

ент трансформации $K_{ТВ} = 1$ и производится расчет режима, полученные при этом потери в Белорусской энергосистеме принимались за исходные.

В той же ветви задавался поперечный коэффициент трансформации $K_{ТМ} = 0,03$. Если потери по Беларуси $\Delta P_{Бел}$ увеличивались или не изменялись, в ветвь подставлялся $K_{ТМ} = -0,03$ и производится та же проверка. Получили 35 линейных ветвей напряжением 220–330 кВ, в которых установка устройств дает снижение потерь в Белорусской энергосистеме.

Наибольшее снижение потерь активной мощности при установке ФСУ в линейных ветвях 110 кВ достигается при меньших углах. Поэтому для определения возможных мест установки устройств поперечного регулирования на этих линиях задавались $K_{ТМ} = \pm 0,02$. В результате получили 8 ветвей.

Для трансформаторных ветвей величина $K_{ТВ}$ известна заранее, величина поперечного коэффициента трансформации задавалась аналогично ветвям 110 кВ $K_{ТМ} = \pm 0,02$. Получили 6 ветвей, в которых эффективна установка устройств.

Далее были произведены более подробные исследования по выбранным.

Для устройств поперечного регулирования на напряжение 110, 220 и 330 кВ были найдены оптимальные значения поперечных коэффициентов трансформации в зимних и летних максимальных и минимальных режимах. Для их выбора строились графики зависимости потерь в Белорусской энергосистеме от $K_{ТМ}$. По графикам проверили необходимость установки устройств и отбросили ветви, в которых снижение потерь достигается только в зимнем максимуме. В итоге получили 36 ветвей в которых возможна установка устройств. Наибольшая величина снижения потерь 1,5 МВт достигается при установке устройства в ветви 401–310.

Можно сделать вывод, что установка трансформаторных устройств продольно-поперечного регулирования напряжения может оказаться эффективной мерой по снижению потерь активной мощности в замкнутых сетях Белорусской энергосистемы.

Литература

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 288 с.
2. Поспелов, Г.Е., Федин, В.Т. Энергетические системы и сети. Проектирование: Учеб. пособие для вузов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Минск: Выш. шк., 1988. – 308 с.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 10 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Гулич А.О.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ФАДЕЕВА Г.А.

Все более широкое применение в современных электрических сетях находят кабели напряжением до 1 кВ, 10 кВ и выше с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ кабели), представленные на рисунке 1. В таблице 1 указаны марки одножильных СПЭ кабелей напряжением 10 кВ.

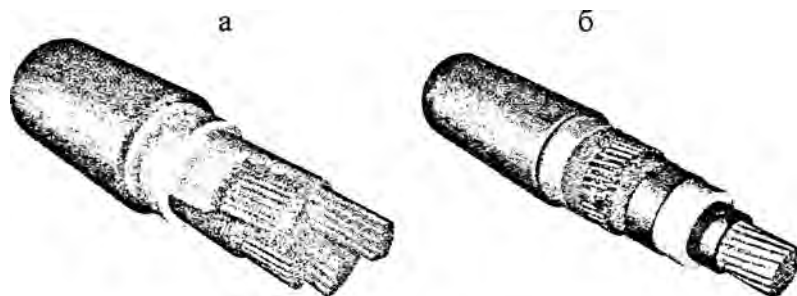


Рисунок 1. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена:
а – на напряжение до 1 кВ; б – на напряжение 10 кВ

Таблица 1. Марки одножильных СПЭ кабелей 10 кВ

Марка	Кабель
ПвПКШ	С медными жилами, изоляцией из вулканизированного полиэтилена, броней из круглых проволок в защитном панцире из полиэтилена
ПвП	С медными жилами, изоляцией из вулканизированного полиэтилена
ПвВ	С медными жилами, изоляцией из вулканизированного полиэтилена, оболочкой из ПВХ пластиката
АПвВ	С алюминиевыми жилами, изоляцией из вулканизированного полиэтилена, оболочкой из ПВХ пластиката
АПвП	С алюминиевыми жилами, изоляцией из вулканизированного полиэтилена

Преимущества СПЭ кабелей по сравнению с кабелями традиционного исполнения заключаются в следующем:

- пропускная способность, ограниченная по условию работы изоляции допустимой температурой +90 °С, на 15–30 % выше по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией того же сечения, для которых по условиям старения изоляции допускается нагрев до +70 °С;

- небольшая масса и меньший диаметр делают прокладку, монтаж, ремонт таких кабелей, соединительных муфт и концевых заделок дешевле и проще, чем для кабелей традиционного исполнения;

- отсутствие жидких компонентов в изоляции дает возможность прокладки кабелей вертикально и на трассах с большой разницей уровней;

- низкая повреждаемость по сравнению с кабелями с бумажной изоляцией;

- применение одножильных кабелей исключает двух- и трехфазные короткие замыкания.

Следует отметить, что при применении СПЭ кабелей увеличивается ширина трассы и стоимость кабельной линии.

СПЭ кабели могут прокладываться на открытом воздухе в коллекторах и сотовых конструкциях или непосредственно под землей. При прокладке одножильные кабели могут располагаться вплотную треугольником, однако рекомендуется располагать их горизонтально в одной плоскости с расстоянием между кабелями, равным диаметру кабеля. От взаимного расположения СПЭ кабелей зависят допустимые по нагреву токи и удельные индуктивные сопротивления. Для прокладки СПЭ линий 10 кВ в земле рекомендуются кабели ПвП, АПвП, на сложных трассах – кабели ПвПу, АПвПу (с усиленной оболочкой).

Данные о стоимостных показателях СПЭ кабелей разных производителей были собраны, систематизированы и подвергнуты статистической обработке с целью получения зависимостей стоимости 1 км кабельной линии от сечения кабеля:

$$K_{уд} = a_0 + a_1 F + a_2 F^2,$$

где a_0, a_1, a_2 – расчетные коэффициенты;

F – площадь сечения кабеля, мм².

В таблице 2 приведены коэффициенты для расчета стоимости кабельных линий напряжением 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, рекомендуемых для прокладки в земле в городах и населенных пунктах. Коэффициенты рассчитаны в белорусских рублях по данным заводов-изготовителей на начало 2007 года. Для перевода в российские рубли стоимость 1 км кабеля следует разделить на 80.

Выбор экономически целесообразной площади сечения кабельных линий может выполняться по экономическим интервалам нагрузки:

$$Z_{уд} = a + bI^2. \tag{1}$$

Выражение (1) позволяет получить зависимости удельных приведенных затрат от тока нагрузки I для всех площадей сечений кабельных линий.

Таблица 2. Коэффициенты для расчета стоимости кабельных линий напряжением 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена

Марка кабеля	Диапазон площади сечения, мм ²	a_0 , тыс. руб/км	a_1 , тыс. руб/км·мм	a_2 , тыс. руб/км·мм ²
ПвП	50–800	8 829	429,97	–0,035
АПвП	50–800	9 412	98,27	–0,04
ПвПу	50–800	10 795	403,02	0,003
АПвПу	50–800	9 496	98,57	–0,04

В основу метода положено известное выражение удельных приведенных затрат:

$$Z_{уд} = EK_{уд} + И, \tag{2}$$

где $K_{уд}$ – стоимость 1 км линии;

$И$ – годовые издержки на эксплуатацию и ремонт 1 км линии;

E – коэффициент эффективности капитальных затрат.

В таблицах 3 и 4 показан пример полученных результатов. Коэффициенты a и b рассчитаны по данным заводов-изготовителей на 2007 год, входящие в выражение (2) величины приняты: время наибольших потерь $\tau = 2\,500$ ч; $\cos\varphi = 0,88$; стоимость 1 кВт·ч потерь энергии $\beta = 105$ руб. РБ/кВт·ч.

Таблица 3. Параметры СПЭ кабелей напряжением 10 кВ с медными жилами и значения коэффициентов a и b для построения экономических интервалов нагрузки

Площадь сечения, мм ²	r_0 , Ом/км	$K_{уд}$, тыс. руб РБ/км	$I_{доп}$, А	a , тыс. руб/км	b , тыс. руб /А ² ·км
ПвП – при прокладке в земле треугольником					
50	0,387	29 106	220	3 492,72	304,76
70	0,268	37 733	270	4 527,96	211,05
95	0,193	47 851	320	5 742,12	151,99
120	0,153	57 503	360	6 900,36	120,49
150	0,124	79 807	410	9 576,84	97,65
185	0,0991	88 111	460	10 573,32	78,04
240	0,0754	109 407	530	13 128,84	59,38
300	0,0601	136 874	600	16 424,88	47,33
400	0,047	170 799	680	20 495,88	37,01
500	0,0366	214 096	750	25 691,52	28,82
630	0,028	267 386	830	32 086,32	22,05

Таблица 4. Параметры СПЭ кабелей напряжением 10 кВ с алюминиевыми жилами и значения коэффициентов a и b для построения экономических интервалов нагрузки

Площадь сечения, мм ²	r_0 , Ом/км	$K_{уд}$, тыс.руб РБ/км	$I_{доп}$, А	a , тыс. руб/км	b , тыс. руб /А ² ·км
АПвП – при прокладке в земле треугольником					
50	0,641	13 238	170	1 588,56	504,79
70	0,443	14 150	210	1 698,00	348,86
95	0,32	17 673	250	2 120,76	252,00
120	0,253	21 254	280	2 550,48	199,24
150	0,206	26 489	320	3 178,68	162,23
185	0,164	28 654	360	3 438,48	129,15
240	0,125	30 131	415	3 615,72	98,44
300	0,1	34 175	475	4 101,00	78,75
400	0,0778	43 079	540	5 169,48	61,27
500	0,0605	45 188	610	5 422,56	47,64
630	0,0464	57 452	680	6 894,24	36,54

Литература

1. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: ЭНАС, 2006.
2. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. Справочник. – М.: ФОРУМ-ИНФРА, 2006.
3. ПО «Энергокомплект». Каталог продукции. – Минск, 2007.
4. ОАО «Камкабель». Каталог продукции. – Пермь, 2007.
5. Прокладка силовых кабелей напряжением до 10 кВ в траншеях. Материалы для проектирования. – Минск: ОАО «Белсельэлектросетьстрой», 2004.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С МЕДНЫМИ ЖИЛАМИ С ПВХ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Перепечко А.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент **ФАДЕЕВА Г.А.**

В последнее время на смену повсеместно используемым кабелям с бумажно-масляной изоляцией пришли кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и поливинилхлоридной (ПВХ) изоляцией. Зарубежный опыт внедрения таких кабелей показал их преимущества: они более устойчивы к воздействию агрессивных почв, более экологичны и надежны в эксплуатации, коэффициент их повреждаемости сводится к минимуму.

Кабель ПвБШв (рисунок 1) предназначен для прокладки на напряжение до 35 кВ. Жила выполнена из мягкой медной проволоки. При сечении от 16 мм² жила выполняется многопроволочной секторной или сегментной формы. Изоляция выполнена из вулканизированного полиэтилена. У трех- и четырехжильных кабелей все жилы имеют одинаковое сечение или одну нулевую жилу меньшего сечения, а при сечении основных жил до 25 мм² кабели выполняются с заземляющей жилой. Поясная изоляция для кабелей на напряжение до 1 кВ включительно – ПЭТФ или ПВХ пленка, допускается изготовление кабелей без поясной изоляции при условии сохранения подвижности изолированных жил и возможности отделения без повреждений оболочки от изоляции.