



УДК 621.315
ББК 31.279

АНАЛИЗ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ю.Б. Прибытков, Е.Г. Зенина

Проведен сравнительный анализ линий сверхвысокого напряжения разных классов напряжения с использованием различных марок проводов. Сделаны выводы о целесообразности применения различных вариантов линий исходя из проведенного технико-экономического расчета.

Ключевые слова: линии сверхвысокого напряжения, пропускная способность, волновые параметры линии, электрические параметры линии, моделирование.

Для современного уровня развития Единой национальной электрической сети (ЕНЭС) России характерны: большой охват территории, наличие многоконтурных сетей нескольких классов напряжения (110, 220, 330, 500, 750 кВ), объединенных сложными трансформаторными связями.

В условиях рыночных отношений возрастают требования к максимальному использованию пропускной способности электрических сетей и повышению надежности функционирования ЕНЭС России. Этому способствуют внедрение управляемых систем электропередачи переменного тока (*FACTS*). Вместе с тем необходимо отметить, что ЕНЭС, созданная достаточно давно, нуждается в серьезной модернизации основных фондов и обновлении. Это касается как замены почти 50 % физически и морально устаревшего оборудования, так и применения новых технологий и оборудования. Кроме того, исходя из прогноза Министерства энергетики РФ к 2030 г. потребление электроэнергии ОЭС Юга, куда входит энергосистема Волгоградской области, возрастет в 1,8 раза. Следовательно, увеличение пропускной способности линий сверхвысокого напряжения является актуальной задачей.

Увеличение пропускной способности ЕНЭС может осуществляться в нескольких

направлениях, которые включают в себя применение современного оборудования регулирования напряжения и управления перетоками электроэнергии, современных видов проводов; постепенное расширение за счет строительства ЛЭП того же класса напряжения, вводов дополнительной трансформаторной мощности; строительство новых и/или перевод существующих объектов на более высокие классы напряжения.

Однако при реконструкции ЛЭП возникают проблемы, связанные с повышением напряжения. К ним, например, относятся проблемы обеспечения надежной и устойчивой работы всей электроэнергетической системы при аварийных выходах линий из работы; ограниченные технические возможности глубокого снижения внутренних перенапряжений и решение достаточно острых экологических проблем, связанных с отводом земли и воздействием электрического поля на живые организмы.

Одним из способов повышения пропускной способности является замена существующих проводов. На сегодняшний день разработаны провода с повышенной пропускной способностью на основе оптимизации конструкции провода [1], в том числе за счет замены стандартных проводов марки АС с круглой проволокой на провода из алюминиевых сплавов с Z-образными и трапециевидными проволоками. Например, такие провода, как АААС – провод из алюминиевого сплава и АСРС – алюминиево-циркониевый провод со стальным сердечником.

Проведем сравнительный анализ увеличения пропускной способности линий сверхвысокого напряжения на примере ЛЭП 500 кВ «Балаковская АЭС» – «Трубная» (рис. 1). При реконструкции ЛЭП передаваемая мощность к ПС «Трубная» возрастет с 1 000 до 1 800 МВт.

Расчет основных электрических параметров действующей ЛЭП показывает, что ЛЭП не готова пропускать прогнозируемую мощность, а провода 3*АС 300/66 и 3*АС 330/43 не проходят проверку на термическую стойкость. Поскольку

срок эксплуатации проводов – 45 лет, а к 2030 г. срок эксплуатации составит 41 год, то установка компенсирующих устройств вместо замены на провод большего сечения также нецелесообразна.

В процессе анализа сравним стандартные марки проводов АС, применяемые на действующей ЛЭП, с современными проводами марок АААС и АСР, проанализируем их параметры при различных классах напряжения.

Рассмотрим схему одноцепной ЛЭП 750 кВ без компенсирующих устройств (рис. 2).

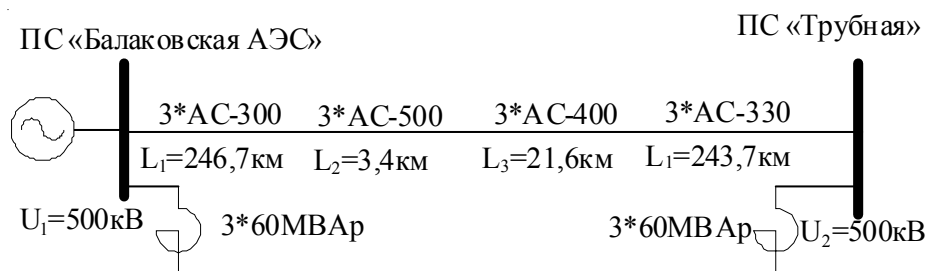


Рис. 1. Схема действующей ЛЭП «Балаковская АЭС» – «Трубная»

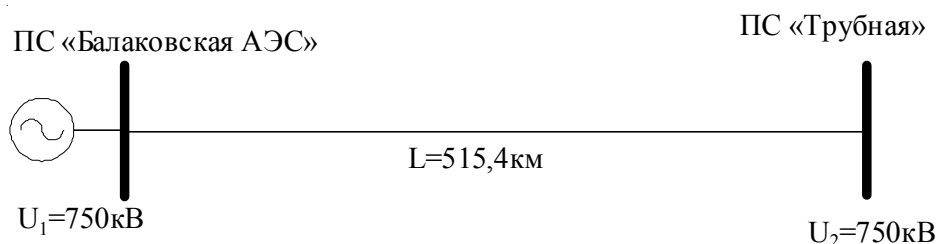


Рис. 2. Схема ЛЭП 750 кВ

При моделировании и расчете параметров линии применим метод прямого вычисления параметров [2]. Для этого определены волновые параметры рассматриваемых проводов (табл. 1), продольные сопротивления и поперечные проводимости линии для П-образной схемы замещения (см. табл. 2).

Рассчитаны коэффициенты четырехполюсника для каждой марки провода и параметры режима наибольшей передаваемой мощности (см. табл. 3).

В качестве альтернативы первому варианту проанализируем применение рассмотренных марок проводов на ЛЭП 500 кВ (см. рис. 3).

Таблица 1

Определение волновых параметров рассматриваемых проводов

Марка провода	Волновые параметры ЛЭП		
	коэффициент распространения волны γ , рад/км	волновое сопротивление линии $ Z_B $, Ом	натуральная мощность ЛЭП $P_{нп}$, МВт
5*АС 240/56	$4,265 \times 10^{-3} + j \cdot 1,053 \times 10^{-3}$	268,722	2 093
5* АААС 242-2Z	$4,65 \times 10^{-3} + j \cdot 1,53 \times 10^{-3}$	270,84	2 077
5*LF G(Z) АСР 240	$4,224 \times 10^{-3} + j \cdot 1,053 \times 10^{-3}$	269,74	2 085

Таблица 2

Определение продольных сопротивлений и поперечных проводимостей линии для П-образной схемы замещения

Марка провода	Параметры схемы замещения	
	продольное сопротивление, Ом	поперечная проводимость, См
5*AC 240/56	$10,67+j \times 138,53$	$2,135 \times 10^{-6} + j \times 1,036 \times 10^{-3}$
5*AAAC 242-2Z	$11,72+j \times 139,59$	$2,31 \times 10^{-6} + j \times 1,029 \times 10^{-3}$
5*LF G(Z)ACSR 240	$10,61+j \times 139,06$	$2,106 \times 10^{-6} + j \times 1,032 \times 10^{-3}$

Таблица 3

Определение параметров режима наибольшей передаваемой мощности

Параметры ЛЭП 750 кВ	Марки проводов		
	5*AC 240/56	5*AAAC 242-2Z	5*LF G(Z)ACSR 240
Собственные проводимости схемы, Ом	$162,22 \times e^{j0,09}$	$163,55 \times e^{j0,098}$	$162,83 \times e^{j0,089}$
Взаимные проводимости схемы, Ом	$138,95 \times e^{j0,077}$	$140,08 \times e^{j0,084}$	$139,47 \times e^{j0,076}$
Угол сдвига фаз между напряжениями по концам линии δ , рад	0,453	0,457	0,455
Реактивная мощность в начале линии, МВАр	-311,65	-316,84	-306,35
Мощность, отдаваемая системой, МВА	1 826	1 828	1 826
Наибольшая передаваемая мощность, МВт	6 012	5 964	5 990
Потери активной мощности в линии ΔP , МВт	63,32	69,63	62,89

Результаты моделирования представлены в таблицах 4, 5, 6.

Анализ полученных характеристик сравниваемых проводов показывает, что все марки проводов имеют примерно одинаковые входные и выходные электрические параметры и энергетические характеристики. Следовательно, замена старых проводов на новые не столь очевидна, как это может показаться на первый взгляд. Преимущества применения новых проводов сказываются прежде всего на эксплуатационных характеристиках, таких как снижение аэродинамического эффекта и пляски проводов; уменьшение сте-

пени обледенения провода; уменьшение вероятности обрыва провода и уровня усталости металла в проводе, практически полное предотвращение внутренней коррозии, увеличение срока службы проводов и повышение надежности ВЛ.

Сравнение полученных данных с точки зрения применения новых марок проводов позволяет сделать вывод о том, что по потерям активной мощности целесообразно применение проводов марки ACSR с улучшенным коэффициентом заполнения проводов. По пропускной способности наилучшим вариантом является ЛЭП с напряжением 750 кВ.

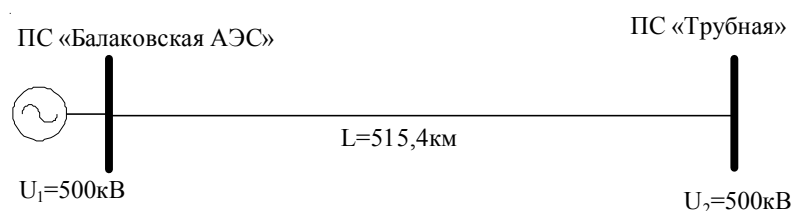


Рис. 3. Схема ЛЭП 500 кВ

В результате технико-экономического сравнения расчетных вариантов выявлено, что капитальные вложения в реконструкцию ЛЭП при напряжении 500 кВ больше в связи с необходимостью применения проводов увеличенного сечения из-за больших токов (см. табл. 7).

Капитальные вложения в реконструкции подстанций при напряжении 750 кВ больше в связи с потребностью увеличения количества

силового электрооборудования с напряжением 500 кВ и 750 кВ (автотрансформаторов, выключателей). Издержки, связанные с потерей электроэнергии в ЛЭП при напряжении 500 кВ, больше из-за большего сопротивления линии по сравнению с напряжением 750 кВ. Однако по приведенным затратам вариант ЛЭП 500 кВ экономически более целесообразен.

Таблица 4

Волновые параметры проводов ЛЭП 500 кВ

Марка провода	Волновые параметры ЛЭП		
	коэффициент распространения волны γ , рад/км	волновое сопротивление линии $ Z_{\text{в}} $, Ом	натуральная мощность ЛЭП $P_{\text{нат}}$, МВт
5*AC 240/56	$2,923 \times 10^{-5} + j \times 1,054 \times 10^{-3}$	240,05	1 041
5*AAAC 242-2Z	$2,951 \times 10^{-5} + j \times 1,054 \times 10^{-3}$	240,68	1 039
5*LF G(Z)ACSR 240	$2,851 \times 10^{-5} + j \times 1,054 \times 10^{-3}$	240	1 042

Таблица 5

Параметры П-образной схемы замещения ЛЭП 500 кВ

Марка провода	Параметры схемы замещения	
	продольное сопротивление, Ом	поперечная проводимость, См
5*AC 240/56	$6,53 + j \times 123,91$	$1,64 \times 10^{-6} + j \times 1,16 \times 10^{-3}$
5*AAAC 242-2Z	$6,61 + j \times 124,23$	$1,65 \times 10^{-6} + j \times 1,157 \times 10^{-3}$
5*LF G(Z)ACSR 240	$6,374 + j \times 123,89$	$1,598 \times 10^{-6} + j \times 1,16 \times 10^{-3}$

Таблица 6

Параметры режима наибольшей передаваемой мощности ЛЭП 500 кВ

Параметры ЛЭП 500 кВ	Марки проводов		
	5*AC 240/56	5*AAAC 242-2Z	5*LF G(Z)ACSR 240
Собственные проводимости схемы, Ом	$144,91 \times e^{j 0,062}$	$145,292 \times e^{j 0,062}$	$144,88 \times e^{j 0,06}$
Взаимные проводимости схемы, Ом	$124,09 \times e^{j 0,053}$	$124,41 \times e^{j 0,053}$	$124,06 \times e^{j 0,051}$
Угол сдвига фаз между напряжениями по концам линии δ , рад	1,051	1,055	1,052
Реактивная мощность в начале линии, МВАр	630,5	634,54	634,17
Мощность, отдаваемая системой, МВА	1 907	1 909	1 908
Наибольшая передаваемая мощность, МВт	2 992	2 984	2 992,6
Потери активной мощности в линии ΔP , МВт	95,08	96,39	92,86

Технико-экономическое сравнение расчетных вариантов ЛЭП

Класс напряжения, кВ	Экономические показатели, тыс. руб.				
	капиталовложения в ЛЭП, K_L	капиталовложения в подстанцию, K_P	суммарные затраты на строительство ЛЭП, K_{Σ}	издержки, I_{Δ}	приведенные затраты, Z
750	2 917	2 600	5 517	140,3	1 013
500	3 154	1 600	4 754	143,05	936

Таким образом, если приоритетной задачей является увеличение пропускной способности линии сверхвысокого напряжения, то необходимо переходить на более высокое напряжение при некотором незначительном увеличении (на 7,6 %) приведенных затрат на модернизацию линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданова, Н. Н., Жданов И.С. Модификация подхода к выбору структуры материала проводов при помощи информационной системы / Н. Н. Жданова, И. С. Жданов // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 10, Инновационная деятельность. – 2012. – № 7. – С. 75.
2. Рыжов, Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения / Ю. П. Рыжов. – М. : Издат. дом МЭИ, 2007. – 488 с. : ил.

ANALYSIS CAPACITY LINE EHV

Yu.B. Pribytkov, E.G. Zenina

Comparative analysis of extra-high voltage lines of different voltage levels using different brands of cables. The conclusions about the appropriateness of different lines on the basis of its technoeconomic calculation.

Key words: extra-high voltage (EHV) lines, capacity, wave parameters of the wave line, electrical parameters of the wave line, model operation.