

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТОКОПРОВОДОВ

Для электроснабжения электроемких производств и отдельных крупных потребителей промышленных предприятий разработано много разновидностей электропитающих схем традиционного исполнения. При больших рабочих токах в этих схемах имеются значительные потери мощности и электроэнергии.

Расчеты показывают, что для схемы, состоящей из нетрадиционных элементов (сверхпроводящего генератора и выключателя), обычного выпрямительного агрегата ВАКВ2 и жесткой алюминиевой ошиновки, потери электроэнергии только в последнем элементе составляют от 1,7 млн до 95 тыс. МВт·ч при передаче расчетной мощности 300 МВт на расстояние 1 км и напряжениях соответственно 0,048 и 0,85 кВ. При напряжении 0,85 кВ и питании только одной серии электролизных ванн (при расчете по двухставочному тарифу на примере одного завода) стоимость годовых потерь электроэнергии в жесткой ошиновке составляет около 800 тыс. р. (при 0,048 кВ – более 14 млн р.). При шести сериях (напряжение 0,85 кВ и 0,048 кВ) соответственно 4,8 и 86 млн р. Снизить эти потери и издержки на них позволяют нетрадиционные токопроводы (сверхпроводящие кабели (СПК) и источники) в их сочетании с обычным электротехническим оборудованием. Кроме того, СПК характеризуются очень высокой пропускной способностью при малых затратах территории на его прокладку. Согласно [1], удельная ширина трассы, например для маслonaполненного кабеля 110 кВ, составляет 0,01 м/(МВ · А), а для сверхпроводящего (110 кВ) лишь 0,001 м/(МВ · А).

Снижение потерь электроэнергии имеет место при перспективном проектировании схем и систем электроснабжения атомно-металлургических комплексов предприятий цветной металлургии. В этом случае при технической разработке схем электроснабжения предприятий алюминиевой промышленности для замены жесткого алюминиевого шинопровода предложены СПК на генераторном напряжении. Это позволит улучшить технико-экономические параметры (ТЭП) систем электроснабжения предприятий цветной металлургии.

В данной статье в сравнительном аспекте рассматриваются некоторые ТЭП нетрадиционных токопроводов.

Выполненное исследование различных вариантов исполнения нетрадиционных токопроводов с помощью ЭВМ и последующий краткий анализ полученных ТЭП показывает, что наименьшими приведенными затратами, капиталовложениями и годовыми эксплуатационными расходами обладают две конструкции сверхпроводящих кабелей – униполярный (УНИПЛ) и биполярный (БИПОЛ) (рис. 1). Причем приведенные затраты в УНИПЛ меньше, чем в БИПОЛ. Сравнение ТЭП СПК выполнено при его длине 1 км, напряжении 0,85 кВ и расчетной мощности  $P$  до 500 МВт. Но в схемах электроснабжения электроемких производств СПК униполярной конструкции мало приемлем из-за отсутствия возможности резервирования его токопровода.

Наиболее надежным по количеству токопроводов и разнообразию вариантов их включения в схемы электроснабжения электроемких производств яв-

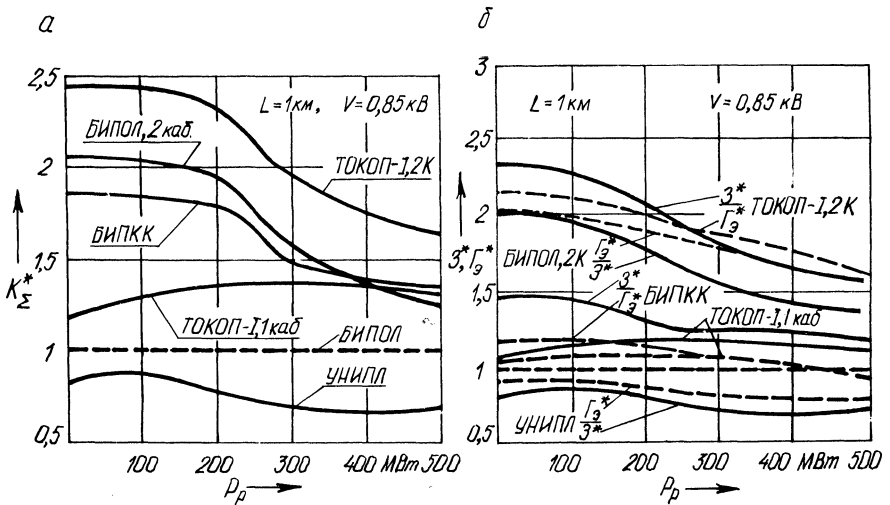


Рис. 1. Зависимости суммарных капиталовложений (а), приведенных затрат и годовых эксплуатационных расходов (б) от расчетной мощности для различных конструкций СПК

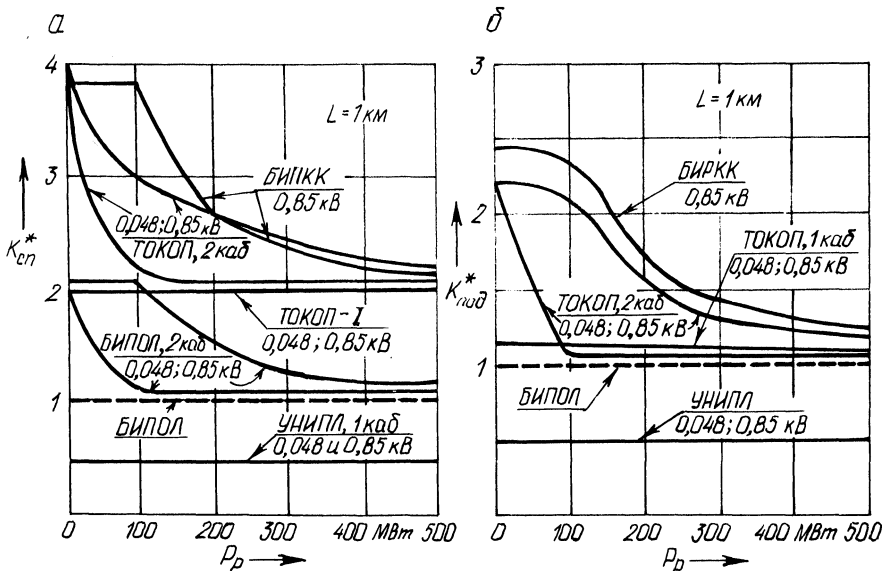


Рис. 2. Зависимости капитальных затрат в сверхпроводнике (а) и подложку (б) от расчетной мощности для различных конструкций СПК

ляется СПК биполярно-коаксиальной конструкции (БИПКК), но приведенные затраты у него (см. рис. 1, б) имеют наибольшие значения.

Для анализа и сравнительной оценки исследованных конструкций сверхпроводящих токопроводов в качестве базового кабеля принят биполярный СПК и все его ТЭП приняты равными единице. Приведенные затраты, капита-

повложения и годовые эксплуатационные расходы в о.е. (далее в формулах помечаются\*) от передаваемой мощности представлены на рис. 1.

Суммарные капиталовложения ( $K_{\Sigma}^*$ ) для всех исследованных СПК при одном кабеле в схеме электроснабжения, а для БИПОЛ и коаксиального кабеля постоянного тока (ТОКОП-Л) — при двух кабелях в питающей линии приведены на рис. 1, а.

Зависимости капитальных затрат в отдельные составляющие показывают, что они имеют тенденцию уменьшения с ростом расчетной мощности электроемкого производства. При этом в интервале 25...100 МВт наблюдается закономерность более резкого, а при мощности более 100 МВт — плавного снижения капитальных затрат в трубы  $K_{\text{тр}}^*$  (включая внешнюю оболочку криостата кабеля), теплоизоляцию  $K_{\text{тепл}}^*$ , гелий  $K_{\text{г}}^*$  и электроизоляционный материал  $K_{\text{зим}}^*$ . Перечисленные затраты почти в два раза меньше, чем затраты в БИПОЛ. Капитальные затраты в сверхпроводник (СП)  $K_{\text{сп}}^*$  и подложку  $K_{\text{под}}^*$  для всех исследованных конструкций СПК (рис. 2), кроме УНИПЛ, существенно отличаются в большую сторону от БИПОЛ. Это объясняется тем, что с увеличением передаваемой мощности диаметры внешних токопроводов, а следовательно, и поверхностный расход СП у этих конструкций имеет значительный прирост по отношению к БИПОЛ, у которого оба токопровода изменяют свои геометрические размеры одинаково. Например, диаметр токопроводов у БИПОЛ равен 2,35 см (при  $P_p = 100$  МВт, напряжении 0,85 кВ и длине 1 км), а у ТОКОП-Л и БИПКК соответственно 2,8 и 3,2 см.

Для более полного анализа и сравнительной оценки значимости численных результатов капитальных затрат в каждую составляющую от общей суммы капиталовложений  $K_{\Sigma}^*$  в виде отношения представлены все слагаемые равенства при граничных мощностях 5 и 500 МВт

$$K_{\Sigma}^* = K_{\text{сп}}^* + K_{\text{под}}^* + K_{\text{зим}}^* + K_{\text{тепл}}^* + K_{\text{тр}}^* + K_{\text{г}}^* + K_{\text{с-мр}}^* + K_{\text{грс}}^* + K_{\text{арс}}^*, \quad (1)$$

где  $K_{\text{с-мр}}^*$ ,  $K_{\text{грс}}^*$ ,  $K_{\text{арс}}^*$  — соответственно капитальные затраты в строительномонтажные работы, гелиевые и азотные рефрижераторные станции.

Для исследуемых конструкций СПК важное значение имеет внешний диаметр оболочки криостата, от которого зависит собственный расход электроэнергии на привод рефрижераторных станций основного и дополнительного жладагентов, КПД кабеля и в конечном счете КПД схемы электроснабжения. Численные значения КПД исследованных СПК приведены в табл. 1.

Анализ представленных в таблице данных показывает, что для различных конструкций исследованных СПК, кроме коаксиального токопровода постоянного тока на 500 и БИПКК на (5—500 МВт), наибольшие капитальные затраты приходится на  $K_{\text{грс}}^*$ ,  $K_{\text{арс}}^*$ ,  $K_{\text{сп}}^*$  и  $K_{\text{с-мр}}^*$ . Это объясняется тем, что стоимость рефрижераторного оборудования и СП пока относительно высока, а технология строительномонтажных работ еще не отработана.

В представленной таблице следует выделить коаксиальный токопровод переменного тока (ТОКОП~Л), для которого особым является то, что при вариациях расчетных мощностей в интервале 5—500 МВт составляющие капитальных затрат не изменяются. Это объясняется тем, что напряженности магнитных полей на поверхностях токоведущих труб и плотности токов не превышают критических значений  $H_{\text{к}2}$  и  $J_{\text{к}}$ . Для этого СПК с повышением напряжения до 35 кВ капитальные затраты в электроизоляцию на два порядка больше, чем

Табл. 1. Численные значения КПД и капитальных затрат отдельных элементов СПК, входящих в общие капиталовложения

Составляющая капитальных затрат	КПД и составляющие капитальных затрат для различных конструкций СПК, %				
	БИПОЛ	ТОКОП-1	БИПКК	УНИПЛ	ТОКОП~1
КПД	87,7/99,9	87,6/99,86	87,68/99,87	87,52/99,86	87,6/99,8
$K_{грс}$	57,0/41,0	44,4/20,9	31,6/21,4	67,1/58,7	41,4
$K_{сп}$	23,5/37,4	36,2/58,1	48,5/69,0	14,5/23,6	38,2
$K_{с-мр}$	6,5/9,4	8,9/13,4	11,8/13,7	4,5/6,1	9,5
$K_{арс}$	6,5/3,2	6,0/2,9	2,9/1,9	7,5/4,8	5,6
$K_{тр}$	3,8/3,1	2,6/1,8	2,3/1,85	3,9/2,7	2,5
$K_{тепл}$	1,9/1,6	1,4/0,87	1,2/0,9	2,09/1,4	1,3
$K_{г}$	0,55/3,9	0,3/1,7	0,4/0,9	0,3/2,49	0,3
$K_{под}$	0,2/0,3	0,18/0,3	0,26/0,3	0,1/0,2	0,2
$K_{зим}$	0,05/0,1	0,02/0,03	0,04/0,05	0,01/0,01	1,0
Итого	100/100	100/100	100/100	100/100	100

Примечание. В числителе – при расчетной мощности 5 МВт; в знаменателе – 500 МВт;  $U = 0,85$  кВ,  $U = 35$  кВ,  $L = 1$  км, коэффициент запаса по напряжению  $K_u = 4$  и тока  $K_I = 2$ .

у других конструкций и достигает 1%. Сопоставление численных значений капитальных затрат в отдельные элементы ТОКОП~1 показывает, что токопровод данной конструкции может наравне с другими использоваться в схемах электроснабжения как эффективное устройство для передачи потока мощности электроемким установкам в электротехнологических процессах без замены СПК в случае увеличения потребляемой мощности при перспективном расширении энергоемкого производства.

Для схем электроснабжения постоянного тока (в электролизном производстве и других электроемких процессах при получении чистых и сверхчистых металлов) по своим технико-экономическим параметрам наиболее эффективным нетрадиционным токопроводом из всех исследованных СПК является биполярный кабель.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альбрехт Г., Краузе Д. Возможность использования сверхпроводящих элементов в области электроснабжения // *Elektric.* – 1977. – V. 31. – № 12. – P. 652–654.