

УДК 621.59

**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 ОДНО- И ДВУХКОНТУРНЫХ КРИОГЕННЫХ ГЕЛИЕВЫХ СИСТЕМ**

*Сверхпроводящие устройства (СПУ) как объекты криостатирования характеризуются малыми удельными тепловыми нагрузками и значительными их колебаниями. При создании криогенных гелиевых систем (КГС) для СПУ стремятся к минимальным затратам энергии. Кроме этого в КГС применяют такие схемы, чтобы оптимальный режим их работы не зависел от условий работы криостатируемых объектов. Такими системами являются двухконтурные КГС с рефрижераторами с избыточным обратным потоком (РИОП). Использование в ступени окончательного охлаждения РИОП детандера позволило не только приблизить эффективность двухконтурных КГС с РИОП в расчётном режиме к одноконтурным КГС с рефрижераторными установками с многоступенчатым расширением, но и превзойти последние при изменении тепловой нагрузки в широком диапазоне её значений.*

**Ключевые слова:** Гелий. Сверхпроводящее устройство. Криогенная гелиевая система. Контур криогенной системы. Ступень предварительного охлаждения. Ступень окончательного охлаждения. Рефрижератор с избыточным обратным потоком. Детандер. Эжектор. Криостатирование.

**I.K. Butkevich****FEATURES ONE- AND TWO-CIRCUIT CRYOGENIC HELIUM SYSTEMS**

*The superconducting devices (SCD) as objects of cryostatting are characterized by small specific thermal loadings and their significant variations. At creation cryogenic helium systems (CHS) for cyostatting SCD aspire to the minimal expenses of energy. Except that in CHS apply such circuits that the optimum mode of their work didn't depend on operating conditions of cryostatting objects. Such systems are two-circuit CHS with refrigerators with excess reverse flow (RERF). Use the RERF in step of final cooling of expander has allowed not only to approach the efficiency of two-circuit CHS with RERF in settlement mode to one-circuit CHS with refrigerator installations with multistage expansion, but also to surpass the last during change of thermal loading in wide range of its values.*

**Keywords:** Helium. Superconducting device. Cryogenic helium system. Contour of cryogenic system. Step of precooling. Step of final cooling. Refrigerator with excess reverse flow. Expander. Ejector. Cryostatting.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Вопрос о сравнительном анализе одно- и двухконтурных криогенных гелиевых систем (КГС) неоднократно рассматривался в специальной литературе. Почему же возникла потребность в двухконтурных схемах, чем нас не устраивают одноконтурные схемы? Ещё в 1972 г. было обращено внимание в [1] на низкую эффективность работы одноконтурных схем в некоторых режимах криостатирования.

Известно, что существует жёсткая связь между оптимальными параметрами криогенной установки (КУ), соответствующими экстремальным значениям её характеристик. Даже в наиболее простой криогенной гелиевой установке (КГУ) имеются (рис. 1) чётко вы-

раженные экстремумы холодопроизводительности  $Q_x$  и удельных затрат энергии  $N$  от относительного расхода гелия в детандерной ступени предварительного охлаждения  $\bar{G}_D$  [2]. Существует также оптимальное значение величины расхода гелия, поступающего в ступень окончательного охлаждения (СОО):  $\bar{G}_{\text{СОО}} = 1 - \bar{G}_D$ . С другой стороны, расход гелия в СОО (в простейшем случае) определяется необходимым его расходом через объект криостатирования:  $G_{\text{КО}} = Q_{\text{КО}}/q_{\text{КО}}$ , где величина удельной тепловой нагрузки  $q_{\text{КО}}$  зависит от условий работы криостатируемого объекта. Чаще всего при криостатировании сверхпроводящих устройств (СПУ) требуется обеспечить весьма малый нагрев гелия в криостатируемом объекте (0,5-1,5 К), что приво-