности «Криогенная техника».

Отзывы о книге, замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 191065, Ленинград, Марсово поле, 1, Ленинградское отделение Энергоатомиздата.

Авторы