

# ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЛ 110 КВ

АВТОР:

С.И. ПОЛЕЩУК,  
ФИЛИАЛ  
ПАО «ФСК ЕЭС» —  
МЭС ВОСТОКА

**В** новой редакции Положения ПАО «Россети» о единой технической политике в электро-сетевом комплексе Российской Федерации одной из заявленных стратегических задач, на решение

которых должна быть направлена техническая политика, является разработка мероприятий по повышению пропускной способности электрических сетей и снижению в них потерь электрической энергии.

**Ключевые слова:** расщепленная фаза; пропускная способность; экономическая эффективность; надежность электроснабжения.



Общий вид ПС 500/220 кВ «Лозовая». На переднем плане место для расширения ПС со строительством ОРУ 110 кВ

## ВВЕДЕНИЕ

Большинство применяемых в настоящее время методов повышения пропускной способности ВЛ требует увеличения единовременных капитальных затрат на их реализацию с последующим определением экономической эффективности по разности между стоимостью понесенных дополнительных капитальных затрат и величиной снижения потерь электроэнергии за несколько лет будущей эксплуатации этих ВЛ. При этом срок окупаемости единовременных капитальных вложений может растянуться на значительное время, что ограничивает сооружение таких ВЛ в современных быстроменяющихся экономических условиях.

В настоящей статье предложено простое инженерное конструктивное решение повышения пропускной способности ВЛ до уровня линий следующего класса напряжения. Снижение величины капитальных затрат при реализации предлагаемого решения достигается возможным упрощением схем внешнего электроснабжения, при которых отпадает необходимость в сооружении дополнительных электротехнических объектов, размещаемых между узловыми ПС ЕНЭС и РУ 110 кВ потребителей.

В большинстве случаев схемы электроснабжения потребителей на участках между РУ 220 кВ узловой ПС ЕНЭС и РУ 110 кВ потребителей представляется цепочкой из нескольких последовательно соединенных объектов:

**РУ 220 кВ узловой ПС → ЛЭП 220 кВ → ПС 220/110 кВ → ЛЭП 110 кВ → РУ 110 кВ потребителя**

При использовании в схеме внешнего электроснабжения предлагаемых ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности (ППС) коли-

чество таких объектов уменьшается, что и приводит к общему сокращению капитальных затрат, несмотря на увеличение стоимости оставшихся элементов схемы:

**РУ 220/110 кВ узловой ПС → ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности → РУ 110 кВ потребителя**

В этом отношении представляется целесообразным сравнить между собой ВЛ двух соседних классов напряжения — 110 и 220 кВ и дать оценку эффективности повышения пропускной способности ВЛ 110 кВ до уровня ВЛ 220 кВ как с точки зрения повышения надежности схемы передачи электроэнергии потребителям, так и с точки зрения сравнения капитальных затрат, необходимых для их реализации.

Ниже приведены основные технико-экономические расчеты, обосновывающие целесообразность передачи по ВЛ 110 кВ ППС мощности, сопоставимой с мощностью, передаваемой по линиям электропередачи напряжением 220 кВ. Благодаря этому открывается возможность использовать ВЛ 110 кВ ППС в области мощностей, для передачи которых традиционно используются ВЛ 220 кВ.

В настоящей статье рассмотрены ВЛ 110 кВ ППС с обычными сталеалюминиевыми проводами, изготавливаемыми по ГОСТ 839-80, но с расщеплением каждой фазы ВЛ на 2 или 4 провода, и подвеской их на типовых опорах, применяемых в настоящее время для линий электропередачи напряжением 220 кВ.

При этом, если ВЛ 110 кВ ППС предназначена для передачи мощности в пределах 50–70 МВА, то фазы ВЛ расщепляются на два провода и подвешиваются на одноцепных или двухцепных опорах 220 кВ в зависимости от технических условий присоединения потребителя к энер-

госистеме и места данной ВЛ в схеме электроснабжения энергорайона.

Если же по ВЛ 110 кВ ППС передается мощность 100 и более МВА, то фазы одной трехфазной ВЛ размещаются на двухцепных опорах 220 кВ в виде двухцепной ВЛ с дополнительным расщеплением каждой фазы на два провода.

Таким образом, при нагрузках 100 МВА и более вместо одного фазного провода, подвешиваемого на ВЛ 220 кВ, на ВЛ 110 кВ ППС используются опоры 220 кВ с подвеской на них четырех проводов аналогичного сечения.

Основными полезными эффектами, которые принесет использование предлагаемого решения, являются упрощение схемы внешнего электроснабжения промышленных предприятий, повышение надежности их электроснабжения и снижение общей стоимости капитальных затрат, необходимых для реализации схем присоединения крупных узлов электрических нагрузок к основным сетям ЕНЭС.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАССМАТРИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

В качестве рассматриваемых объектов возьмем намеченные к строительству Восточный нефтехимический комплекс ЗАО «Восточная нефтехимическая компания» (далее ВНХК) и ЛЭП 220 кВ «Широкая — Лозовая» с выносным РУ 220 кВ ПС «Находка».

Строительство ВНХК и выносного РУ 220 кВ ПС «Находка» планируется осуществить в общем энергорайоне в южной части Приморского края на побережье Японского моря. Данный район отличается сложными

климатическими условиями. Отдельные участки трассы проектируемых ВЛ 220 кВ проходят по территориям, соответствующим IV–VI районам по ветру и IV району по гололеду. Порывы ветра, зафиксированные в этой местности во время тайфуна «Гони» в августе 2015 г., достигали ураганных значений 33–35 м/с. Ровно через год на Приморье обрушился новый тайфун «Лайнрок», ущерб

от которого, по предварительным оценкам, превышает 1 млрд руб. Потребляемая мощность ВНХК из энергосистемы составляет 200 МВт при  $\cos \varphi = 0,97$  по первой категории надежности электроснабжения.

Для присоединения к существующим электрическим сетям ПАО «ФСК ЕЭС» РУ 110 кВ тепловой электростанции ВНХК на бли-

жайшей узловой подстанции 500/220/110 кВ «Лозовая», расположенной в 20 км от ВНХК, предусматривается расширение ОРУ 220 кВ на две линейные ячейки. Кроме того, в непосредственной близости от ВНХК выполняется строительство новой ПС 220/110/10 кВ ВНХК с двумя автотрансформаторами 220/110/10 кВ мощностью по 250 МВА. Строятся также две

## СХЕМА ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВНХК И ПС 110 кВ «НАХОДКА»

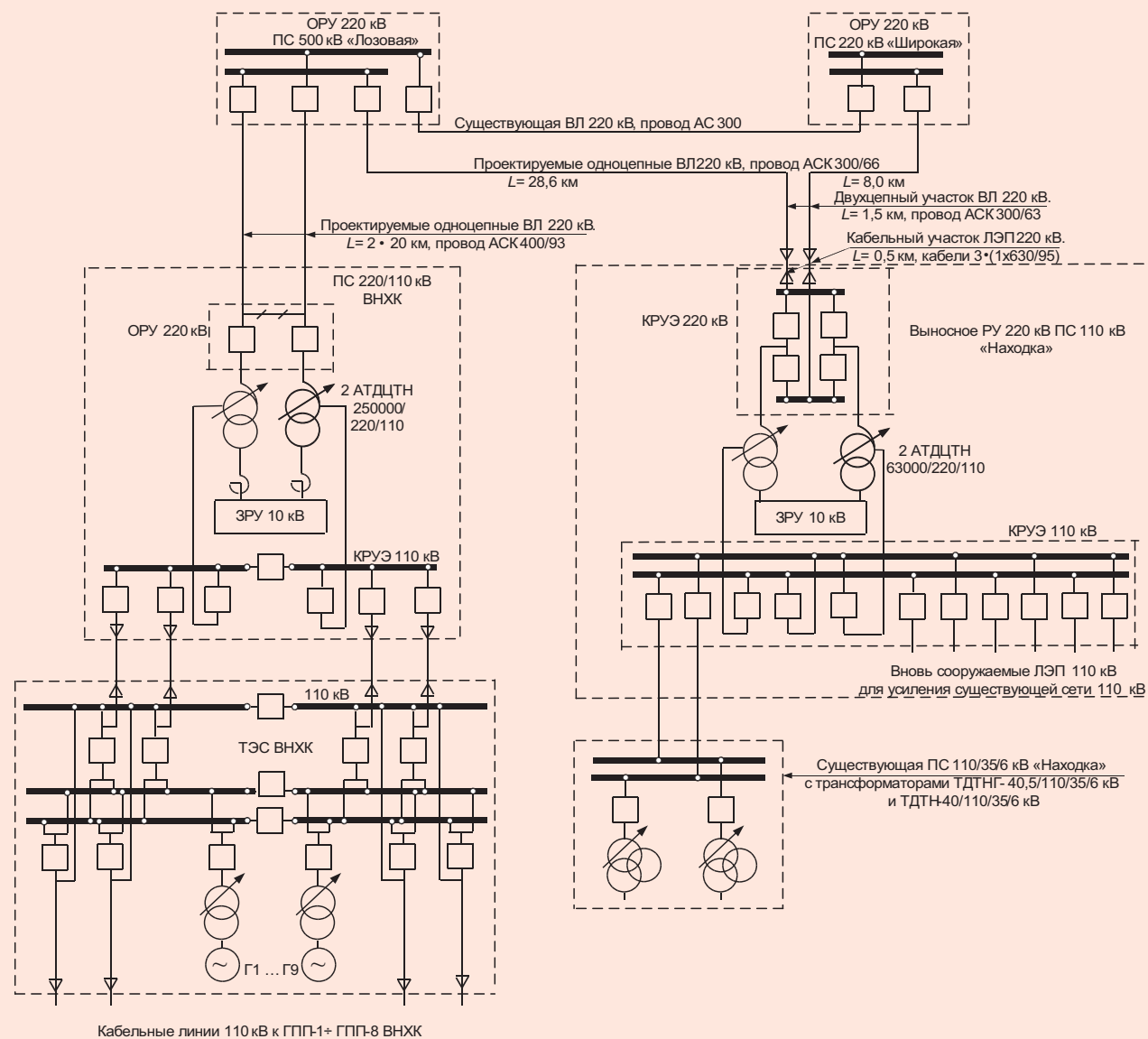


Рис. 1

одноцепные ВЛ 220 кВ от ПС 500 кВ «Лозовая» до ПС 220 кВ ВНХК с проводами АСК 400/93 на опорах типа У220-1 и прокладываются четыре кабельные линии 110 кВ от ПС 220/110 кВ ВНХК до РУ 110 кВ ТЭС ВНХК с длиной каждой КЛ около 0,5 км.

Место расположения ПС 220 кВ ВНХК отнесено к IV степени загрязнения атмосферы вследствие совместного загрязнения окружающей среды восточным нефтехимическим комплексом и солевыми уносами со стороны Японского моря.

К настоящему времени выполнены инженерные изыскания по трассам проектируемых ВЛ 220 кВ и разрабатываются основные технические решения по ВЛ 220 кВ «Лозовая — ВНХК» с ПС 220 кВ ВНХК.

РУ 220 кВ ПС 220 кВ ВНХК выполняется в открытом исполнении по схеме № 220-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», РУ 110 кВ — закрытого исполнения с применением КРУЭ по схеме № 110-9 «Одна рабочая, секционированная выключателем система шин», РУ 10 кВ — ЗРУ по схеме № 10-1 «Одна, секционированная выключателем система шин».

Проектная документация ЛЭП 220 кВ «Широкая — Лозовая» с выносным РУ 220 кВ ПС «Находка» разработана в 2014 г. Большая часть этой ВЛ длиной 36,6 км выполняется в одноцепном исполнении с подвеской проводов АСК 300/66. На подходе к выносному РУ 220 кВ ПС «Находка» запроектирован двухцепной участок ЛЭП длиной 1,5 км и кабельный участок длиной 0,5 км.

Название «Выносное РУ 220 кВ» условно, так как включает в себя набор объектов, характерных для отдельно стоящей ПС 220/110 кВ, в том числе:

- два автотрансформатора 220/110 кВ мощностью по 63 МВА;
- совмещенное производственное здание с КРУЭ 220 кВ (СПГ);
- КРУЭ 110 кВ, ЗРУ 10 кВ.

В свою очередь, кроме КРУЭ 220 кВ, в состав СПГ входят ОПУ, трансформаторы собственных нужд мощностью 2 × 630 кВА, щит собственных нужд на девять панелей, два щита постоянного тока, две аккумуляторные батареи.

Общая мощность, используемая в распределительных сетях, присоединяемых к выносному РУ 220 кВ ПС «Находка», ограничена мощностью вновь устанавливаемых автотрансформаторов 220/110 кВ.

Расчетный ток для ЛЭП 220 кВ «Находка — Лозовая» принят равным 216 А, исходя из перераспределения транзитной мощности между существующей и вновь проектируемой ВЛ 220 кВ «Широкая — Лозовая».

Принятые в проектной документации схемы внешнего электроснабжения ВНХК и ПС 110 кВ «Находка» приведены на рис. 1.

Основные условия повышения пропускной способности ВЛ до уровня мощностей, передача которых традиционно осуществляется с использованием линий следующего класса напряжения, определяются известными уравнениями (1) и (2):

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U, \quad (1)$$

где  $S$  — передаваемая по ВЛ мощность, МВА;

$I$  — расчетный ток ВЛ в нормальном режиме, кА;

$U$  — линейное напряжение ВЛ, кВ.

Из уравнения (1) следует, что при снижении напряжения ВЛ

с 220 кВ до 110 кВ, т.е. в два раза, пропускная способность ВЛ 110 кВ может стать сопоставимой с пропускной способностью, аналогичной ВЛ 220 кВ только при соответствующем увеличении ее токовой нагрузки также в два раза, и

$$I_{110} = 2I_{220}.$$

Кроме того, в соответствии с уравнением (2)

$$\Delta P = I_{110}^2 R = (2I_{220})^2 R = 4I_{220}^2 R \quad (2)$$

увеличение токовой нагрузки в два раза вызовет увеличение потерь активной мощности  $\Delta P$  в рассматриваемой ВЛ напряжением 110 кВ в четыре раза. Поэтому для сохранения уровня потерь мощности в линии 110 кВ ППС на уровне ВЛ 220 кВ необходимо величину активного сопротивления ВЛ 110 кВ соответственно уменьшить в четыре раза.

Существующие конструкции типовых стальных решетчатых одноцепных и двухцепных опор 110 кВ рассчитаны на подвеску сталеалюминиевых проводов марок от АС 70/11 до АС 240/32, что для передачи необходимой мощности недостаточно.

Поэтому в дальнейших технико-экономических расчетах ВЛ 110 кВ ППС для ВНХК и выносного РУ 220 кВ ПС «Находка» вместо одноцепных ВЛ 220 кВ предлагается использовать двухцепные воздушные линии 110 кВ с подвеской проводов на опорах 220 кВ и с расщеплением каждой фазы на два провода.

Провода монтируются на решетчатых анкерно-угловых опорах типа У220-2. Исходя из климатических особенностей места прохождения трассы проектируемой ВЛ, ранее принятые провода АСК 400/93 и АСК 300/63 в каждой фазе ВЛ 220 кВ заменяются в ВЛ 110 кВ ППС на два провода АСК 400/93 с расстоянием между ними 0,5 м.



Электрические характеристики сравнимых одноцепных ВЛ 220 кВ с двухцепными ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности приведены в табл. 1.

Из таблицы 1 следует, что в зависимости от величины передаваемой мощности по сравнимым между собой ВЛ 110 кВ ППС и ВЛ 220 кВ в традиционном исполнении величины потерь активной мощ-

ности в этих линиях между собой сопоставимы.

Потери реактивной мощности в ВЛ 110 кВ ППС выше потерь реактивной мощности в ВЛ 220 кВ в 1,4–1,6 раза. Однако в настоящее время в денежном выражении стоимость этих потерь не учитывается.

Следует также отметить более высокую надежность электроснабжения

потребителей с помощью ВЛ 110 кВ ППС, которая достигается уменьшением общего числа элементов схемы, влияющих на ее надежность.

Кроме того, фактическое использование для рассматриваемых ВЛ опор следующего класса напряжения сокращает их удельную повреждаемость в 2,5 раза по сравнению с обычными ВЛ 110 кВ. По данным, приведенным в Справочнике

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПОЛНЕНИЯ ВЛ «ЛОЗОВАЯ — ВНХК» И «ЛОЗОВАЯ — НАХОДКА» НА НАПРЯЖЕНИЯХ 220 И 110 КВ

№ п/п	Параметры ВЛ	ВЛ «Лозовая — ВНХК»		ВЛ «Лозовая — Находка»		Примечания
		одноцепные ВЛ 220 кВ	ВЛ 110 кВ ППС*	одноцепные ВЛ 220 кВ	ВЛ 110 кВ ППС*	
1	Длина одной ВЛ, км	20	20	30,1 + 9,5*	30,1	* Длина участка «Широкая — Находка»
2	Количество трехфазных цепей	2	4	2*	2	* С учетом ВЛ 220 кВ «Широкая — Находка»
3	Величина передаваемой мощности по одной цепи в нормальном режиме, МВА	$100 + j25,1 = 103,1$	$50 + j12,55 = 51,55$	$1,732 \times 0,216^* \times 220 = 82,305 = 79,8 + j20,13$	$0,7 \times 63,0^{**} = 44,1 = 42,8 + j10,635$	* Номинальный ток с учетом транзитной мощности ** Мощность АТ в проектной документации выносного РУ 220 кВ на ПС «Находка»
4	Марка провода	АСК 400/93	АСК 400/93	АСК 300/66	АСК 400/93	
5	Количество проводов в фазе, шт.	1	2	1	2	
6	Активное электрическое сопротивление фазы ВЛ при $T = 20^\circ\text{C}$ , Ом/км	0,0711	0,0356	0,10226	0,0356	
7	Расстояние между проводами расщепленной фазы $d$ , м	—	0,5	—	0,5	
8	Эквивалентный радиус провода, $r_{\text{пр.экв}}$ , м	0,0146	0,085	$0,0245/2 = 0,0123$	0,085	
9	Индуктивное сопротивление, $X_{\text{ин}}$ , Ом/км	0,427	0,295	0,438	0,295	
10	Емкостная проводимость, $b_{\text{пр}}$ , См/км	$2,65 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$2,587 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	
11	Емкостная проводимость всей линии, $B$ , 1/Ом	$53 \cdot 10^{-6}$	$76,0 \cdot 10^{-6}$	$77,87 \cdot 10^{-6}$	$114,38 \cdot 10^{-6}$	
12	Зарядная мощность линии, $Q_b$ , Мвар	2,56	0,92	3,77	1,384	
13	Потери активной мощности в линии, $\Delta P$ , кВт	308,7	310,0	422,0	340,0*	* Учтены потери в обеих цепях
14	Потери реактивной мощности в линии, $\Delta Q$ , квар	1853,2	2570,0	1807,5	2887,1*	* Учтены потери в обеих цепях

Таблица 1

## СХЕМА ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВНХК И ПС 110 КВ «НАХОДКА» НА ОСНОВЕ ВЛ 110 КВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

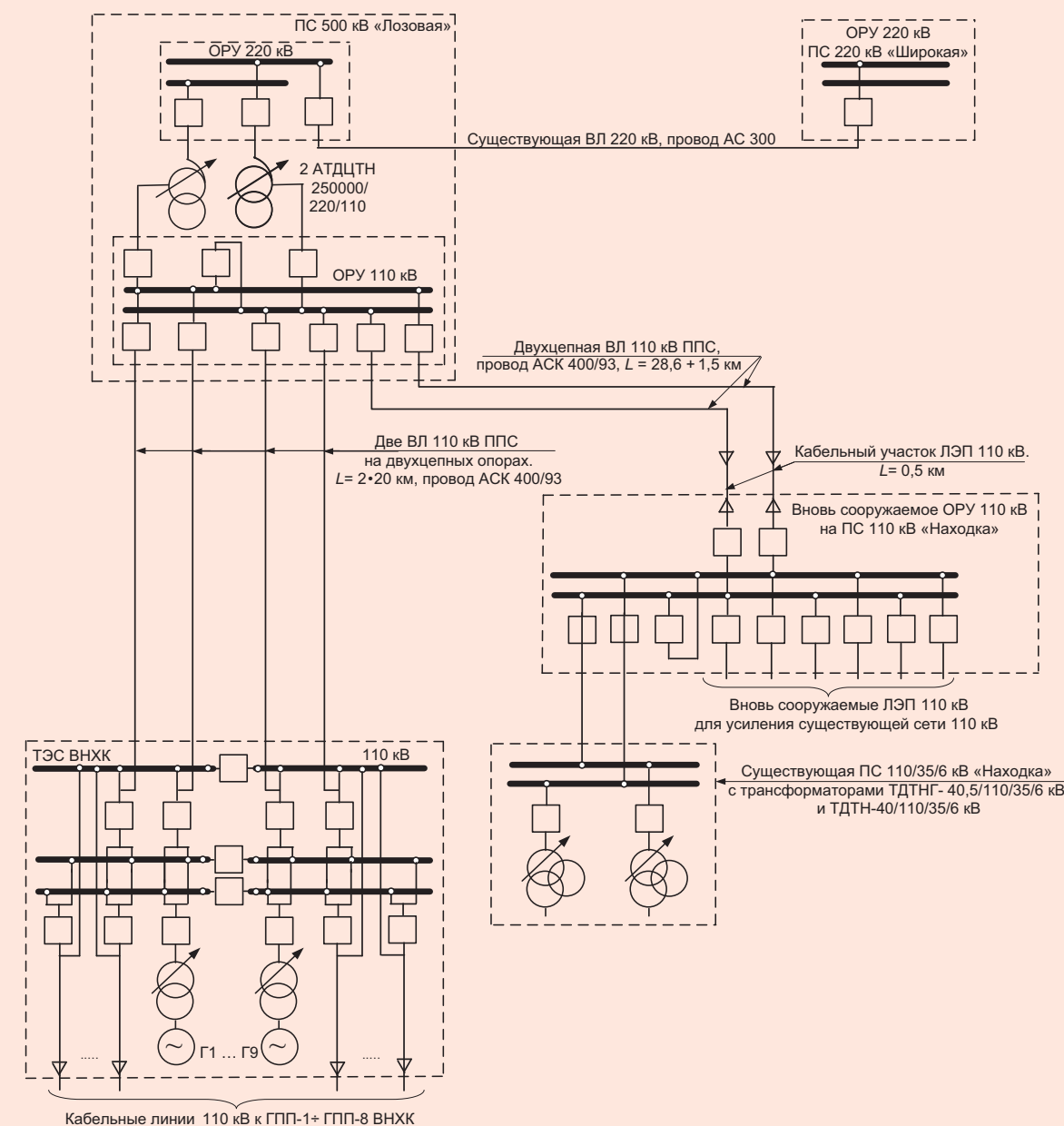


Рис. 2

по проектированию подстанций 35–1150 кВ [1], удельная повреждаемость ВЛ 110 кВ длиной 100 км, выполненных на металлических опорах, равна  $\lambda_{110} = 1,28 \text{ год}^{-1}$ , в то время как удельная повреждаемость

аналогичных ВЛ 220 кВ не превышает  $\lambda_{220} = 0,5 \text{ год}^{-1}$ .

Использование опор 220 кВ также позволяет регулировать количество изоляторов в натяжных и под-

держивающих гирляндах по мере изменения степени загрязнения окружающей среды, по которой проходит трасса ВЛ, вплоть до перехода на изоляцию следующего класса напряжения.

Для повышения надежности ВЛ 110 кВ пропускной способностью 100 МВА и более каждые три фазы этих ВЛ присоединяются к РУ 110 кВ с помощью отдельных выключателей, что позволяет при ремонтных или аварийно-восстановительных работах на одной из цепей этих ВЛ оставлять в работе вторую цепь.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЛ 110 КВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Приведенные в табл. 1 характеристики ВЛ 110 кВ показывают, что технические параметры рассматриваемых ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности позволяют не только вынести ПС 220/110 кВ ВНХК из зоны загрязнения, но и полностью отказаться от сооружения отдельно стоящей ПС 220 кВ ВНХК, разместив автотрансформаторы 220/110 кВ и РУ 110 кВ на расширяемой территории ПС 500 кВ «Лозовая».

Схема внешнего электроснабжения ВНХК и ПС 110 кВ «Находка» с организацией на ПС 500 кВ «Лозовая»

РУ 110 кВ с автотрансформаторами 220/110 кВ и применением рассматриваемых ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности приведена на рис. 2.

Эффективность реализации схемы внешнего электроснабжения ВНХК с использованием ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности определена в табл. 2.

Стоимостные показатели отдельных элементов схемы электроснабжения, приведенной на рис. 2, приняты по базисному уровню цен 2000 г., указанных в сборнике укрупненных стоимостных показателей линий электропередачи и подстанций напряжением 35–1150 кВ (СТО 56947007-29.240.124-2012) [2] и затем переведены в цены 4-го квартала 2015 г.

При этом базисная стоимость двухцепных ВЛ 110 кВ с расщепленными проводами в табл. 3 определена по приведенной в сборнике [2] стоимости свободностоящих двухцепных металлических опор 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами сечением 400 мм<sup>2</sup> и поэтому увеличена с 1382 тыс. руб./км (принятой для традиционных одноцепных ВЛ 220 кВ с проводами сечением 400 мм<sup>2</sup>) до 2275 тыс. руб./км.

Из таблицы 2 следует, что, несмотря на двукратное увеличение стоимости

ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности, общий экономический эффект от их применения в схеме электроснабжения рассматриваемого объекта составит порядка 300 млн руб. в ценах 4-го квартала 2015 г.

Полученную величину экономического эффекта от использования ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности в схеме электроснабжения ВНХК следует дополнить эффектом от применения ВЛ 110 кВ ППС в схеме электроснабжения ПС 110 кВ «Находка».

На рис. 2 ОРУ 110 кВ ПС 500 кВ «Лозовая» расширено на две линейные ячейки для присоединения к ним ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности, используемых вместо ячеек 220 кВ, ранее предусмотренных для ЛЭП 220 кВ «Широкая — Лозовая» с выносным РУ 220 кВ ПС «Находка».

Применение на этом объекте ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности предлагаемого конструктивного исполнения позволит полностью отказаться от сооружения выносного РУ 220 кВ на ПС 110 кВ «Находка», осуществить на освобожденной площади строительство ОРУ 110 кВ вместо ранее запроектированного КРУЭ 110 кВ и присоединить вновь сооружаемое ОРУ 110 кВ с дополнительными нагрузками ПС «Находка» непосредственно к ОРУ

## СТОИМОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВНХК ПРИ УСТАНОВКЕ АТ 220/110 КВ И ОРГАНИЗАЦИИ РУ 110 КВ НА ПС 500 КВ «ЛОЗОВАЯ»

№ п/п	Характеристика элементов схемы электроснабжения	Сооружение ПС 220/110 кВ ВНХК	Размещение АТ 220/110 кВ и РУ 110 кВ на ПС 500 кВ «Лозовая»	Примечание
1	ОРУ 220 кВ на две ячейки с выключателями	2 × 11 750 = 23 500	–	СТО 56947007-29.240.124-2012, табл. 15
2	Постоянная часть затрат по ОРУ 220 кВ	24 440	–	Там же, табл. 27*
3	Токоограничивающие реакторы 10 кВ	2 × 611 = 1222	–	Там же, табл. 26
4	ЗРУ 10 кВ, пять комплектов выключателей	5 × 150 = 750	–	Там же, табл. 15
5	КРУЭ 110 кВ на ПС 220/110 кВ ВНХК, семь ячеек с выключателями	7 × 10 340 = 72 380	–	Там же
6	ОРУ 110 кВ на ПС 500/220/110 кВ «Лозовая», семь ячеек с выключателями	–	7 × 6580 = 46 060	Там же
7	Постоянная часть затрат по КРУЭ 110 кВ	13 160	–	Там же, табл. 27*
8	Постоянная часть затрат по ОРУ 110 кВ	–	19 740	Там же
9	Две одноцепные ВЛ 220 кВ L = 20 км с проводом 400 мм <sup>2</sup>	2 × 20 × 1382 × 1,033 × 1,06 × 1,0318 = 62 455,5**	–	Там же, табл. 1
10	Две двухцепные ВЛ 110 кВ в габаритах 220 кВ L = 20,5 км с расщепленными фазами на два провода 400 мм <sup>2</sup>	–	2 × 20,5 × 2275 × 1,3 = 121 257,5	Принят дополнительный коэффициент 1,3 на сокращение длины пролетов
11	Четыре кабельные линии 110 кВ из сшитого полиэтилена при совместной прокладке двух линий L = 0,5 км	2 × 0,5 × 23 500 = 23 500	–	СТО 56947007-29.240.124-2012, табл. 10
Итого в ценах 2000 г.		221 407,5	187 057,5	
Итого в ценах 4 квартала 2015 г. с K <sub>пер</sub> = 7,0		7 × 221 407,5 = 1 549 852,5	7 × 205 800 = 1 309 402,5	
Итого с учетом зонального коэффициента для Дальнего Востока, K <sub>з</sub> = 1,3		1,3 × 1 549 852,5 = 2 014 808,25	1,3 × 1 309 402,5 = 1 702 223,25	
Снижение стоимости капитальных затрат, млн руб.			312,6	

\* В стоимость постоянной части затрат по ПС входит подготовка и благоустройство территории, строительство подъездных дорог, ограждений, сетей водоснабжения, канализации, организация наружного освещения, ОПУ, обеспечение собственных нужд и другие элементы.

\*\* В стоимость ВЛ включены затраты на временные здания и сооружения — 3,3%, прочие работы и затраты — 6%, содержание службы заказчика-застройщика — 3,18%.

Таблица 2

110 кВ ПС «Лозовая» без установки дополнительных автотрансформаторов 220/110 кВ.

Установка на ПС «Лозовая» АТ 220/110 кВ 2 × 250 МВА позволит подключить к ОРУ 110 кВ ПС «Лозовая» как нагрузки ВНХК (200 МВт), так и ПС 110 кВ «Находка».

При этом связь между ОРУ 110 кВ ПС «Лозовая» и вновь сооружаемым ОРУ 110 кВ ПС «Находка» выпол-

няется при помощи двух ВЛ 110 кВ ППС, конструктивно выполненных в виде двухцепной ВЛ 220 кВ.

Общий вид ПС 500/220 кВ «Лозовая» показан на рис. 3а. На переднем плане место для расширения ПС со строительством ОРУ 110 кВ.

Экономическая эффективность применения ВЛ 110 кВ ППС на ПС 110 кВ «Находка» показана в табл. 3. Базисная стоимость двухцепных ВЛ

110 кВ с расщепленными проводами определена, как и в табл. 2, по указанной в сборнике [2] стоимости свободностоящих двухцепных металлических опор 220 кВ со сталеалюминиевыми проводами сечением 400 мм<sup>2</sup> и поэтому увеличена с 1231 тыс. руб./км (принятой для традиционных одноцепных ВЛ 220 кВ с проводами 300 мм<sup>2</sup>) до 2275 тыс. руб./км.

Из расчетов, приведенных в табл. 2 и 3, следует, что общий экономиче-

Рис. 3а. Общий вид ПС 500/220 кВ «Лозовая»





ский эффект от применения в рассматриваемом районе Приморского края ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности предлагаемого конструктивного исполнения может составить в ценах 2015 г.:

$$312,6 + 1454,74 = 1767,3 \text{ млн руб.}$$

## О ПРИМЕНЕНИИ НА ВЛ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРОВОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Из приведенных расчетов следует, что стоимость самих ВЛ повышенной пропускной способности не оказывает существенного влияния на величину общего экономического эффекта от их применения. Поэтому для увеличения длин пролетов рассматриваемых ВЛ 110 кВ ППС

за счет использования современных проводов, выдерживающих большие нагрузки при меньшей массе проводов, было бы целесообразно вместо традиционных проводов, изготавливаемых по ГОСТ 839-80, применить провода АААС-Z455-2Z из специального алюминиевого сплава. Проволоки двух внешних слоев этих проводов имеют Z-образную форму, проволоки внутренних слоев круглые. Стального сердечника в проводах АААС-Z455-2Z нет. По предварительным расчетам применение проводов АААС-Z455-2Z вместо проводов АСК 400/51 при одинаковых стрелах провеса проводов и соответствующем усилении конструкции опор позволило бы увеличить длины пролетов проектируемых ВЛ на 20%.

Однако в соответствии с п. 2.5.77 Правил устройства электроустановок [3] на двухцепных опорах ВЛ напряжением 35 кВ и выше провода без стальных сердечников не применяются. Кроме того, для ВЛ, проходящих в районах со сложными климатическими условиями, соотношение между алюминиевыми

и стальными частями сталеалюминевых проводов должно составлять не более 4,39 (п. 13.9 [4]). Поэтому на рассматриваемых ВЛ вместо проводов АСК 400/51 и АСК 300/39 запроектировано использование проводов с увеличенными сечениями стальных сердечников АСК 400/93 и АСК 300/66.

При выборе типа проводов на ВЛ ППС также учитывались результаты недавних испытаний провода АААС-Z455-2Z. 14 апреля 2016 г. в испытательной лаборатории ЗАО «НТЦ "Электросети"» проведены испытания на нагрев электрическим током провода АААС-Z455-2Z и соединенных с ним натяжных и шлейфовых спиральных зажимов (протокол испытаний № 6130-СЛ-16 от 15.04.2016).

В процессе испытаний при прохождении через провод АААС-Z455-2Z переменного тока величиной 700 А и температуре окружающего воздуха +18 °С провод нагрелся на участках с установленными термомпарами до температуры 70–72 °С.



Рис. 36. Зимний вид ПС 500/220 кВ «Лозовая»

## СРАВНЕНИЕ СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЛ 220 КВ «ШИРОКАЯ — ЛОЗОВАЯ» С ВЫНОСНЫМ РУ 220 КВ НА ПС 110 КВ «НАХОДКА» С ВЛ 110 КВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ «ЛОЗОВАЯ — НАХОДКА», ТЫС. РУБ.

№ п/п	Характеристика элементов схемы электро-снабжения	ВЛ 220 кВ «Широкая — Лозовая» с выносным РУ 220 кВ на ПС 110 кВ «Находка»	ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности «Лозовая — Находка»	Примечание
1	Совмещенное производственное здание с КРУЭ 220 кВ на четыре ячейки с выключателями	4 × 225 600 = 90 240	—	СТО 56947007-29.240.124-2012, табл. 15
2	Постоянная часть затрат по КРУЭ 220 кВ	24 440	—	Там же, табл. 27*
3	ЗРУ 10 кВ, пять комплектов выключателей	5 × 150 = 750	—	Там же, табл. 15
4	Ячейки автотрансформаторов 220/110/10 кВ 2 × 63 МВА	2 × 15 322 = 30 644,0	—	Там же, табл. 16**
5	Одноцепная ВЛ 220 кВ «Широкая — Лозовая», L = 36,6 км с проводом 300 мм <sup>2</sup>	36,6 × 1231 × 1,033 × 1,06 × 1,0318 = 50 902,7***	—	Там же, табл. 1
6	Двухцепная ВЛ 110 кВ «Лозовая — Находка», L = 30,1 км в габаритах 220 кВ с расщепленными фазами на два провода 400 мм <sup>2</sup>	—	30,1 × 2275 × 1,3 = 89 020,75	Принят дополнительный коэффициент 1,3 на сокращение длины пролетов
7	Двухцепной участок ВЛ 220 кВ «Широкая — Лозовая», L = 1,5 км	1,5 × 2063 × 1,033 × 1,06 × 1,0318 = 3496,17***	—	Там же, табл. 1
8	Кабельный участок ЛЭП 220 кВ с прокладкой двух кабельных линий, L = 0,5 км	0,5 × 30 080 = 15 040	—	Там же, табл. 10
9	Кабельный участок ЛЭП 110 кВ с прокладкой двух кабельных линий, L = 0,5 км	—	0,5 × 23 500 = 11 750	Там же, табл. 10
10	Ячейки с выключателями 220 кВ на ОРУ 220 кВ ПС «Лозовая» и «Широкая»	2 × 11 750 = 23 500	—	Там же, табл. 15
11	Ячейки с выключателями 110 кВ на ОРУ 110 кВ ПС «Лозовая»	—	2 × 6580 = 13 160	Там же, табл. 15
12	КРУЭ 110 кВ на ПС 110 кВ «Находка» на 11 ячеек с выключателями	11 × 10 340 = 113 740	—	Там же
13	ОРУ 110 кВ на ПС 110 кВ «Находка» на 11 ячеек с выключателями	—	11 × 6580 = 72 380	Там же
14	Постоянная часть затрат по КРУЭ 110 кВ	13 160	—	Там же, табл. 27*
15	Постоянная часть затрат по ОРУ 110 кВ	—	19 740	Там же
Итого в ценах 2000 г.		365 912,87	206 050,75	
Итого в ценах IV квартала 2015 г. с K <sub>пер</sub> = 7,0		7 × 365 912,87 = 2 561 390,1	7 × 206 050,75 = 1 442 355,25	
Итого, с учетом зонального коэффициента для Дальнего Востока K <sub>з</sub> = 1,3		1,3 × 2 561 390,1 = 3 329 807,13	1,3 × 1 442 355,25 = 1 875 061,83	
Снижение стоимости капитальных затрат, млн руб.			1454,74	

\* В стоимость постоянной части затрат по ПС входит подготовка и благоустройство территории, строительство подъездных дорог, ограждений, сетей водоснабжения, канализации, организация наружного освещения, ОПУ, обеспечение собственных нужд и другие элементы.

\*\* В стоимость ячейки автотрансформатора включены автотрансформаторы, кабели в пределах ячейки и до панелей в ОПУ, панели АТ в ОПУ, шинные мосты, СМР.

\*\*\* В стоимость ВЛ включены затраты на временные здания и сооружения — 3,3%, прочие работы и затраты — 6%, содержание службы заказчика-застройщика — 3,18%.

Температура отдельных частей шлейфового зажима ШС-26,1-01 — АААС-Z455 изменялась от 68 °С до 76 °С, а натяжного спирального зажима НС-26,1-32(145) — АААС-Z455 — от 78 °С до 89 °С. Так как ни одно из измеренных значений температур не превысило максимально допустимой величины 90 °С, результаты испытаний признаны успешными.

При этом не было принято во внимание, что в соответствии со спецификацией ООО «Сим-Росс-Ламифил» на провод АААС-Z455-2Z, изготовленный по ТУ 3510-001-699 48333-2012, данный провод должен нагреваться до температуры 70 °С при прохождении через него тока 839 А и температуре окружающей среды + 25 °С, а не 700 А при температуре воздуха + 18 °С, как это зафиксировано в протоколе испытаний.

На рис. 4 приведен график изменения наибольших допустимых токов для провода АААС-Z455-2Z, изготовленного в соответствии с ТУ 3510-001-699 48333-2012, в зависимости от заданной температуры нагрева провода и при температуре окружающей среды +25 °С. Значения допустимых токов приняты по спецификации ООО «Сим-Росс-Ламифил».

На рис. 4 также показаны зафиксированные в процессе испытаний температуры нагрева провода и натяжных спиральных зажимов при переменном токе 700 А. Из рисунка видно, что электрические параметры провода по каким-то причинам не соответствуют ТУ на его изготовление. Натяжные спиральные зажимы тоже не соответствуют заявленным характеристикам, так как при повышении температуры провода до длительно допустимой температуры 90 °С температура натяжных зажимов превысит допустимый уровень.

## ГРАФИК ИЗМЕНЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ ТОКОВ ДЛЯ ПРОВОДОВ АААС-Z455-2Z В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА ПО ДАННЫМ ООО «СИМ-РОСС-ЛАМИФИЛ»

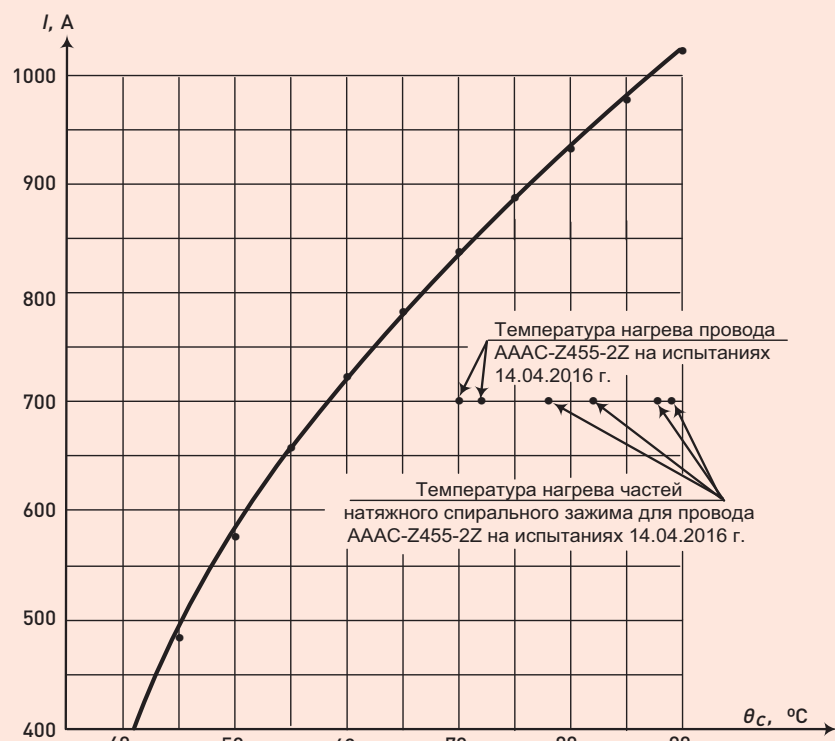


Рис. 4

К основным возможным причинам, объясняющим несоответствия заявленных и фактических параметров испытываемого провода, можно отнести следующие.

### 1. Поставленный на испытания провод не соответствует техническим характеристикам, заданным в ТУ 3510-001-699 48333-2012.

Перед началом или после проведения рассматриваемых испытаний не измерено электрическое сопротивление провода переменному току, не проверены размеры Z-образных проволок и диаметры

проволок во внутренних слоях провода. Иными словами, нет каких-либо подтверждений, что изготовленный заводом провод соответствует техническим характеристикам, заданным в ТУ 3510-001-699 48333-2012.

### 2. Измерительная аппаратура, используемая при испытаниях, не откалибрована и ее показания не соответствуют реальным значениям.

Для подтверждения точности полученных результатов перед началом испытаний или после их завершения показания термомпар, используемых

при испытаниях, следовало бы проверить измерением температуры любого предмета с заранее известной температурой, например, измерением температуры кипящей воды.

### 3. Заявленные технические характеристики провода не соответствуют их реальным значениям.

Известно, что глубина проникновения электромагнитных волн при частоте 50 Гц для медных проводников плоских сечений составляет 9,35 мм, а для алюминиевых — 12 мм, в связи с чем применять проводники толщиной более 10–15 мм нецелесообразно.

Вместе с тем диаметр проводов из алюминиевого сплава марок АААС-Z изменяется от 16,5 до 36,85 мм. Поэтому величина переменного тока, протекающего по проволокам внутренних слоев проводов этих марок, должна быть меньше тока в проволоках внешних слоев. Этих данных в заводских характеристиках проводов нет. В сталеалюминиевых и полых проводах такие проблемы не возникают, так как их внутренняя часть занимает стальным сердечником или вообще отсутствует.

### 4. Существует заинтересованность экспериментаторов в положительном результате испытаний.

Если бы при испытаниях экспериментаторы увеличили ток хотя бы до 800 А, то наверняка бы заметили, что температура нагрева натяжных спиральных зажимов превысила допустимые 90 °С.

Возможная причина обнаруженного перегрева спиральных зажимов заключается в том, что расположенные снаружи протектор-фиксаторы шлейфовых зажимов и силовые пряди натяжных зажимов изготавливаются из стальных или стальных алюминированных проволок.

При этом установленные на проводе спиральные зажимы увеличивают общий диаметр системы провод-зажим и с учетом сохранения глубины проникновения электромагнитных волн в пределах 10–12 мм в местах установки спиральных зажимов ток проходит не через основной провод, а через силовые повивы и протектор-фиксаторы спиральных зажимов. Электрическое же сопротивление этих частей зажимов выше сопротивления алюминиевого сплава, из которого изготовлен провод, что и приводит к повышенному нагреву зажимов по сравнению с температурой провода.

В связи с этим до проведения независимых всесторонних испытаний современных проводов и линейной арматуры различных конструкций рекомендовать их к массовому применению, по-видимому, преждевременно.

## ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ ВНЕДРЕНИЮ ВЛ 110 КВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Несмотря на обоснованную в табл. 2 и 3 общую экономическую эффективность применения в рассматриваемом энергорайоне ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности предложенной конструкции, ни одна из энергетических компаний в настоящее время объективно не заинтересована в реализации схем с использованием ВЛ повышенной пропускной способности, в частности:

1. При реализации схемы внешнего электроснабжения ВНХК на напря-

жении 220 кВ со строительством ПС 220/110 кВ ВНХК и ВЛ 220 кВ «Лозовая — ПС 220 кВ ВНХК» в соответствии с существующими положениями о технических условиях присоединения потребителей к энергосистеме на средства ПАО «ФСК ЕЭС» сооружаются только две линейные ячейки 220 кВ на ОРУ 220 кВ ПС 500/220 кВ «Лозовая».

В случае же использования ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности по схеме, приведенной на рис. 2, затраты ПАО «ФСК ЕЭС» увеличатся на сумму установки двух автотрансформаторов 220/110 кВ мощностью 2 × 250 МВА и дополнительного сооружения на ПС 50/220 кВ «Лозовая» ОРУ 110 кВ на 6 линейных ячеек (4 — для ВНХК и 2 — для ВЛ 110 кВ «Лозовая — Находка»).

2. Если в случае реализации схемы внешнего электроснабжения ВНХК на напряжении 220 кВ две одноцепные ВЛ 220 кВ «Лозовая — ПС 220 кВ ВНХК» и ПС 220 кВ ВНХК после их сооружения будут переданы в эксплуатацию филиалу ПАО «ФСК ЕЭС» МЭС Востока, то при реализации схемы внешнего электроснабжения с ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности, не относящихся к линиям ЕНЭС, они должны быть переданы в эксплуатацию Находкинскому участку Приморских южных ЭС филиала ОАО ДРСК «Приморские ЭС». Но при нормальной работе ВНХК всех местных потребителей предполагается обеспечивать электроэнергией от генераторов собственной ТЭЦ без потребления электроэнергии из внешней сети.

Таким образом, затраты ОАО ДРСК на эксплуатацию этих ВЛ не будут компенсироваться платой за передаваемую по этим ВЛ электроэнергию, и их эксплуатация окажется заведомо убыточной.

3. ПС 220 кВ ВНХК с двумя автотрансформаторами 220/110 кВ уста-



новленной мощностью 2 × 250 МВА территориально расположена в 5–6 км от ПС 110 кВ «Находка». Поэтому в случае сохранения схемы внешнего электроснабжения ВНХК на напряжении 220 кВ целесообразно предусмотреть расширение РУ 220 кВ ПС 220 кВ ВНХК для возможности пересмотра ранее принятых проектных решений и переноса места присоединения выносного РУ 220 кВ ПС 110 кВ «Находка» с ПС «Лозовая» на ПС 220 кВ ВНХК.

Но ПС 220/110 кВ ВНХК по своей сути проектируется как ведомственная подстанция, не предусматривающая присоединение к ней посторонних потребителей.

Основными причинами, препятствующими внедрению ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности предложенного конструктивного исполнения, являются принятые в настоящее время критерии разделения линий электропередачи на основные электрические сети, относящиеся к ЕНЭС, и распределительные сети энергосистем, обеспечивающие передачу электроэнергии от подстанций основной сети к потребителям электроэнергии. При этом, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 26.01. 2006 г. № 41 к ЕНЭС относятся линии электропередачи и ПС 220 кВ, обеспечивающие выдачу энергетической мощности в узлы электрической нагрузки с присоединенной трансформаторной мощностью не менее 125 МВА. Все линии напряжением 110 кВ и ниже отнесены к распределительным сетям.

При подготовке данного постановления не предполагалось, что ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности по передаваемой мощности могут оказаться сопоставимыми с ВЛ 220 кВ и, несмотря на увеличение капитальных затрат на их сооружение, применение

таких линий в состоянии изменить конфигурацию всей перспективной схемы развития основной и распределительной сетей района, обеспечив передачу электроэнергии в узлы электрических нагрузок с существенным общим экономическим эффектом.

В связи с этим представляется целесообразным определять принадлежность линий электропередачи к основным сетям ЕНЭС не по классу их номинального напряжения, а по величине энергетической мощности, передаваемой в крупные узлы электрических нагрузок. Нижнее значение этой мощности может быть ограничено, например, величиной 65 МВА, независимо от класса номинального напряжения ЛЭП, по которым передается эта мощность.

## ВЫВОДЫ

В статье предложено простое инженерное конструктивное решение, позволяющее в несколько раз повысить пропускную способность ВЛ 110 кВ с использованием типовых элементов, применяемых при сооружении линий электропередачи напряжением 220 кВ.

Внедрение ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности позволит упростить схемы внешнего электроснабжения вновь сооружаемых промышленных предприятий за счет организации на узловых ПС ЕНЭС распределительных устройств 110 кВ и отказа от сооружения ПС 220/110 кВ, размещаемых между узловыми ПС ЕНЭС и РУ 110 кВ потребителей.

ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности предложенного конструктивного исполнения более надежны по сравнению с обычными ВЛ 110 кВ, так как сооружаются на опорах 220 кВ с величиной

удельной повреждаемости в 2,5 раза меньше удельной повреждаемости ВЛ 110 кВ.

В статье определен общий экономический эффект от применения ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности в схемах электроснабжения Восточного нефтехимического комбината и ПС 110 кВ «Находка». Величина этого эффекта может составить около 1,7 млрд руб. в ценах 2015 г.

Следует провести независимые всесторонние испытания современных проводов различных конструкций для разработки рекомендаций по их применению при проектировании вновь сооружаемых и реконструируемых ВЛ, расположенных в различных климатических районах РФ.

Для внедрения предложенных ВЛ 110 кВ повышенной пропускной способности следует пересмотреть принятые в настоящее время критерии разделения линий электропередачи на основные сети ЕНЭС и распределительные сети энергосистем, определяя их не по классу напряжения, а по величине электрической мощности, передаваемой в узлы электрических нагрузок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по проектированию подстанций 35–1150 кВ // Под ред. Я.С. Самойлова. 3-е изд., скорректированное. 1966 .
2. СТО 56947007-29.240.124-2012. Сборник «Укрупненные стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35–1150 кВ» 324тм-т1 для электросетевых объектов ОАО «ФСК ЕЭС». (Дата введения 09.07.2012.)
3. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. (По состоянию на 1 мая 2006 г.)
4. СТО 56947007-29.240.55.192-2014. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ. (Дата введения 20.11. 2014 г.)

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ РОССИИ



06–09  
ДЕКАБРЯ

2016

Москва, ВДНХ  
МВЦ «МосЭкспо» (пав. 75)

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ  
СОСТОИТСЯ  
КОНКУРС ЭКСПОНАТОВ

### При поддержке:

- Министерства Энергетики РФ
- ПАО «ФСК ЕЭС»
- Правительства Москвы
- ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС»

### Организаторы:

- «Совет ветеранов энергетиков»
- ЗАО «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ»

(495) 771-6564, 963-4817  
EXHIBIT@TWEST.RU  
WWW.EXPROELECTROSETI.RU

50 лет  
★ ДНЮ ★  
ЭНЕРГЕТИКА

### Разделы выставки:

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА.

Воздушные и кабельные линии электропередачи.

Устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики.

АСУ ТП и информатизация, связь, АСКУЭ.



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ  
ПАРТНЕР



ИНФОРМАЦИОННЫЙ  
ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ  
ПАРТНЕР В СЕТИ  
ИНТЕРНЕТ



ОТРАСЛЕВОЙ ПАРТНЕР

### Информационная поддержка

