

конструкции; $f_{\text{пред}}$ — предельная деформация кабеля.

Для случая, когда опорные устройства криогенной линии расположены на одной плоскости при $l = \text{const}$, функция D записывается в виде

$$D = \Phi_1 q l^4, \quad (7)$$

где Φ_1 — коэффициент, выражение и величина которого зависят в первую очередь от конструкции опорных устройств и конфигурации линии.

Используя выражения (6) и (7), можно получить зависимость для определения расстояния между опорными устройствами в элементах кабеля исходя из условия жесткости

$$l = \sqrt[4]{\frac{f_{\text{пред}} EI}{\Phi_1 q}}.$$

Для определения коэффициентов Φ и Φ_1 криогенная линия рассматривается как неразрезной стержень, расположенный в одной плоскости. Величина этих коэффициентов зависит от конструкции линии, числа пролетов и их соотношения. Так, для трехпролетной линии с постоянным пролетом из выражения (1) имеем, что $\Phi = 0,1$. Величина коэффициента Φ_1 определяется из условия жесткости. С этой целью записываются уравнения для определения максимальных деформаций. Нами получено численное значение Φ_1 для той же трехпролетной криогенной линии: $\Phi_1 = 1,672$.

Предложенные формулы позволяют при заданном прогибе токопроводов и криогенных оболочек кабеля определять наибольшие допустимые расстояния между опорными элементами, устанавливаемыми в коаксиальных фазах между внешним и внутренним цилиндрами, между токопроводами и криогенной оболочкой, между криогенными оболочками, работающими на разных температурных уровнях и др.

Ю.В. Белянчев

О ВЛИЯНИИ ПОРИСТОСТИ ТОКОПРОВОДОВ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРИОГЕННОГО КАБЕЛЯ

Цель настоящей работы — количественная оценка целесообразности применения пористых материалов в конструкциях сверхпроводящих линий. Для этого был разработан алгоритм и

программа расчета технико-экономических показателей сверхпроводящего кабеля с пористыми и сплошными токопроводами для трехфазной коаксиальной конструкции с пофазным экранированием. Криогенная оболочка выполнена в виде двух слоев вакуума, разделенных азотным экраном.

Увеличение пористости приводит к улучшению условий теплообмена между токопроводами и хладагентом, уменьшению диаметров токопроводов до определенной границы при неизменной величине передаваемой мощности. Это снижает затраты в сверхпроводящий кабель. Дальнейшее увеличение пористости приводит к росту диаметра токопроводов, что увеличивает затраты в кабель.

Таким образом, можно предположить существование оптимальной степени пористости. В качестве меры пористости служит коэффициент пористости, под которым понимается отношение объема пустот к общему объему.

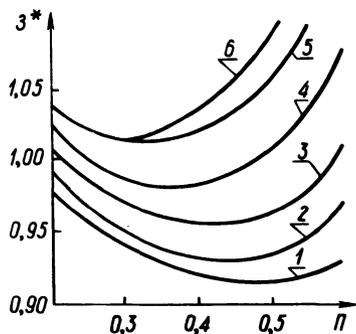


Рис. 1. Зависимость относительных приведенных затрат от коэффициентов пористости для передаваемых мощностей: 1 — 4 ГВт; 2 — 5; 3 — 6; 4 — 8; 5 — 10; 6 — 12 ГВт.

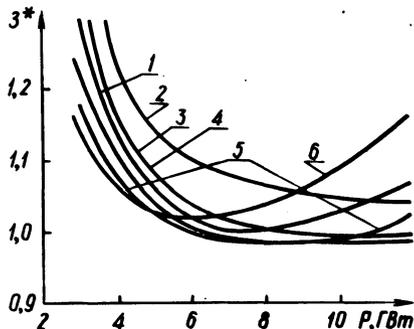


Рис. 2. Зависимость относительных приведенных затрат от передаваемой мощности при коэффициентах пористости: 1 — 0; 2 — 0,2; 3 — 0,3; 4 — 0,4; 5 — 0,5; 6 — 0,6.

Анализ результатов расчета показал, что с увеличением коэффициента пористости оптимальное расстояние между гелиевыми рефрижераторами растет тем интенсивнее, чем больше значение коэффициента пористости. При этом холодопроизводительность гелиевых рефрижераторов и соответственно их стоимость увеличивается. Поэтому с ростом коэффициента пористости, начиная с определенных значений, приведенные затраты в сверхпроводящий кабель начинают расти. Оптимальные значения коэффициентов пористости уменьшаются с ростом передаваемой мощности и увеличиваются с ростом длины сверхпроводящего кабеля.

В качестве примера на рис. 1 показана зависимость приведенных затрат в сверхпроводящий кабель 110 кВ длиной 10 км от коэффициента пористости, отнесенных к приведенным затратам для конструкции со сплошными токопроводами.

Равноэкономичность применения пористых конструкций токопроводов с различными значениями коэффициентов пористости для фиксированных значений номинального напряжения и длины кабеля определяется равенством приведенных затрат в кабель.

На рис. 2 показана расчетная зависимость приведенных затрат в сверхпроводящий кабель 110 кВ, длиной 50 км с разной степенью пористости, отнесенных к приведенным затратам от величины передаваемой мощности. На рис. 2 видны области экономичного применения конструкций с разными коэффициентами пористости.

С ростом длины сверхпроводящего кабеля границы равноэкономичности применения конструкций с разной степенью пористости смещаются в сторону больших значений передаваемой мощности.

Приведем граничные значения равноэкономических мощностей сверхпроводящего кабеля 110 кВ для смежных значений оптимальных коэффициентов пористости (Π).

$L, \text{ км}$	10				50		
$P, \text{ ГВт}$	3,0—3,5	3,5—5,0	5,0—9,0	9,0—12,0	3,0—4,0	4,0—6,0	6,0—12,0
$\Pi_{\text{опт}}$	0,5—0,6	0,5	0,4	0	0,6	0,5	0,4

С ростом длины линии оптимальные значения коэффициентов пористости смещаются к большим значениям передаваемой мощности.

На основании вышеизложенного выяснено, что оптимальные значения коэффициентов пористости уменьшаются с ростом передаваемой мощности и увеличиваются с ростом длины сверхпроводящего кабеля.