

В.Т. ФЕДИН, канд.техн.наук,  
Ю.В. БЕЛЯНЧЕВ, канд.техн.наук,  
И.А. СТУПАК, ст. препод. (БПИ)

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Сверхпроводящая линия электропередачи представляет собой совокупность сверхпроводящего кабеля с соединительными и концевыми устройствами, в котором изолированные токоведущие элементы в нормальном рабочем режиме находятся в состоянии сверхпроводимости, и устройств обеспечения заданного температурного режима (рефрижераторных и вакуумных установок, аккумуляторов холода и др.).

Надежность работы сверхпроводящей линии зависит от вероятности отказов отдельных ее элементов (токоведущих частей, электроизоляции, рефрижераторов основного и промежуточного хладагентов, теплоизоляции и др.). Общее число отказов сверхпроводящей линии можно представить в виде

$$\lambda = \lambda_T + \lambda_{ЭИ} + \lambda_M,$$

где  $\lambda_T$ ,  $\lambda_{ЭИ}$ ,  $\lambda_M$  — соответственно число отказов, вызванное переходом сверхпроводника в нормальное состояние, повреждением электроизоляции и механическими повреждениями.

Один из путей снижения числа отказов  $\lambda_T$  при заданной пропускной способности линии заключается в увеличении коэффициента запаса по току

$$k_I = \frac{I_K}{I_{раб}},$$

где  $I_K$ ,  $I_{раб}$  — соответственно критический и максимальный рабочий ток линии.

Аналогично число отказов, вызванное повреждением электроизоляции, может быть уменьшено путем увеличения коэффициента запаса по напряжению

$$k_U = \frac{E_{пр}}{E_{макс.раб}},$$

где  $E_{макс.раб}$ ,  $E_{пр}$  — соответственно наибольшая напряженность электрического поля на поверхности проводника сверхпроводящей линии в рабочем режиме и электрическая прочность применяемой электроизоляции.

Однако увеличение коэффициентов  $k_I$  и  $k_U$ , с учетом которых выполняется проектирование кабеля, приводит к удорожанию линии. Связи между  $k_I$  и  $\lambda_T$ ,  $k_U$  и  $\lambda_{ЭИ}$  требуют детального изучения. В первом приближении эти зависимости можно представить в виде

$$\lambda_T = A e^{-a k_I};$$

$$\lambda_{ЭИ} = Ve^{-bk_u}$$

где  $A, B, a, b$  – коэффициенты;  $k_1 > 1$ ;  $k_u > 1$ .

При проектировании сверхпроводящей линии важно правильно выбрать значения коэффициентов запаса по току и напряжению, удовлетворяющие приемлемому общему технико-экономическому решению с точки зрения числа отказов и стоимости линии.

Нами было изучено влияние величин коэффициентов запаса по току и напряжению на приведенные затраты в сверхпроводящую линию. Исследования осуществлялись для сверхпроводящих линий различной расчетной мощности с мягкими и жесткими сверхпроводниками. В качестве мягких сверхпроводников рассматривался ниобий, а в варианте сверхпроводящей линии с жесткими сверхпроводниками применялся станид ниобия. Результаты исследований, выполненных с применением специально составленных программ на ЭЦВМ, для линий напряжением 110 кВ приведены на рис. 1, а, б. Здесь:  $Z_{уд}^*$  – удельные приведенные затраты, приходящиеся на единицу расчетной мощности линии и 1 км линии; кривые характеризуют зависимости для сверхпроводящих линий различной расчетной мощности  $P$ .

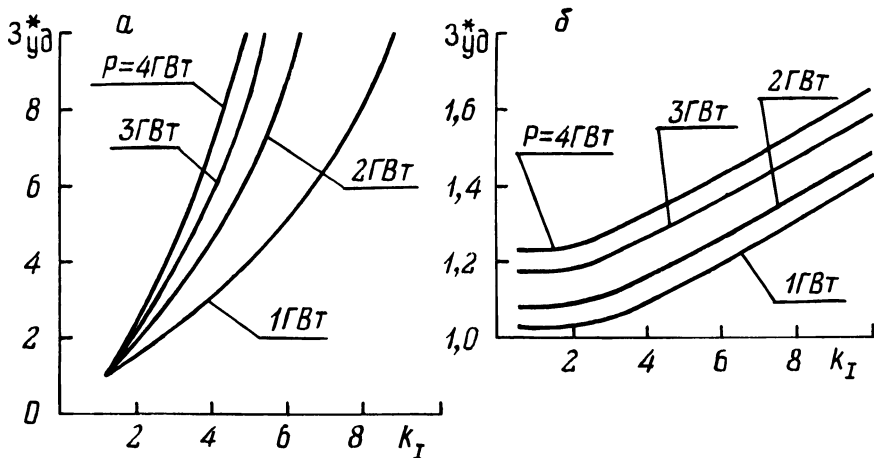


Рис. 1. Зависимость приведенных затрат от коэффициента запаса по току  $k_I$  при использовании мягких сверхпроводников (а) и при жестких сверхпроводниках (б).

Алгоритмы, по которым составлены программы на ЭЦВМ, позволяют производить оптимизацию конструктивных параметров сверхпроводящей линии. Поэтому при каком-либо изменении исходного параметра (коэффициентов  $k_I, k_u$ , расчетной мощности  $P$ , типа сверхпроводника) сначала выбирались оптимальные геометрические размеры кабеля и другие параметры линии, а затем определялись приведенные затраты.

Установлено, что в случае использования мягких сверхпроводников увеличение коэффициента запаса по току  $k_I$  приводит к существенному повыше-

нию приведенных затрат (рис. 1, а). Это объясняется тем, что при использовании мягких сверхпроводников рабочий ток линии существует только в поверхностном слое. В этих условиях по экономическим соображениям диаметры фазных коаксиальных токопроводов целесообразно принимать пропорциональными коэффициенту запаса по току. Поэтому увеличение этого коэффициента приводит к значительному увеличению диаметра фазы и, как следствие, к значительному увеличению стоимости всей линии.

В кабелях с жесткими сверхпроводниками в рабочем режиме сверхпроводник находится в смешанном состоянии. В этом случае, как показали наши исследования, увеличение запаса по току при оптимальных конструктивных параметрах линии целесообразно производить в основном за счет увеличения толщины сверхпроводящего слоя при незначительном увеличении диаметра фазы. Поэтому влияние коэффициента запаса по току на приведенные затраты менее значительно (рис.1,б). При изменении коэффициента  $K_I$  в пределах 1,2–3,0 значения приведенных затрат изменяются очень мало.

При увеличении коэффициента запаса по напряжению приведенные затраты в сверхпроводящую линию повышаются также за счет увеличения общего диаметра кабеля (рис. 2). Установлено, что тип сверхпроводника незначительно влияет на приведенные результаты исследований.

Произведенная количественная оценка влияния коэффициентов запаса по току и напряжению на приведенные затраты в сверхпроводящую линию позволяет учитывать экономические закономерности при обосновании нормируемых проектных показателей надежности сверхпроводящих линий.

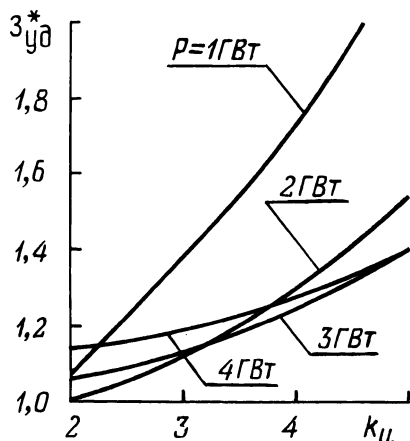


Рис. 2. Зависимость приведенных затрат от коэффициента запаса по напряжению  $K_u$ .

УДК 621.316:621.371.003.1

Л.И. ДЕМИДЕНКО, инженер (БПИ),  
Л.П. НАЗАРЕНКО, канд.техн.наук (МРТИ),  
В.В. ЯЦКЕВИЧ, канд.техн.наук (ВЗЭС)

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ АНТЕННОГО ОТБОРА МОЩНОСТИ

В устройствах трехфазного антенного отбора мощности [1] верхнее плечо делителя напряжения представляет собой распределенную емкость, образуемую между фазными проводами высоковольтной линии электропередачи и антеннами. Капиталовложения, связанные с устройством антенны, опре-