

УДК 621.59(075.8)

И.К. Буткевич

Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина, 2, г. Москва, РФ, 117334

e-mail: butkevich@kapitza.ras.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ КРИОГЕННЫХ ГЕЛИЕВЫХ СИСТЕМ

Расширение сфер применения криогенных гелиевых установок (КГУ) и систем (КГС), а также необходимость обеспечения их конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках требуют повышения надёжности. Рассматриваются основные приёмы достижения высоких показателей надёжности КГУ и КГС. Показано, что наиболее эффективным является повышение надёжности КГС за счёт использования резервуара с жидким гелием в качестве неоднородного резерва с одновременным обеспечением ремонта отказавшего оборудования. Отмечается, что такое резервирование наиболее эффективно для двухконтурных криогенных гелиевых систем с рефрижераторами с избыточным обратным потоком.

Ключевые слова: Криогеника. Гелий. Ожижитель гелия. Рефрижератор. Надёжность. Однородное и неоднородное резервирование. Интенсивность отказов и восстановление. Коэффициент готовности. Турбодетандер. Резервуар для жидкого гелия.

I.K. Butkevich

ENSURING OF HIGH SAFETY LEVEL OF CRYOGENIC HELIUM SYSTEMS

Broadening application range in cryogenic helium plants (CHP) and systems (CHS) and the necessity to provide for their competitiveness on the domestic and foreign markets require safety increase. The major ways of reaching high CHP and CHS safety level are considered. It is shown that the most effective is the increase of CHS safety at the expense of a tank charged with liquid helium as a heterogeneous reserve with a simultaneous defected equipment repair. It is mentioned that such reservation is the most effective for two-circuit cryogenic helium systems with refrigerators having excess reverse flow.

Keywords: Cryogenics. Helium. Helium liquefier. Refrigerator. Safety. Homogeneous and heterogeneous reservation. Failure and recovery rate. Availability. Turboexpander. Liquid helium tank.

1. ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень надёжности криогенных гелиевых систем и установок — одно из основных требований при их создании и эксплуатации, так как этим самым обеспечивается их конкурентоспособность на внутреннем и международном рынках. Однако оценивать надёжность безотносительно к затратам, с помощью которых она создаётся, не имеет смысла. Поэтому преимущество всегда имеют те технические системы, которые при равных показателях надёжности нуждаются в минимальных затратах на их обеспечение. И криогенные системы не являются исключением. При создании криогенных гелиевых систем (КГС) и установок (КГУ), как правило, используют два приёма для достижения высокого уровня надёжности: повышение надёжности отдельных составляющих (машин, аппаратов, изоляции, системы измерения и автоматизации и т.д.) и применение резервирования агрегатов, блоков, установок и систем в целом.

Из широкой номенклатуры показателей надёжности [1] в криогенном гелиевом машиностроении чаще всего используются: вероятность безотказной работы P , наработка на отказ T , интенсивность отказов $\lambda=1/T$, среднее время восстановления $T_{\text{в}}$, интенсивность восстановления $\mu=1/T_{\text{в}}$, коэффициент готовности $K_{\text{г}}$, нагруженный («горячий») или ненагруженный («холодный») резервы, резервирование с восстановлением или без него.

Вероятность безотказной работы, как правило, применяется для характеристики коммерческих ожижителей гелия, так как является статистической величиной и означает, например, при $P=0,9$, что в пределах заданной наработки у 90 из 100 ожижителей отказ не возникнет. Для уникальных криогенных систем, которые существуют обычно в одном экземпляре, этот показатель обычно не используется.

Для оценки безотказности применяют интенсивность отказов, а для характеристики ремонтпригодности — интенсивность восстановления.