

КРИОГЕННАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ*БНТУ, Минск**Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Наиболее изученным типом криогенной теплоизоляции является экранно-вакуумная (многослойно-вакуумная, слоисто-вакуумная) теплоизоляция. Она является дальнейшим развитием высоковакуумной изоляции в направлении снижения лучистого теплообмена. Основная идея заключается в многократном экранировании излучения. Экранирование излучения достигается за счет большого числа слоев тонкой алюминиевой фольги. Слои фольги разделены между собой стеклотканью.

Наибольшая эффективность экранно-вакуумной изоляции достигается подбором оптимальной плотности экранирующих слоев и оптимальной толщины пакета. Весь пакет изоляционных экранов помещен в вакуум с давлением не выше 10^{-5} мм рт. ст. Причем такое давление необходимо поддерживать как в объеме изолирующего пространства, так и между слоями. Наиболее важной задачей является поддержание вакуума на необходимом уровне в течение всего срока службы криогенного трубопровода. Это достигается такими мерами, как применение материалов с минимальным газовыделением, вакуумирование с предварительным прогревом, размещение адсорбирующих материалов в вакуумной полости. Для вакуумирования экранно-вакуумной изоляции применяется полностью безмасляный откачной пост, включающий в себя мембранный форвакуумный насос, высоковакуумный турбомолекулярный насос и азотную ловушку для более быстрой и эффективной откачки паров воды. Абсолютно необходимым условием сохранения глубокого вакуума в изоляционной полости в течение долгого времени является полная

герметичность всех соединений и сварных швов. Для контроля герметичности используется наиболее точный на сегодняшний день метод – масс-спектрометрический. Эффективная теплопроводность экранно-вакуумной теплоизоляции достигает значений $\lambda = 0,05$ мВт/(м×К), что делает ее самой совершенной на сегодняшний день из всех видов криогенной теплоизоляции. Для теплоизоляции криогенных трубопроводов применяют еще один вид изоляции, которая не относится к вакуумному типу – газонаполненная. Газонаполненная теплоизоляция характеризуется невысокой стоимостью, простотой применения и относительно низкой эффективностью.

Различают три основных типа применяемых материалов: волоконные, порошкообразные и ячеистые. Сейчас наиболее часто используемыми являются материалы на основе вспененного синтетического каучука, характеризующиеся теплопроводностью $\lambda = 0,02..0,04$ Вт/(м×К), а также материалы на основе аэрогеля с теплопроводностью $\lambda = 0,01..0,02$ Вт/(м×К). Газонаполненную изоляцию применяют для криогенных трубопроводов в случае, если время работы этих трубопроводов невелико и сравнимо со временем переходных процессов, например, при заправке небольших емкостей. Основной точкой приложения технологии экранно-вакуумной теплоизоляции являются трубопроводы для транспортировки криоагентов от источника (криогенного резервуара) до потребителей – одного или нескольких. Первые криогенные трубопроводы с экранновакуумной изоляцией создавались для заправки космических ракет на стартовых комплексах – по ним в баки подавали криогенное топливо и окислитель – жидкие водород и кислород. Масштаб и спектр применения криогенных трубопроводов в наши дни крайне широк – от трубопроводов в сотни метров длиной в металлургической промышленности до лабораторных металлоурганов длиной в несколько метров. Они находят применение в медицине, пищевой промышленности, на высокотехнологичных

вакуумных линиях, в микроэлектронике, в научных лабораториях. Отдельно стоит отметить применение металлорукавов с экранно-вакуумной теплоизоляцией для подачи криопродуктов в поршневые и центробежные криогенные насосы. Существенное снижение теплопритоков за счет применения экранно-вакуумной изоляции минимизирует кипение сжиженных газов и практически сводит на нет явление кавитации, что существенно продлевает ресурс работы криогенного насоса.

УДК 681.7.022.5

Гунькевич В.Н.

ОСОБЕННОСТЬ ПРОСВЕТЛЕНИЯ ОПТИКИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО НАПЫЛЕНИЯ

БНТУ, Минск

Научный руководитель: Федорцев В.А.

При прохождении светового потока через линзу происходит его частичное поглощение и отражение. Отражение светового потока происходит на границе раздела двух оптически прозрачных сред: воздуха и материала очковой линзы, имеющих различных показатель преломления. Отражение света может происходить как от задней, так и от передней поверхности очковой линзы. При этом отраженные лучи вызывают ухудшение качества изображения объекта. Для снижения этого эффекта в современной оптике применяют просветляющие (AR-покрытия, в иностранной литературе *antireflection coating*) покрытия.

Как известно, просветляющее покрытие линз повышает светопропускную способность оптического прибора. Так, чтобы уменьшить количество рассеянного и отраженного света от поверхности оптических элементов конструкции биноклей, подзорных труб, телескопов, микроскопов и других оптических приборов, на поверхность линз и призм раздела воздух-стекло наносят специальные покрытия – пленки.