

УДК 621.315

## СПОСОБ ПЕРЕОРГАНИЗАЦИИ КАНАЛОВ ВЧ-СВЯЗИ ПО ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

**Л. Г. БУЛКИН, Д. Т. КЛОПОВ, И. В. ОСИПЕНКО**

*Государственное региональное унитарное предприятие  
«ГОМЕЛЬЭНЕРГО», Гомельские электрические сети,  
Республика Беларусь*

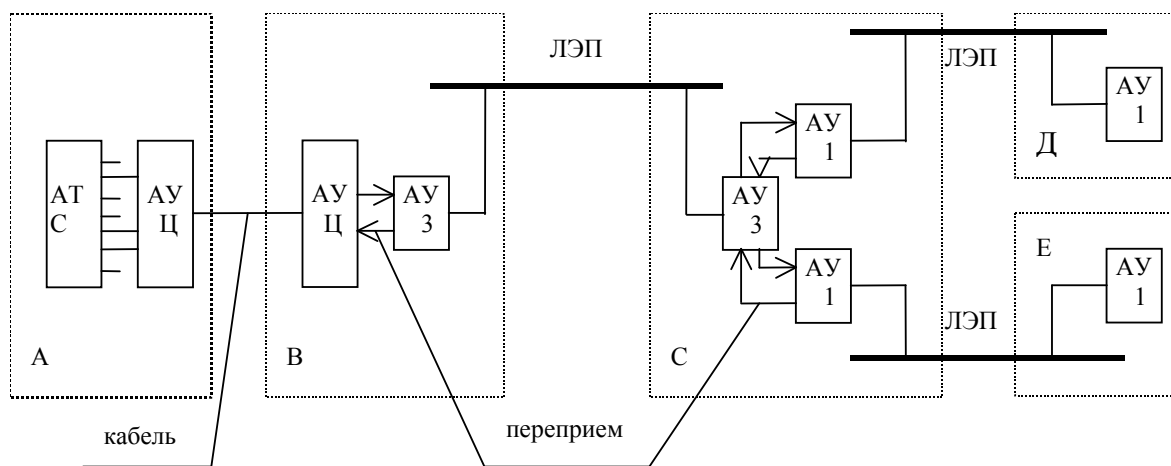
В настоящее время в электроэнергетике Республики Беларусь и стран СНГ около половины всего объема каналов в сети связи электроэнергетики составляют каналы высокочастотной (ВЧ)-связи по линиям электропередачи (ЛЭП). При построении сложных ВЧ-каналов связи (типа предприятие электрических сетей (ПЭС) – подстанция) широко применяется многоканальная ВЧ-аппаратура связи по ЛЭП типа: АСК-3, АВС-3, СПИ-244, АВС-ВЛЗ. В большинстве случаев в каналах она используется для осуществления функций переприема на промежуточных подстанциях по 4-проводному окончанию с выделением при необходимости одного канала телефонной связи. На конечных подстанциях устанавливается одноканальная ВЧ-аппаратура типа: АСК-1, АВС-1, СПИ-122, АВК.

Типичная схема построения сложного ВЧ-канала связи приведена на рис. 1а, где А – головное предприятие электрических сетей; В – подстанция переприема; С – подстанции переприема с выделением 1-го канала связи; Д, Е – конечные подстанции с выделением 2-го и 3-го каналов связи; АТС – автоматическая телефонная станция (типа «Квант», «ESK-400/25» и т.п.); АУ-Ц – многоканальная цифровая аппаратура кабельной связи (типа «BD-30», «TN-12», «ИКМ-15/30» и т.п.); АУ-3, АУ-1-ВЧ-аппаратура связи по ЛЭП трехканальная и одноканальная (типа «АСК-3», «АВС-3», «АВС ВЛЗ», «АСК-1», «АВС-1», «АВК» и т.п.), соответственно.

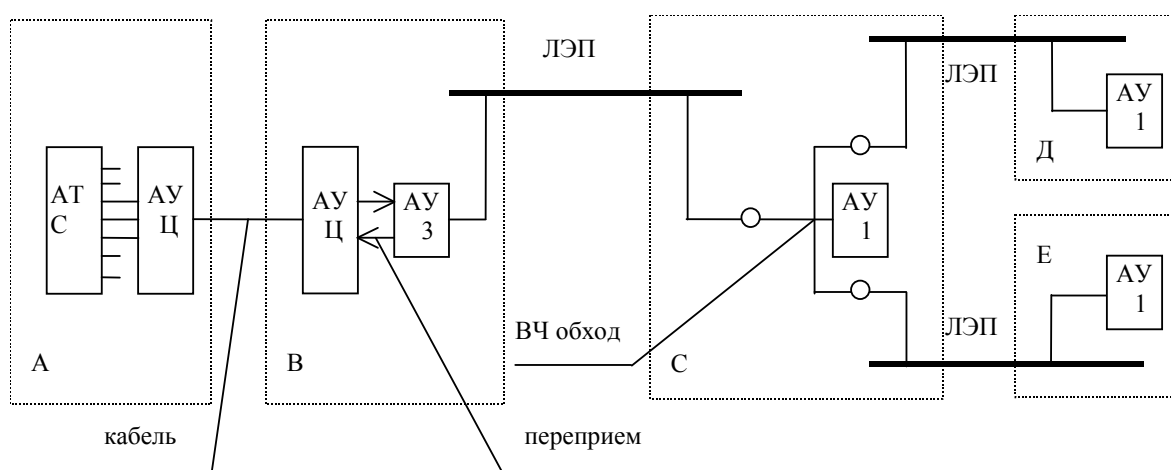
В энергосистеме республики практически все существующие сложные ВЧ-каналы связи (до 95 %) (значение ПЭС – подстанция) построены с применением многоканальной аппаратуры АСК-3, функциональной особенностью построения которой является передача в канал для управления работой системы автоматической регулировки усиления (АРУ) общей контрольной частоты (КЧ) для всех каналов. Поэтому единственно возможным вариантом построения сложного ВЧ-канала связи с применением такой аппаратуры является хорошо известное схемное решение рис. 1а.

В связи с тем, что аппаратура АСК-3 (1970 года выпуска) физически и морально устарела, в настоящее время производится ее частичная замена. Действуя зачастую «по старинке», энергетики-связисты производят лишь простую замену старой аппаратуры новой типа АВС-3, АВС-ВЛЗ. Однако, эта аппаратура характеризуется независимыми системами АРУ на каждый канал связи, что позволяет более рационально организовать старые и вновь вводимые каналы ВЧ-связи. Суть способа такова: поскольку аппаратура имеет независимые системы АРУ на каждый канал, то на подстанции переприема С исключается необходимость устанавливать второй комплект трехканальной аппаратуры. Для выделения первого канала на подстанции С устанавливается одноканальная аппаратура, а для передачи информации на конечные подстанции Д, Е организуются лишь ВЧ-обходы (структурная схема рис. 1б), функциональная схема (рис. 2), где АО – аппаратура обработки; АП – аппаратура присое-

динения; МУС – линейный усилитель мощности (типа «ЛУС-80»); РФ – режекторный фильтр; Отв – отвлечение от ЛЭП, обработанное заградителем.



а)



б)

Рис. 1. Структурная схема сложного ВЧ-канала связи: а) типичный канал связи; б) переорганизованный канал связи

Известно, что большая часть полезной мощности передатчика теряется на аппаратуре обработки (АО) и присоединения (АП), на ВЧ-обходах, отпайках от линии электропередачи и т.п. А при организации каналов по схеме (рис. 1б) на подстанции переприема С не осуществляется усиление сигналов (в отличие от широко известной схемы построения рис. 1а), к тому же увеличивается общее количество аппаратуры обработки и присоединения, ВЧ-обходов, отпайек от ЛЭП, параллельно работающей аппаратуры и т.п. Все это может привести к значительному увеличению общего затухания ВЧ-тракта и, в итоге, невозможности осуществления ВЧ-канала связи. Поэтому необходимо исследовать вопрос и установить критерий возможности осуществления ВЧ-канала связи, построенного по рис. 1б, определить максимальное возможное затухание ВЧ-тракта с применением типичной аппаратуры связи на передающем и приемном конце.

Для возможности осуществления ВЧ канала связи необходимо, чтобы выполнялось условие [1]:

$$A_{mp} \leq A_{nep} - A_{зан}, \quad (1)$$

где  $A_{mp}$  – затухание ВЧ-тракта (дБ);  $A_{nep}$  – затухание, перекрываемое ВЧ-аппаратурой связи (дБ);  $A_{зан}$  – запас по перекрываемому затуханию (дБ) (принимается равным  $A_{зан} = 8,7$  дБ).

Максимальное возможное перекрываемое затухание основных типов ВЧ-аппаратуры, применяемых для целей ВЧ-связи в энергетике,  $A_{nep}$  приводится в таблице 1 и зависит от мощности передатчика, количества каналов связи и подканалов телемеханики, типа линейного тракта [2].

Таблица 1

Значения перекрываемого затухания  $A_{nep}$  для ВЧ-аппаратуры (АСК, АВС)

Тип аппаратуры	Количество каналов		Уровень сигнала на выходе передатчика $R_n=100$ Ом, дБ			$A_{nep}$ , дБ для напряжения, кВ			$A_{nep} - A_{зан}$ , дБ для напряжения, кВ		
	ТФ	ТМ	ТФ	ТМ	КЧ	35	110	220, 330	35	110	220, 330
АСК-1, АВС-1	1	1	36,1	23,9	24,4	57,4	48,7	36,5	48,7	40,0	27,8
АСК-3, АВС-3	3	3	27,0	14,8	15,2	48,3	39,6	27,4	39,6	30,9	18,7

Затухания ВЧ-тракта канала  $A_{mp}$  (дБ) определим по формуле:

$$A_{mp} = A_{лт} + A_{o/n}; \quad (2)$$

$$A_{o/n} = \sum_1^k A_{нар} + \sum_1^n A_{р.ф} + \sum_1^m A_{каб} + \sum_1^i A_{ф.н} + \sum_1^j A_3 + \sum_1^l A_{пром} + \sum_1^p A_{отв} + A_{дон}, \quad (3)$$

где  $A_{o/n}$  – затухание аппаратуры присоединения и обработки, (дБ);  $A_{лт}$  – затухание линии электропередачи, (дБ);  $A_{нар}$  – затухание, вносимое параллельно включенной аппаратурой, (дБ);  $A_{р.ф}$  – затухание разделительного фильтра, (дБ);  $A_{каб}$  – затухание ВЧ кабеля, (дБ);  $A_{ф.н}$  – затухание фильтра присоединения, дБ;  $A_3$  – затухание, вносимое заградителем, (дБ);  $A_{пром}$  – затухание, вносимое аппаратурой уплотнения на обходе, (дБ);  $A_{отв}$  – затухание, вносимое ответвлением, (дБ);  $A_{дон}$  – дополнительное затухание (дБ);  $k, n, m, i, j, l, p$  – общее количество параллельно включенной аппаратуры, разделительных фильтров, ВЧ-кабелей, фильтров присоединения, заградителей, аппаратуры уплотнения на обходе, ответвлений, соответственно, ВЧ-тракта канала связи.

Тогда для рисунка 2 имеем:

$$A_{o/n} = \sum_1^0 A_{нар} + \sum_1^0 A_{р.ф} + \sum_1^1 A_{каб} + \sum_1^6 A_{ф.н} + \sum_1^6 A_3 + \sum_1^0 A_{пром} + \sum_1^1 A_{отв} + A_{дон};$$

$$A_{o/n} = 28 \text{ (дБ)}.$$

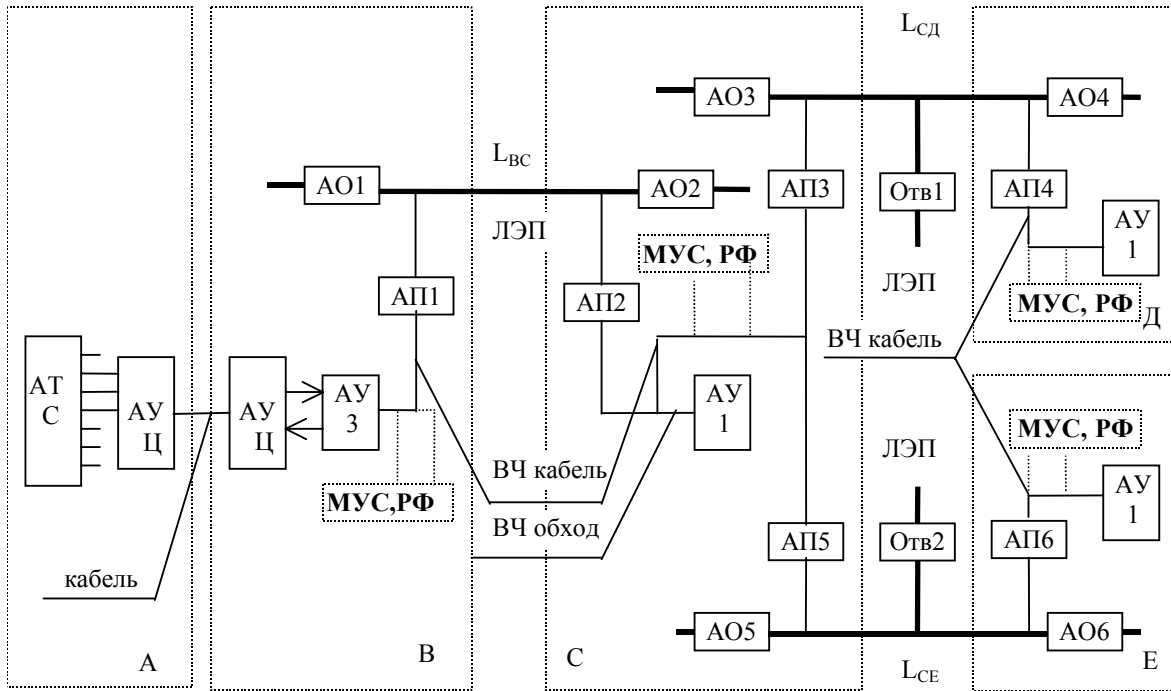


Рис. 2. Функциональная схема сложного ВЧ-канала связи

В расчете  $A_{o/n}$  принимается, что  $A_{каб} = 1$  дБ (для ВЧ-кабеля РК-75,  $f = 500$  кГц,  $L = 0,5$  км) [3],  $A_{ф.n} = 1,5$  дБ (для широкополосных фильтров типа ФПУ, ФПМ, паспортные данные),  $A_3 = 1,5$  дБ (для случая  $Z_{ф.л} = 400$  Ом,  $R_3 = 1000$  Ом) [2],  $A_{отв} = 3,5$  дБ (заградитель один в рабочей фазе,  $R_3 = 1000$  Ом) [2],  $A_{дон} = 5,5$  дБ (3,5 дБ на Г-образный обход на подстанции С + 2 дБ прочие затухания) [3].

Зависимость затухания линейного тракта от его протяженности  $A_{лт}(L)$  определим по следующим формулам [1]:

$$A_{лт}(L) = \alpha_1 \cdot L + a_k + \Delta a_{мф};$$

$$a_{мф} = 20 \cdot \lg \left| \frac{A}{[1 + B \cdot e^{(-0.115 \cdot \Delta\alpha \cdot L)} \cdot e^{(-j \cdot \Delta\beta \cdot L)}]} \right|;$$

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1; \Delta\beta = \beta_2 - \beta_1; \Delta\beta = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot m}{g_1};$$

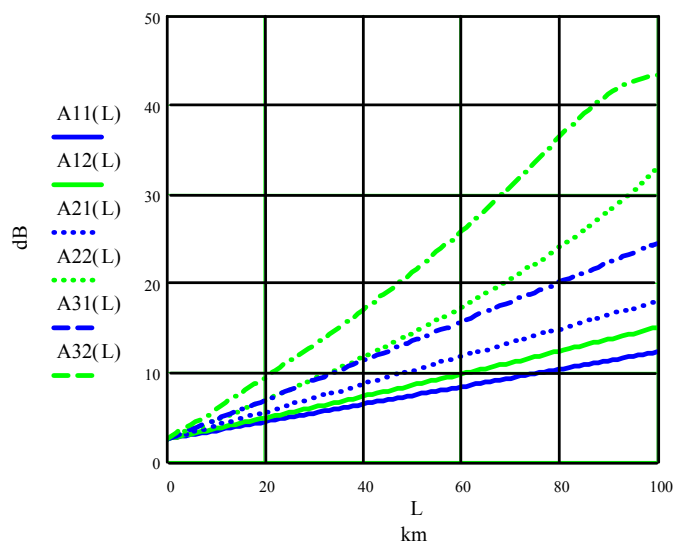
$$\alpha_1 = K_{1(1)} \cdot K_3 \cdot \sqrt{f \cdot 10^{-3}} + K_{2(1)} \cdot K_4 \cdot f \cdot 10^{-3};$$

$$\alpha_2 = K_{1(2)} \cdot K_3 \cdot \sqrt{f \cdot 10^{-3}} + K_{2(2)} \cdot K_4 \cdot f \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

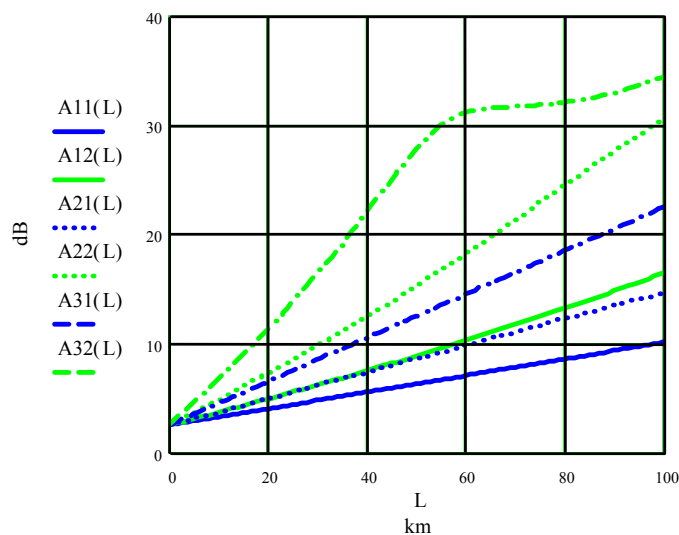
где  $L$  – длина ВЧ-тракта, (км);  $a_k$  – концевое затухание модального канала (дБ);  $\Delta a_{мф}$  – затухание, обусловленное эффектом взаимодействия междуфазных волн на входе приемника, (дБ);  $A, B$  – коэффициенты, зависящие от схемы присоединения аппаратуры к проводам ЛЭП;  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$  – коэффициенты затухания и фазовые коэффициенты модальных каналов, (дБ/км, рад/км);  $\Delta\alpha, \Delta\beta$  – разность коэффициентов затухания и фазовых коэффициентов междуфазных модальных составляющих, (дБ/км, рад/км);  $K_{1(1)}, K_{1(2)}, K_{2(1)}, K_{2(2)}$  – коэффициенты затухания, обусловленные потерями энергии в проводах и земле;  $K_3, K_4$  – коэффициенты, учитывающие влияние на затуха-

ние модальных каналов расщепления фазных проводов;  $m$  – относительная разность скоростей в (1) и (2) каналах;  $\mathcal{V}_1$  – скорость распространения волны в канале, (км/с);  $f$  – рабочая частота канала, (Гц).

Ниже, с использованием формул (4) и пакета программ МСАД, построены графические зависимости ( $A_{lm}(L)$ , см. рис. 3) для следующих случаев: схема присоединения аппаратуры – фаза-земля; тип линии: а) 35 кВ, б) 110 кВ; тип провода: а) АС70 (для ЛЭП 35 кВ), б) АС120 (для ЛЭП 110 кВ); расположение проводов: горизонтальное (Г); схема присоединения приемника и передатчика: фаза А либо В ЛЭП; рабочие частоты каналов:  $f_1=200$  кГц,  $f_2=500$  кГц,  $f_{3_1}=1000$  кГц.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость затухания линейного тракта от его протяженности ( $A_{lm}(L)$ ) при присоединении аппаратуры по схеме фаза-земля: а) ЛЭП 35 кВ, б) ЛЭП 110 кВ, для следующих случаев:  $A_{11}(L)$  ( $A_{12}(L)$ ),  $A_{21}(L)$  ( $A_{22}(L)$ ),  $A_{31}(L)$  ( $A_{32}(L)$ ) – затухание линейного тракта при присоединении приемника и передатчика к фазе В (А) ЛЭП, для рабочих частот  $f_1=200$  кГц,  $f_2=500$  кГц,  $f_{3_1}=1000$  кГц, соответственно

Необходимые для расчета значения  $A_{лм}(L)$  коэффициентов приведены в таблице 2 [3]:

Таблица 2

Значения коэффициентов:  $K_{1(1)}$ ,  $K_{1(2)}$ ,  $K_{2(1)}$ ,  $K_{2(2)}$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $m$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $a_k$

Тип линии кВ	Располож. проводов	Раб. фаза ЛЭП	$K_{1(1)} \cdot 10^{-3}$	$K_{1(2)} \cdot 10^{-3}$	$K_{2(1)} \cdot 10^{-3}$	$K_{2(2)} \cdot 10^{-3}$	$K_3, K_4$	$m \cdot 10^{-2}$	A	B	$a_k$
35	Г	А	6,95	6,26	0	0,17	1	0,5	0	0	2,5
		В							4	3	
110	Г	А	5,2	4,7	0,012	0,33	1	0,6	0	0	2,5
		В							4	3	

Определим величину максимально возможного перекрываемого затухания линейного тракта линии электропередачи  $A_{лм, max}$  протяженностью  $L = L_{AB} + L_{BC}$  для разных типов ЛЭП (35, 110 кВ) типичной аппаратурой ВЧ-связи (см. табл. 1) по формуле:  $A_{лм, max} \leq A_{пер} - A_{зан} - A_{o/n}$  для следующих случаев:

- без установки дополнительного усилителя мощности;
- с установкой дополнительного усилителя мощности (типа ЛУС-80, УМ-100) на подстанциях В, Е, Д;
- с установкой двухстороннего промежуточного усилителя на подстанции С (типа ЛУС-80).

Результаты расчетов сведем в таблицу.

Таблица 3

Результаты расчетов  $A_{лм, max}$

Тип линии, кВ	Разновидность схемы	A	B	C
	Перекрываемое затухание Тип аппаратуры	$A_{лм, max}$ , дБ ( $L_{AB}+L_{BC}$ )	$A_{лм, max}$ , дБ ( $L_{AB}+L_{BC}$ )	$A_{лм, max}$ , дБ $L_{AB}, L_{BC}$
35	АСК1, АВС1	20,7	30,7	39,2
	АСК3, АВС3	11,6	21,6	30,1
110	АСК1, АВС1	12,0	22,0	30,5
	АСК3, АВС3	3,0	13,0	21,5
330	АСК1, АВС1	-	9,8	18,3
	АСК3, АВС3	-	-	9,2

Выводы.

1. Полученные расчетные значения (табл. 3 и рис. 3) позволяют для каждого конкретного случая определить возможность осуществления сложного ВЧ-канала связи по способу рис. 2 и его схемную разновидность А, В, С следующим образом. По известному расстоянию между подстанциями В-С ( $L_{BC}$ ), С-Д ( $L_{CD}$ ) (С-Е ( $L_{CE}$ )) (см. рис. 2), рабочей частоте канала ( $f$ ), типу организуемого линейного тракта (ЛЭП 35, 110 кВ) и схеме подключения передатчика и приемника на концах

ЛЭП (к фазе А, либо В) по графику рис. 3а (для ЛЭП 35 кВ), рис. 3б (для ЛЭП 110 кВ) определяется затухание линейного тракта  $A_{лт}$ . По табл. 3 по значению  $A_{лт,мах}$  определяется возможность осуществления ВЧ-канала связи и его схемная разновидность по критерию  $A_{лт,мах} \geq A_{лт}$  (если линейный тракт образован различными типами ЛЭП, значение  $A_{лт,мах}$  определяется для ЛЭП наибольшего напряжения). В случае увеличения количества отпаяк, принятых по рис. 2 между подстанциями В-С и С-Д (С-Е) на  $N$  штук, значение затухания линейного тракта  $A_{лт}$  необходимо увеличить в  $3,5 \cdot N$  раза.

2. В большинстве случаев сложные ВЧ-каналы связи типа ПЭС (подстанция для каналов республики) характеризуются небольшой протяженностью (расстояние  $L_{ВС} + L_{СД}$  (рис. 2) составляет в среднем не более 50 км) и образуются по линейным трактам 35, 110 кВ, что позволяет организовать ВЧ-канал связи по рис. 2 схемной разновидностью А (без установки дополнительных усилителей), который характеризуется значительной экономией аппаратуры уплотнения на подстанции переприема С по сравнению с существующим широко используемым способом организации ВЧ-канала связи (рис. 1а).

Для каналов ВЧ-связи, характеризующихся большой протяженностью (расстояние  $L_{ВС} + L_{СД} \gg 100$  км) или наличием в канале высокого уровня помех (каналы по трактам ЛЭП 330 кВ и выше), наилучшим способом организации сложного канала по рис. 2 является схемное решение С (с установкой на подстанции С двухстороннего усилителя типа ЛУС-80). При этом, перекрываемое затухание аппаратурой увеличивается в 1,5-2 раза по сравнению с существующим, широко используемым способом организации ВЧ-канала связи (рис. 1а).

3. С эксплуатационной точки зрения канал связи, организованный по способу рис. 2, имеет следующие преимущества:

а) при ремонте, настройке, регулировке канала связи конечных подстанций (Д, Е) отпадает необходимость нахождения обслуживаемого персонала на подстанции С;

б) каналы связи конечных подстанций (Д, Е) являются независимыми от 3-канальной аппаратуры, устанавливаемой на необслуживаемой подстанции С (рис. 1а), что повышает общую надежность каналов связи.

Несомненно, что организация канала связи по новому способу связана с некоторыми трудностями.

Для возможности использования при организации ВЧ-канала по способу рис. 2 старой аппаратуры связи необходимо осуществить перестройку аппаратуры на другие частоты рабочего диапазона, что связано со значительными сложностями.

Использование промежуточного усилителя мощности для усиления сигналов на подстанции С переприема (рис. 2) связано с применением дополнительного оборудования, и в настоящее время по неизвестным причинам не нашло широкого применения в каналах связи энергосистем, что влечет за собой необходимость более детального изучения влияния промежуточного усилителя на характеристики соседних каналов, параметров разноса частот приема передачи, величину перекрываемого затухания и т.п. Однако из-за явного технико-экономического преимущества предлагаемый способ организации сложного ВЧ-канала связи в ближайшем будущем найдет свое широкое распространение.

**Литература**

1. Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С. Высокочастотная связь по линиям электропередачи.- М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Справочник по наладке каналов ВЧ-связи по линиям электропередачи /Под ред. Э.С. Мусаэяна.- М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Справочник по наладке высокочастотных устройств управления энергосистемами /Под ред. Э.С. Мусаэяна.- М.: Энергия, 1972.

*Получено 24.11.2000 г.*