

**И.К. Буткевич**Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина, 2, г. Москва, РФ, 117334  
e-mail: butkevich@kapitza.ras.ru

## ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КРИОГЕННЫХ ГЕЛИЕВЫХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ

*Крупные криогенные гелиевые системы, создаваемые для криогенного обеспечения объектов со сверхпроводящими устройствами, в большинстве случаев работают в смешанных режимах. Для характеристики особенностей таких систем термодинамически корректно трактуются понятия ожижительного, рефрижераторного и смешанного режимов работы. Приводятся некоторые примеры определения рабочей зоны на характеристике криогенной гелиевой установки. Отмечаются трудности, встречающиеся на последней стадии захлаживания криогенных гелиевых систем вместе с объектом криостатирования.*

**Ключевые слова:** Криогенная установка. Ожижитель. Рефрижератор. Дросселирование. Детандер. Теплообменник. Холодопроизводительность. Гелий. Режим работы.

**I.K. Butkevich**

## FEATURES OF OPERATING MODES OF CRYOGENIC HELIUM PLANTS AND SYSTEMS

*Large cryogenic helium systems created for cryogenic maintenance of objects with superconducting devices work in the mixed modes in most cases. For the characteristic of features of such systems it is thermodynamic correctly defined conception of liquefier, refrigerator and mixed operating modes. Some examples of definition of working zone on the characteristic of cryogenic helium plant are resulted. Meeting difficulties on last stage for cooling of cryogenic helium systems together with cryostatting objects are marked.*

**Keywords:** Cryogenic plant. Liquefier. Refrigerator. Throttling. Expander. Heat-exchanger. Refrigerating capacity. Helium. Operating mode.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость ещё раз обратиться к рассмотрению казалось бы очевидных для криогенной техники определений ожижительного и рефрижераторного режимов работы криогенных систем (КС) и установок (КУ) вызвана прежде всего тем, что их чёткая трактовка отсутствует в технической литературе. Приведённая в [1] классификация криогенных установок по назначению не добавляет ясности в этот вопрос. Аналогично ограниченный характер носит попытка классифицировать криогенные системы и в [2]: «Система класса  $R$  (рефрижераторы) предназначена для отвода тепла от объектов ..., а система класса  $L$  (ожижитель) — для перевода вещества из газообразного состояния в конденсированное...».

Указанные определения не содержат в себе информации о термодинамической сущности ожижительного и рефрижераторного режимов КУ (КС). Хотя известно, что ожижительная и рефрижераторная КУ отличаются как построением цикла и распределе-

нием потоков криоагента, так и разной термодинамической эффективностью. Это обусловлено, прежде всего, различным соотношением массовых потоков в теплообменных аппаратах этих КУ и отличающимся изменением в них эксергии криоагента.

Представляется более корректным и термодинамически строгим в основу классификации ожижительных и рефрижераторных КУ положить принцип использования в теплообменных аппаратах КУ эксергии выводимого из неё криоагента (криопродукта), иными словами — принцип рекуперации холода.

### 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИЖИТЕЛЬНОЙ И РЕФРИЖЕРАТОРНОЙ КУ

Исходя из вышеизложенного предлагается под ожижительной (квазиожижительной\*) КС (КУ) понимать такую, в которой весь ожиженный криоагент, покидающий её при криогенной температуре (криопродукт), затем не участвует в процессе теплообмена в аппаратах КС, а под рефрижераторной КС (КУ) —

\* Под «квазиожижительной» КС (КУ) понимается система (установка), в которой криопродукт находится не в жидком состоянии, а в виде газа, шуги или твёрдого тела.