МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ НА КОРОНУ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЛ

АВТОРЫ:

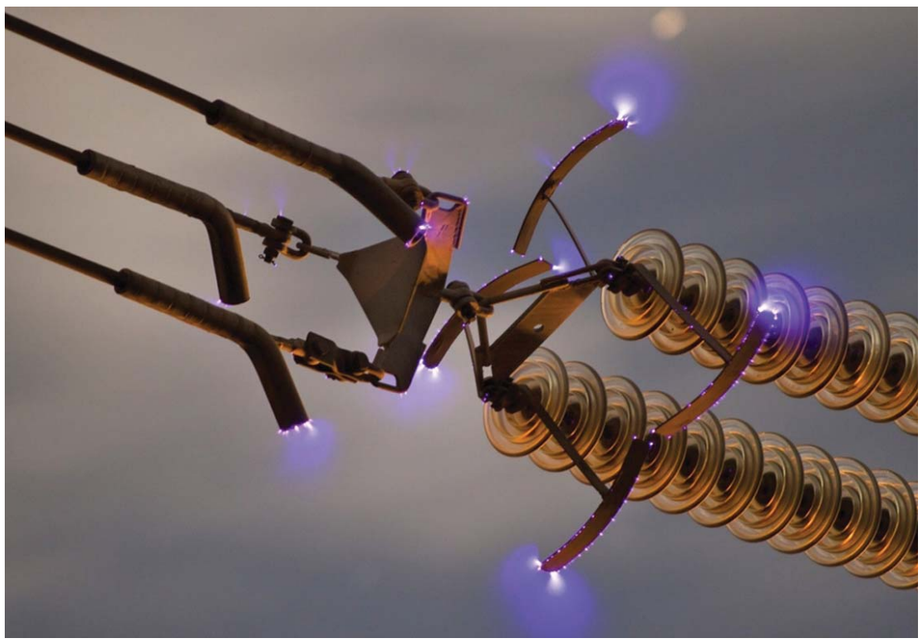
Ю.Г. КОНОНОВ,
Д.Т.Н.,
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

В.А. КОСТЮШКО,
НЕЗАВИСИМЫЙ ЭКСПЕРТ

О.С. РЫБАСОВА,
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Среднегодовые потери мощности и энергии на корону ВЛ 330 кВ и 500 кВ составляют 12 %, а ВЛ 750 кВ — 14 % от суммарных потерь (на корону и от тока нагрузки). Причем эти потери существенно зависят от вида погодных условий и увеличиваются на 1–2 порядка при неблагоприятных условиях, таких как изморозь, дождь, снег. Задача достоверного определения потерь мощности и электроэнергии на корону в воздушных линиях электропередачи является достаточно сложной из-за необходимости учета большого количества влияющих факторов.

Ключевые слова: потери электроэнергии; нагрузочные потери; методика измерений потерь на корону на действующих линиях электропередачи; методика расчетов потерь на корону; автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии; оперативно-информационный комплекс.



Коронный разряд на линиях электропередачи вызывает значительные потери передаваемой энергии

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ НА КОРОНУ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЛ

Потери электроэнергии при передаче активной и реактивной мощности по проводам ВЛ электропередачи делят на две составляющие: нагрузочные потери, связанные с нагревом проводов протекающим через них током (в зарубежной литературе — «джоулевы» потери), и потери «на корону» (ПК). Нагрузочные потери квадратично зависят от величины протекающего в проводах тока и линейно от температуры проводов, влияющей на их активное сопротивление. Основными факторами, определяющими ПК, являются: отношение величины напряженности электрического поля на поверхности проводников фаз ВЛ к начальной напряженности поля, при которой выполняется условие самостоятельности разряда в газах, и метеорологические условия по трассе ВЛ. Основоположником изучения явления короны на проводах ВЛ является Ф.В. Пик [1]. Его формула для определения начальной напряженности электрического поля и аналогичные формулы других авторов широко используются на практике.

Бурное строительство электрических сетей за рубежом и в нашей стране привело к необходимости проведения специальных исследований по уточнению требований к проектируемым ВЛ, в том числе в части экспериментальных и расчетных оценок ПК применительно к проектируемым и действующим ВЛ. С целью уменьшения ПК, начиная с напряжения 220 кВ, конструкции ВЛ предусматривают расщепление проводов в каждой фазе.

Выбор сечения и количества проводов в фазах ВЛ напряжением 220 кВ и выше является оптимизационной технико-экономической задачей, решаемой на стадии проектирования [2, 3]. Для ее корректного решения требуется информация не только о токовой нагрузке линии, влияющей на нагрузочные потери в ней, но и о величинах ПК, в значительной степени зависящих от погодных условий и распределения рабочего напряжения ВЛ по ее длине. При правильно выбранном сечении проводов среднегодовые ПК меньше нагрузочных потерь [4]. Однако их величина достаточно значима и поэтому может повлиять как на выбор конструкции и сечений фаз ВЛ, так и на оптимизацию режимов работы действующих электрических сетей напряжением 220–750 кВ.

Величина суммарных потерь электроэнергии определяет коэффициент полезного действия ВЛ и является важным технико-экономическим показателем, учитываемым как при проектировании электрических сетей и линий электропередач, так и при управлении их режимами [5].

Известные в настоящее время методы определения ПК в ВЛ можно разделить на две группы:

1. Расчетные методы, основанные на использовании обобщенных характеристик удельных ПК, полученных в результате экспериментов на опытных пролетах при различных погодных условиях на проводах различных сечений и конструкций фаз. Эти методы получили широкое распространение в мировой практике. В СССР систематические измерения ПК выполнялись на опытных пролетах в НИИПТ, ВНИИЭ, ЛПИ, ВЭИ, ЭНИН. На основании этих исследований был разработан действующий нормативный документ по расчетам ПК и радиопомех [6]. С использованием этого документа спроектированы линии электропередачи 330 кВ и выше

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБСЛЕДОВАННЫХ ВЛ

Номинальное напряжение, кВ	Наименование ВЛ	Длина ВЛ, км	Количество и тип проводов в фазе	Активное сопротивление проводов фазы ВЛ при 20 °С, Ом
220	Александров — Трубеж	55,4	1АСО-300	5,54
330	Черкесск — Баксан	138,4	2АС-300/66	7,058
330	Баксан — Прохладный	63,8	2АСО-300	3,19
500	Белозерская — Череповец	29,4	3АС-300/39	0,96

Примечание: значения активных сопротивлений по всей длине ВЛ вычислялись в соответствии с ГОСТ 839-59 и ГОСТ 839-80Е.

Таблица 1

в нашей стране и в ряде стран Восточной Европы. По инициативе ПАО «ФСК ЕЭС» разработан проект стандарта «Руководящие указания по учету потерь на корону и помех от короны при выборе проводников линий электропередачи переменного тока 220–1150 кВ и постоянного тока 1500 кВ» (ПС РУ), в котором на основании дополнительных исследований уточнена методика расчетов ПК, используемая в Руководящих указаниях по учету потерь на корону и помех от короны... [6].

ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УДЕЛЬНЫХ ПК НА ВЛ 220 кВ АЛЕКСАНДРОВ — ТРУБЕЖ ЗА 2010–2011 ГГ.

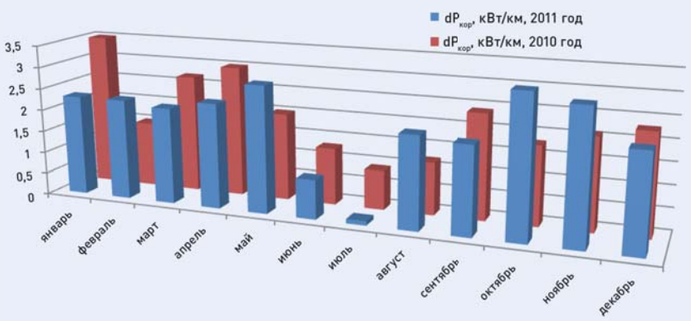


Рис. 1

ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ТОКОВ НА ВЛ 220 кВ АЛЕКСАНДРОВ — ТРУБЕЖ

Рис. 2

2. Балансовые методы, позволяющие определять суммарные потери на линии по разности измеряемых по концам линии потоков активной мощности или энергии, а затем вычислять ПК, вычитая из суммарных потерь нагрузочные потери, определяемые расчетным путем. Эта группа методов требует применения высокоточных измерительных комплексов и в настоящее время интенсивно развивается благодаря внедрению в рамках концепции Smart Grid интеллектуальных счетчиков электроэнергии, векторных регистраторов, интеллектуальных электронных устройств, оптических трансформаторов тока и напряжения, объединяющих устройств.

Следует отметить, что еще в 1957 г. в работе французских авторов [7] приводились описание и результаты экспериментальных исследований по определению ПК в ВЛ длиной 80 км с проводами диаметром 0,7 дюйма при напряжении 140 кВ на основе показаний индукционных счетчиков электроэнергии, установленных по концам линии. Разность показаний счетчиков начала и конца линии соответствовала сумме потерь (на нагрев проводов и на корону). Для определения нагрузочных потерь был построен специальный короткий участок линии с проводом, аналогичным проводу исследуемой линии, через который пропускался ток, равный току в линии. Высота подвеса провода соответствовала высоте подвеса исследуемой линии, что важно с точки зрения температурных характеристик проводов. Нагрузочные потери специального участка измерялись счетчиком потерь. ПК определялись как разность потерь основной и специальной линий с учетом длины основной ВЛ и изменялись от 1,2 МВт в хорошую погоду до 2,2 МВт в дождливую погоду

на полной длине линии при частичном охвате ВЛ дождем.

В дальнейшем интересные исследования ПК балансовым методом были выполнены финскими учеными на двух экспериментальных линиях 400 кВ протяженностью 155 км и 83 км соответственно, с двумя проводами в фазе сечением 564 мм^2. При измерениях ПК плотности токов в проводах ВЛ в течение двух зимних сезонов изменялись от 0,11 до 0,20 А/мм^2, т. е. фактически измерения проводились на ненагруженной линии [8]. Измерения осуществлялись с почасовой периодичностью при помощи прецизионных счетчиков электроэнергии.

Измерительные цепи трансформаторов тока и напряжения на этих экспериментальных ВЛ со специальным оборудованием предварительно настраивались таким образом, чтобы их кривые погрешностей совпадали, что позволяло уменьшить систематическую составляющую погрешностей. Нагрузочные потери оценивались расчетным путем. Финским исследователям удалось измерить наивысший уровень ПК в ВЛ, который имеет место в изморозь при частичном охвате ВЛ этим видом погоды.

В нашей стране до последнего времени для определения ПК в действующих ВЛ использовалось вычислительное устройство оценки потерь на корону с использованием данных оперативно-информационного комплекса (устройство УИК-ОИК) [9]. В отличие от измерений, проведенных в Финляндии, где на концах ВЛ были установлены прецизионные счетчики электроэнергии, в УИК-ОИК для определения ПК использовались данные из ОИК в сочетании с расчетной методикой. Этим устройством были измерены только высокие уровни ПК.

СРЕДНЕМЕСЯЧНЫЕ ПК ($P_{с.м.}$), ВЫЧИСЛЕННЫЕ ПО ПС РУ, СРЕДНЕМЕСЯЧНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ И ПЛОТНОСТЯМ ТОКА ЗА 2011 Г. НА ВЛ 220 кВ АЛЕКСАНДРОВ — ТРУБЕЖ (ОПОРА ПБ 220-3)

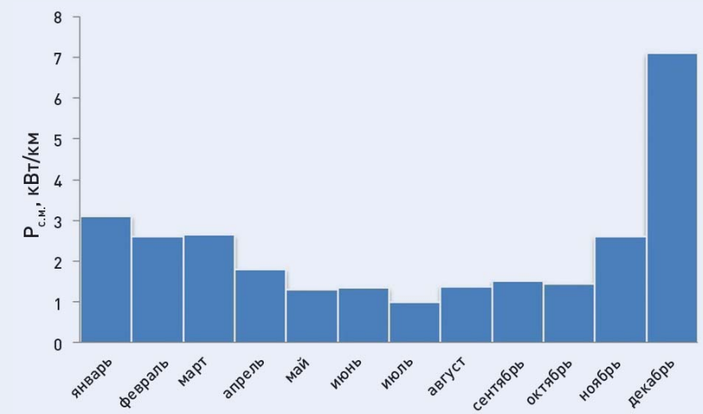


Рис. 3

ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УДЕЛЬНЫХ ПК НА ВЛ 220 КВ АЛЕКСАНДРОВ — ТРУБЕЖ (В кВт/КМ) ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ ЗА 2010–2011 ГГ.

Год	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	3,5	1,5	2,7	3,0	2,0	1,3	0,9	1,2	2,4	1,8	2,1	2,3
2011	2,3	2,3	2,2	2,4	2,9	0,9	0,1	2,1	2,0	3,2	3,0	2,2

Таблица 2

Однако, как показано в работе А.С. Бердина [10], при использовании только данных из ОИК от систем телемеханики, использующих датчики мощности и тока аналогового типа с дальнейшим кодоимпульсным 8- или 12-разрядным преобразованием (например,

ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕГОДОВЫХ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ $P_{с.г.}$ ОТ ПЛОТНОСТИ ТОКА J, ВЫЧИСЛЕННАЯ ПО МЕТОДИКЕ ПС РУ, НА ВЛ 220 кВ С ПРОВОДАМИ 1АСО-300

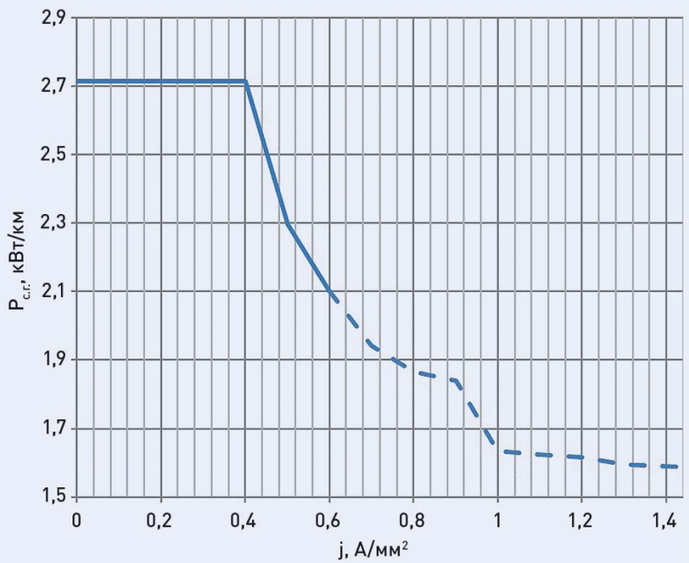


Рис. 4

ТМ-800), возникающая погрешность при расчетах ПК является недопустимой.

Кроме того, даже при использовании на подстанциях (электростанциях) интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) (например, EPM-9450 компании GE) с 16-разрядными аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) и применении ОИК, не поддерживающих исходные метки времени ИЭУ (например, СК-2003), из-за присвоения новых меток времени и усреднения информации в ОИК погрешность расчетов ПК по разности измеряемых потоков мощности по концам линии также является неприемлемой.

По инициативе ПАО «ФСК ЕЭС» в Институте электроэнергетики, электроники и нанотехнологий (ныне Инженерный институт) Северо-Кавказского федерального университета разработана более совершенная методика определения ПК на действующих ВЛ с использованием данных из автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) [11, 12].

Следует отметить, что в ПАО «ФСК ЕЭС» на ВЛ 330–750 кВ в качестве источников информации для АИИС КУЭ, начиная с 2005 г. используются электронные счетчики компании АББ, имеющие класс точности не ниже 0,2 и синхронизацию времени от устройств сбора и передачи данных (УСПД), использующих в качестве первичных датчиков времени высокоточные PPS-сигналы от спутниковой навигационной системы. Применение данных из АИИС КУЭ в этом случае позволяет на порядок повысить точность определения ПК по сравнению с использованием только данных из ОИК.

Отличительными особенностями разработанной методики измерений и алгоритма определения потерь мощности и электроэнергии на корону на ВЛ 220–750 кВ по данным АИИС КУЭ являются:

- компенсация систематических погрешностей измерительных систем на подстанциях на основе анализа потерь в заведомо хорошую погоду и расчета компенсирующих коэффициентов;
- использование уточненных значений активного сопротивления проводов линии с учетом фактической температуры проводов, зависящей от температуры окружающего воздуха и протекающего тока;
- использование данных о температуре воздуха по трассе ВЛ в расчетный период времени по информации от ближайших метеостанций или с сайта www.gismeteo.ru;
- расчет нагрузочных потерь активной мощности ВЛ в соответствии с ее Т-образной схемой замещения по средним значениям получасовых потоков мощности;
- использование на получасовом интервале времени шести усредненных измеренных значений напряжений;
- определение ПК как разности между синхронно измеренными значениями суммарных потерь, вычисленных по разности средних получасовых потоков

ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ МЕТЕОУСЛОВИЙ ПО МЕТЕОСТАНЦИИ АЛЕКСАНДРОВ

Данные по погоде за 2011 г.																				
Информация					Продолжительность, ч											Средние значения			
№	Регион	Название	Широта	Долгота	Месяц	Хорошая погода	Сухой снег	Дождь	Кристаллическая изморозь	Повышенная влажность	Роса	Туман	Мокрый снег	Иней	Зернистая изморозь	Гололед	Температура, °С	Давление, ГПа	Относительная плотность	Интенсивность дождя, мм/час
1	Владимирская область	Александров	56,4	38,8	Январь	405,87	98	0,13	230	0	0	0	0	0	0	10	-15,9	1004,5	1,129	0,083
2					Февраль	371,675	177,65	3,39	74	38,285	0	0	0	0	0	7	-10,1	997,6	1,097	0,242
3					Март	392,725	48,55	14	67	159,775	0	7,95	7	47	0	0	-3	989,1	1,059	0,244
4					Апрель	547,531	0	76,75	0	0	0	18,739	4,98	69	0	3	6,9	996,5	1,029	0,601
5					Май	540,5	0	40	0	34,5	125	4	0	0	0	0	15,8	991,6	0,992	1,64
6					Июнь	468	0	47	0	30	174	1	0	0	0	0	17,6	991,8	0,986	1,9
7					Июль	549	0	11	0	0	183	1	0	0	0	0	23,9	995,5	0,969	1,8
8					Август	473	0	43	0	74	137	14	0	3	0	0	20,3	991,2	0,977	1,165
9					Сентябрь	274,5	0	66	0	169,5	156	27	0	27	0	0	10,6	995,7	1,015	0,821
10					Октябрь	314	5	67	0	154	6	8	25	165	0	0	2,8	995,7	1,043	0,469
11					Ноябрь	247,875	48,25	77,19	15	275,367	2	9,628	29,69	5	6	4	1,3	988,3	1,041	0,581
12					Декабрь	88,375	66,25	0	42	184,375	0	0	0	0	205	158	-9,8	992,4	1,09	0
13					Средняя	4673,05	443,7	445,46	428	1119,8	783	91,32	66,67	316	211	182	5,03	994,16	1,036	0,796

Таблица 3

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ПО АИИС КУЭ И РАСЧЕТНЫХ ПО ПС РУ СРЕДНЕГОДОВЫХ ПК В ВЛ 220 КВ АЛЕКСАНДРОВ — ТРУБЕЖ

Год/метод	$P_{с.г.}$, кВт/км
2011/измерения по АИИС КУЭ	2,13
2011/расчет по ПС РУ по среднемесячным погодным условиям и среднемесячным плотностям тока	2,25
2010/измерения по АИИС КУЭ	2,06

Таблица 4

активной мощности, и уточненными нагрузочными потерями активной мощности на линии.

В процессе измерений было проведено сравнение результатов измерений ПК по разработанной методике с использованием данных из АИИС КУЭ с результатами измерений ПК устройством УИК-ОИК. Важным элементом работы являлось также проведение сравнений полученных результатов измерений методом АИИС КУЭ с данными расчетов ПК по методике ПС РУ, изложенной в нескольких работах [13, 14, 15]. В табл. 1 (с. 23) приводятся основные характеристики обследованных ВЛ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ ПК В ВЛ 220 КВ АЛЕКСАНДРОВ — ТРУБЕЖ

Полученные в результате измерений методом АИИС КУЭ в 2010 и 2011 г. удельные среднемесячные значения ПК на ВЛ Александров — Трубеж, представлены в табл. 2 (с. 25) и на рис. 1 (с. 24).

Расчет среднемесячных удельных ПК проводился по методике ПС РУ на основании следующих данных :

- среднемесячная продолжительность различных видов погодных условий по усредненным данным метеостанций Александров и Переславль-Залесский;
- среднемесячные значения относительной плотности воздуха и интенсивности дождя;
- среднемесячные значения плотностей токов в проводах ВЛ (рис. 2 на с. 24);
- методика учета нагрева проводов по ПС РУ в соответствии со среднемесячными значениями плотностей токов (зависимости продолжительностей и абсолютных значений ПК для отдельных видов погод от плотности тока установлены в работах как отечественных, так и зарубежных авторов).

ЗНАЧЕНИЯ ПК В ЧЕТЫРЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВИДА ПОГОДЫ НА ВЛ 220 кВ С ПРОВОДАМИ 1АСО-300 (ОПОРА ПБ 220-3)

Вид погоды	Хорошая погода	Сухой снег	Дождь	Зернистая изморозь, гололед
$P_{к.}$, кВт/км	0,61	1,74	7,30	19,20

Таблица 5

ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УДЕЛЬНЫХ ПК НА ВЛ 330 кВ ЧЕРКЕССК — БАКСАН ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ ЗА 2010–2011 ГГ., кВт/КМ

Год	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	—	3,8	4,2	3,0	2,2	1,7	1,7	2,1	3,0	3,6	1,8	3,9
2011	5,7	5,1	5,8	4,3	2,6	2,1	2,0	2,0	2,4	3,5	5,1	3,5

Примечание: данные по АИИС КУЭ за январь 2010 г. отсутствуют в базе данных.

Таблица 6

ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УДЕЛЬНЫХ ПК НА ВЛ 330 КВ ЧЕРКЕССК — БАКСАН ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ ЗА 2010–2011 ГГ.

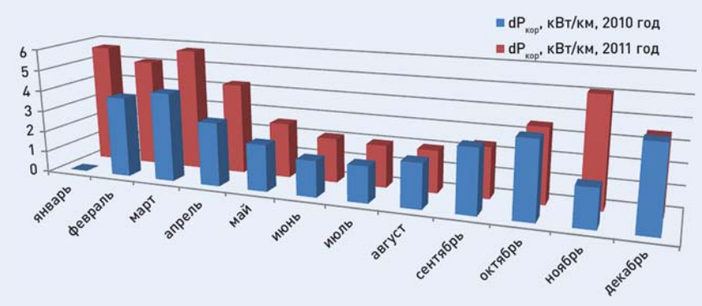


Рис. 5

В качестве примера в табл. 3 приведены значения использованных среднемесячных метеоусловий по метеостанции Александров за 2011 г.

Такие таблицы со среднемесячными значениями различных погодных условий можно использовать при расчетах как среднемесячных, так и среднегодовых ПК по методике ПС РУ. В расчетах применительно к проектной практике при определении среднегодовых ПК обычно используют не среднемесячные, а среднегодовые продолжительности погодных условий, средние значения относительных плотностей воздуха в виды погоды, средние значения интенсивности дождя и плотности тока.

На основании рис. 2 (с. 24), табл. 3 и методики ПС РУ были построены среднемесячные значения ПК (рис. 3 на с. 25), необходимые для сравнения с измеренными значениями ПК, и в соответствии со среднемесячными значениями ПК — среднегодовые ПК. Учет влияния нагрева проводов током нагрузки по среднемесячным значениям плотностей токов дает более точные

результаты, так как одновременно более точно на основании методики ПС РУ учитываются продолжительности и абсолютные значения различных видов погод. В то же время очевидно, что токовая нагрузка меняется в течение месяца, и это вносит погрешность в результаты расчетов, так как остаются неясными временные сочетания видов погоды и плотностей токов.

В итоговой табл. 4 (с. 28) представлены результаты расчетов среднегодовых ПК (Рс.г.) по ПС РУ по среднемесячным погодным условиям и среднемесячным плотностям тока за 2011 г. и результаты измерений методом АИИС КУЭ в 2010 и 2011 гг.

Из полученных результатов следует, что измерения среднегодовых ПК, проведенные по методике с использованием АИИС КУЭ, близки к расчетам по ПС РУ на основе среднемесячных значений погодных условий и плотностей токов (относительное расхождение за 2011 г. не превышает 5,7 %). Это сравнение подтверждает корректность обеих методик при определении среднегодовых ПК. Что касается среднемесячных измеренных и расчетных значений ПК, то, конечно, среднемесячные расчетные и измеренные значения ПК могут различаться. Это зависит от реального распределения погодных условий вдоль линии и фактической в момент измерений плотности тока. В рассматриваемом примере в течение 11 месяцев в году расхождения не превышают 1,5 кВт/км, за исключением декабря. В декабре измеренные значения существенно меньше расчетных. Это можно объяснить тем, что характерные для декабря гололедно-изморозевые явления лишь частично охватывают трассу ВЛ. Но, как следует из рис. 2 (с. 24), в декабре максимальные значения тока нагрузки достигают 1 А/мм^2, что может повлиять на абсолютные значения ПК, в том числе и при изморози. В расчетах используется информация метеостанций, которая не всегда правильно отражает реальную метеоситуацию в конкретный момент времени по всей длине ВЛ, а сами метеостанции, как правило, не находятся непосредственно в районе прохождения трасс ВЛ. Однако при проектировании всегда используются данные метеостанций, находящихся в регионе прохождения трасс

СРЕДНЕГОДОВЫЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВИДОВ ПОГОДЫ ПО МЕТЕОСТАНЦИИ ЧЕРКЕССК

Характеристики видов погоды	Средняя продолжительность вида погоды в году, ч/год
Хорошая погода	5435
Сухой снег	270
Дождь и мокрый снег	880
Кристаллическая изморозь	70
Повышенная влажность воздуха в отсутствие плохой погоды	500
Туман	70
Роса	710
Иней	650
Зернистая изморозь	50
Гололед, сложные отложения	125

Таблица 7

СРАВНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ПК В ВЛ 330 КВ ЧЕРКЕССК — БАКСАН, ИЗМЕРЕННЫХ МЕТОДОМ АИИС КУЭ И МЕТОДОМ УИК-ОИК В ДЕКАБРЕ 2011 Г.

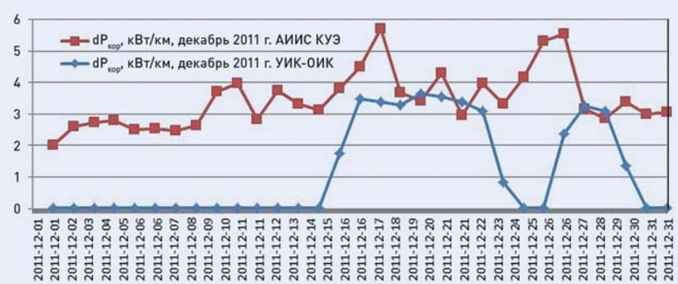
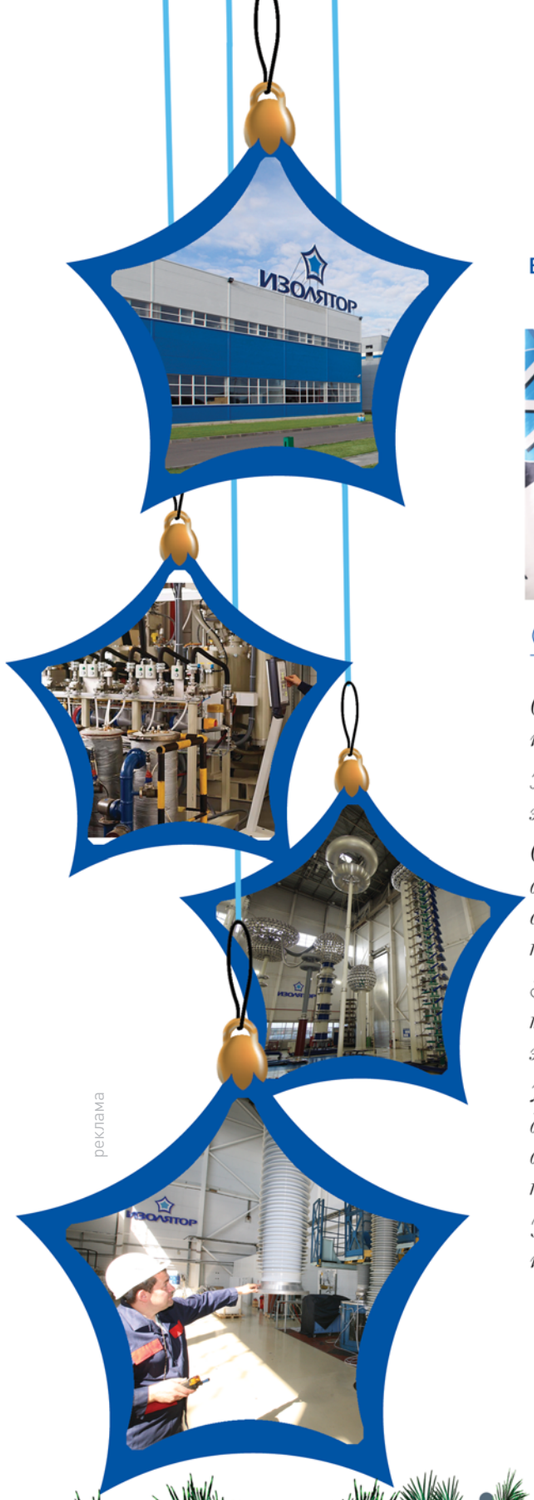


Рис. 6

реклама



120+1
ИЗОЛЯТОР
Вековые традиции — современные технологии

Дорогие энергетики!

От имени руководства и коллектива компании «Изолятор» примите самые искренние и тёплые поздравления с Днём энергетика!

Высокий потенциал в сочетании с многолетним опытом позволяют российским энергетикам справляться с труднейшими профессиональными задачами.

Сегодня энергетический комплекс России стабильно развивается, ведётся открытый диалог с потребителями, выстраиваются партнёрские отношения с отечественными электротехническими и энергомашиностроительными предприятиями.

За более чем 120-летнюю историю заводом «Изолятор» выпущено более 620 тысяч высоковольтных вводов, несущих службу на подавляющем большинстве энергообъектов России и стран СНГ, а также в 30 странах мира.

Мы продолжим прилагать максимум усилий, чтобы оправдать оказанное нам доверие — своевременно и качественно выполнять все взятые на себя обязательства по производству высоковольтных вводов и оказанию сервисной поддержки нашим партнёрам.

Желаем вашим коллективам достатка, благополучия, новых достижений и успешно реализованных проектов на благо развития и процветания России.

Председатель Совета директоров компании «Изолятор»,
Руководитель Подкомитета D1 РНК СИГРЭ,
доктор технических наук
А.З. Славинский

ВЛ, что с достаточной вероятностью обеспечивает правильное среднегодовое усреднение метеоусловий, а следовательно, и среднегодовых ПК. Фактически на сегодняшний день такой подход — это единственный способ учета метеоусловий при проектировании ВЛ. И тот факт, что метод измерений с использованием АИИС КУЭ и расчет ПК по ПС РУ по данным ближайших к трассе ВЛ метеостанций дают весьма близкие результаты среднегодовых ПК, подтверждает корректность обеих методик.

В принципе частичный охват трасс ВЛ тем или иным видом плохой погоды необходимо учитывать. Так полагают и зарубежные исследователи. Например, английские энергетики, несмотря на относительно короткие длины собственных ВЛ, считают, что при определении ПК на конкретных ВЛ необходимо помнить, что наличие неблагоприятных климатических условий вряд ли может иметь место одновременно по всей трассе ВЛ.

Климатические условия РФ по сравнению с большинством европейских стран и США характеризуются особенностями, которые приводят к повышенному уровню ПК. Так, в РФ наблюдаются увеличенные продолжительности инееобразования, гололедно-изморозевых отложений. Велики значения продолжительности времени выпадения росы, повышенной влажности воздуха. В этих метеоусловиях, а также в туман и дождь, на поверхности проводов ВЛ образуются неровности в виде капельно-жидкой и кристаллической фазы, которые и приводят к увеличению ПК. В то же время в исследованиях, проведенных как за рубежом (Финляндия, Англия, США, Швеция, Норвегия, Италия, Турция), так и в нашей стране, обнаружено влияние тока нагрузки

ЗНАЧЕНИЯ ПК В ЧЕТЫРЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВИДА ПОГОДЫ НА ВЛ 330 кВ С ПРОВОДАМИ 2АС-300/39 (ОПОРА П 300-1Т-5,7)

Вид погоды	Хорошая погода	Сухой снег	Дождь	Зернистая изморозь, гололед
$P_{к.}$, кВт/км	0,9	3,1	11,5	37,0

Таблица 8

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ПО АИИС КУЭ И РАСЧЕТНЫХ ПО ПС РУ СРЕДНЕГОДОВЫХ ПК НА ВЛ 330 кВ БАКСАН — ЧЕРКЕССК

Год/метод	Рс.г., кВт/км
2006/измерения по АИИС КУЭ	3,1
2010/измерения по АИИС КУЭ	2,67
2011/измерения по АИИС КУЭ	3,92
Средняя измеренная величина за 2006, 2010, 2011 г.	3,23
Расчет по ПС РУ	3,5

Таблица 9

ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УДЕЛЬНЫХ ПК ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ НА ВЛ 330 кВ БАКСАН — ПРОХЛАДНЫЙ ЗА 2010–2011 ГГ.

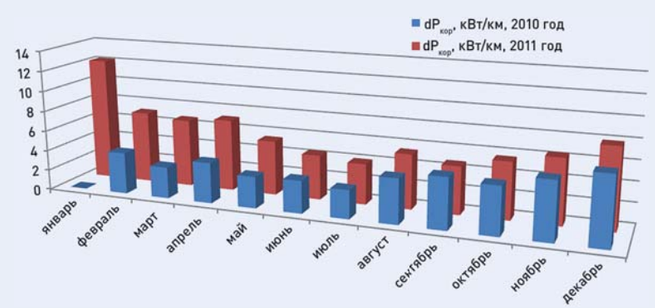


Рис. 7

ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ПК ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ НА ВЛ 330 кВ БАКСАН — ПРОХЛАДНЫЙ ЗА ИЮЛЬ 2011 Г.

Рис. 8

СРАВНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ПК НА ВЛ 330 кВ БАКСАН — ПРОХЛАДНЫЙ, ИЗМЕРЕННЫХ МЕТОДОМ АИИС КУЭ И МЕТОДОМ УИК-ОИК В ДЕКАБРЕ 2011 Г.

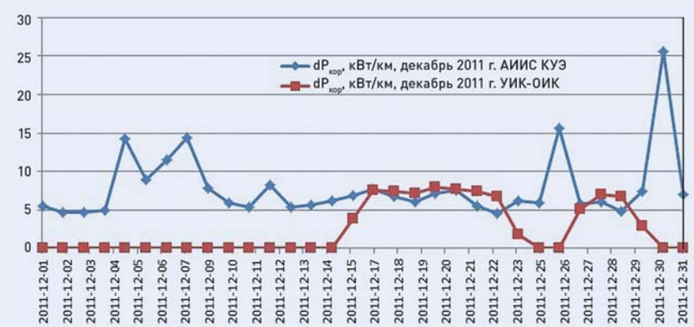


Рис. 9

на уровень ПК в эти виды погоды. Это связано с тем, что приток тепла изнутри тела проводов существенно усложняет возможность образования на их поверхности капельно-жидкой и кристаллической среды. Например, исследования шведских и норвежских специалистов на ВЛ 400 кВ показали, что при температуре провода +4 °С ПК на ВЛ снижаются в 4–5 раз. В разных странах учет влияния нагрева проводов на уровень среднегодовых ПК проводится по-разному, с учетом климатических особенностей каждой страны. Например, в Англии, где плотности токов достаточно велики, продолжительность гололедно-изморозевых явлений не учитывается вовсе, а продолжительность снега и дождя уменьшается в 1,4 раза. В работах НИИПТ и ВНИИЭ экспериментально установлено, что для проводов сечением 150–700 мм^2, используемых на ВЛ 220–750 кВ, при плотностях тока 0,35–0,45 А/мм^2 (в зависимости от диаметра провода) образование инея и росы на проводах ВЛ не происходит, и уровень ПК остается на уровне хорошей погоды. Для проводов сечением 300 мм^2 эта величина составляет около 0,4 А/мм^2. При такой плотности тока также начинается снижение ПК и в период кристаллической изморози, поскольку структура кристаллических отложений на проводах деформируется. При высоких плотностях тока снижаются уровни ПК в слабый дождь, а продолжительности повышенной влажности воздуха, начиная с плотности тока около 0,9 А/мм^2, кристаллической изморози и слабого тумана при плотности тока 1,2 А/мм^2, можно не учитывать. Эти явления привели к возможности построения зависимостей среднегодовых ПК от плотности тока (рис. 4, 12).

Рис. 4 (с. 26) и 12 (с. 36) демонстрируют существенную зависимость $P_{с.г.}$ от плотности тока, что особен-

но характерно для климатических условий РФ с большими продолжительностями инея, кристаллической изморози, повышенной влажности воздуха.

По зависимости, показанной на рис. 4 (с. 26), среднегодовые значения ПК в диапазоне среднегодовых значений токов 0,5–0,6 А/мм^2 составляют 2,1–2,3 кВт/км, что соответствует измеренным значениям.

В табл. 5 (с. 29), а также в табл. 8 (с. 32) и 12 в качестве иллюстрирующих примеров приводятся значения ПК, вычисленные по методике ПС РУ для четырех характерных видов погоды, при плотностях воздуха, усредненных для каждого вида погоды по метеоданным средней полосы РФ. Для вида погоды «дождь» принята интенсивность дождя 1,0 мм/ч. При расчетах использовались типовые опоры для классов напряжений 220, 330 и 500 кВ с конструкциями фаз, соответствующим обследованным ВЛ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ ПК НА ВЛ 330 КВ ЧЕРКЕССК — БАКСАН

Полученные в результате измерений методом АИИС КУЭ в 2010 и 2011 гг. удельные среднемесячные значения ПК на ВЛ Черкесск — Баксан представлены в табл. 6 и на рис. 5 (с. 29).

Измерения по методике АИИС КУЭ на ВЛ 330 кВ Черкесск — Баксан были также проведены в 2006 г.

Так как в базе данных отсутствовали помесячные продолжительности видов погоды за 2010–2011 гг. по трассе ВЛ 330 кВ Черкесск — Баксан, то для определения расчетных среднегодовых ПК по ПС РУ на этой ВЛ были использованы среднегодовые значения продолжительностей видов погоды, полученные из метеорологических ежемесячников по метеостанции Черкесск (табл. 7 на с. 30), средние значения относительных плотностей воздуха в виды погоды, среднее значение интенсивности дождя и средняя плотность тока, равная 0,5 А/мм^2. В табл. 8 (с. 32) даны значения ПК в четыре характерных вида погоды на ВЛ 330 кВ Черкесск — Баксан.

Результаты измеренных и расчетных значений среднегодовых ПК в ВЛ 330 кВ Черкесск — Баксан даны в табл. 9 (с. 32).

Как следует из табл. 9, измеренные и расчетные значения среднегодовых ПК достаточно близки (относительное расхождение составляет 8,4 %).

На данной ВЛ в декабре 2011 г. были выполнены сравнительные измерения двумя методами: методом с использованием АИИС КУЭ и методом УИК-ОИК. Месяц декабрь был выбран с учетом того, что в зимнее время уровень ПК наиболее высок. Результаты сравнительных измерений представлены на рис. 6 (с. 30).

Как следует из зависимостей, показанных на рис. 6, результаты измерений методом УИК-ОИК при малой величине ПК не могут рассматриваться как достоверные.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПК НА ВЛ 330 КВ БАКСАН — ПРОХЛАДНЫЙ

Полученные в результате измерений методом АИИС КУЭ в 2010 и 2011 гг. удельные среднемесячные значения ПК на ВЛ Баксан — Прохладный представлены в табл. 10 и на рис. 7 (с. 32).

ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УДЕЛЬНЫХ ПК НА ВЛ 330 КВ БАКСАН — ПРОХЛАДНЫЙ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ ЗА 2010–2011 ГГ., кВт/КМ

Год	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	—	4,1	3,1	4,0	3,1	3,2	2,8	4,4	5,0	4,7	5,7	6,7
2011	12,2	7,1	6,7	7,1	5,4	4,4	4,0	5,4	4,7	5,6	6,4	7,9

Таблица 10

СРЕДНЕМЕСЯЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТОКОВ НА ВЛ БЕЛОЗЕРСКАЯ — ЧЕРЕПОВЕЦ ЗА 2011 Г.

Рис. 10

СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ УДЕЛЬНЫХ ПК ПО ДАННЫМ АИИС КУЭ И УИК-ОИК НА ВЛ 330 кВ БАКСАН — ПРОХЛАДНЫЙ

Год (метод измерений)	Среднемесячные $P_{с.м.}$, кВт/км		
	октябрь	ноябрь	декабрь
2010 (АИИС КУЭ — ОИК)	4,7	5,7	6,7
2011 (АИИС КУЭ — ОИК)	5,6	6,4	7,9
2011 (УИК — ОИК)	0,057	0,013	2,569

Таблица 11

ЗНАЧЕНИЯ ПК В ЧЕТЫРЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВИДА ПОГОДЫ НА ВЛ 500 кВ С ПРОВОДАМИ ЗАС-300/39 (ОПОРА ПБ-2)

Вид погоды	Хорошая погода	Сухой снег	Дождь	Зернистая изморозь, гололед
Рк., кВт/км	2,8	11,0	34	90

Таблица 12

СРЕДНЕМЕСЯЧНЫЕ ПК ($P_{с.м.}$), РАССЧИТАННЫЕ ПО ПС РУ, СРЕДНЕМЕСЯЧНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ И ПЛОТНОСТЯМ ТОКА ЗА 2011 Г. НА ВЛ 500 кВ БЕЛОЗЕРСКАЯ — ЧЕРЕПОВЕЦ С УЧЕТОМ ДЛИН УЧАСТКОВ ВЛ ($L_{уч.}$ = 18,5 КМ С ОПОРОЙ ПБ500-5Н И $L_{уч.}$ = 10,9 КМ С ОПОРОЙ ПБ-2)

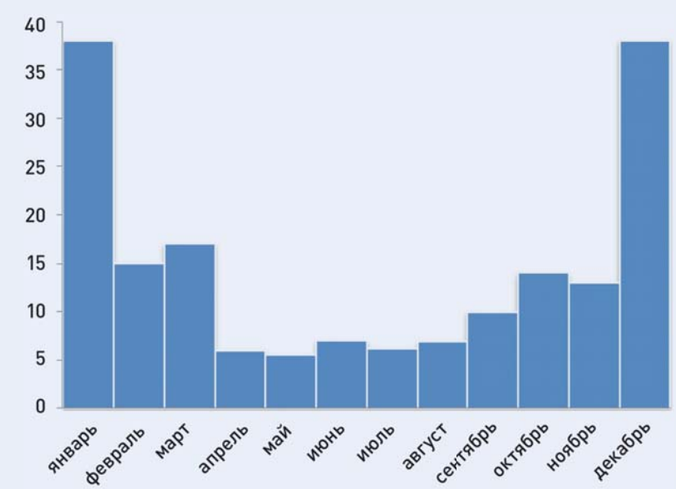


Рис. 11

Среднегодовые ПК на этой ВЛ в 2010 г. по данным измерений методом АИИС КУЭ составили 4,7 кВт/км, а в 2011 г. — 6,5 кВт/км.

Большие значения удельных среднегодовых ПК на ВЛ Баксан — Прохладный по сравнению с ПК на ВЛ Черкесск — Баксан объясняются, главным образом, «худшими» погодными условиями. Так, по данным из дневника погоды с сайта www.gismeteo.ru, продолжительность дождливой погоды в городе Прохладный в 2011 г. на 34 % превысила продолжительность такой погоды в городе Черкесск. Играет роль и использование на ВЛ Баксан — Прохладный проводов с меньшим диаметром.

Отметим, что в связи с отсутствием в базе данных среднемесячных и среднегодовых продолжительностей видов погоды по данным метеостанций этого региона расчеты ПК по ПС РУ на ВЛ Баксан — Прохладный не проводились.

В качестве примеров показаны суточные изменения ПК в июле и декабре по методу АИИС КУЭ (рис. 8, 9 на с. 33). Продолжались попытки провести сопоставление с ПК, полученных методом УИК-ОИК (см. рис. 9 на и табл. 11 на с. 34).

Как следует из рис. 9 и табл. 11, результаты измерений ПК методом УИК — ОИК на ВЛ Баксан — Прохладный, так же как и на ВЛ Черкесск — Баксан, не могут рассматриваться как достоверные.

ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕГОДОВЫХ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ $P_{с.г.}$, РАССЧИТАННЫХ ПО ПС РУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ ТОКА J, НА ВЛ 500 КВ С ПРОВОДАМИ ЗАС-300/39

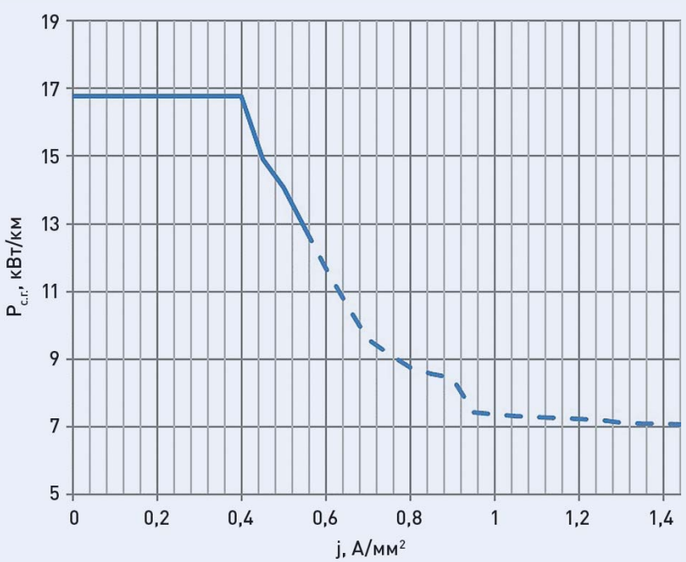


Рис. 12

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ ПК НА ВЛ 500 КВ БЕЛОЗЕРСКАЯ — ЧЕРЕПОВЕЦ

При измерениях ПК на данной ВЛ возникли определенные трудности в связи с отсутствием в базе данных части необходимых данных, однако методом АИИС КУЭ в течение нескольких месяцев измерения удалось провести. В то же время наличие информации по погодным условиям в районе прохождения трассы ВЛ позволило определить как помесячные, так и среднегодовые ПК по методике ПС РУ. Эти расчеты проводились на основании усредненных среднемесячных продолжительностей видов погоды по метеостанциям Белозерск, Вологда, Бирюково (аналогичных приведенным в табл. 3 на с. 28) и среднемесячных значений плотностей тока (рис. 10 на с. 34).

На рис. 11 (с. 35) показаны рассчитанные по ПС РУ среднемесячные значения ПК, а на рис. 12 — зависимости среднегодовых ПК от плотности тока на ВЛ 500 кВ с проводами ЗАС-300/39.

В соответствии с рис. 11 среднегодовые значения ПК по ПС РУ, вычисленные по среднемесячным значениям метеопараметров и плотностям токов $j_{с.м.}$ с учетом длин участков ВЛ, составляют 14,8 кВт/км, а в соответствии с рис. 12 — (14–15) кВт/км в диапазоне токов (0,45–0,50) А/мм², что соответствует среднему зна-

ОРГАНИЗАТОР:
ENSO ENERGY SUMMITS
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЁР:
ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ
Комитет Государственной Думы по энергетике
Министерство экономического развития РФ
EUROSOLAR
ДЕЛОВАЯ РОССИЯ
ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

Скидка при ранней регистрации для читателей журнала !
Только до 31 января 2017 года действует уникальное предложение по промокоду: res18
Позвоните по номеру 8 800 707 8149 (звонок бесплатный), 8 812 648 6177 или напишите нам на почту info@ensoenergy.org и забронируйте участие в знаковом событии энергетической отрасли.

чению плотности тока на данной ВЛ.

Далее сравним измеренные методом АИИС КУЭ и рассчитанные по ПС РУ среднемесячные значения ПК за март, ноябрь, декабрь (рис. 13, 14, 15).

Анализ динамики изменения удельных потерь на ВЛ 500 кВ показал, что в некоторые месяцы имеются расхождения между их расчетными значениями и результатами по данным АИИС КУЭ в 2011 г. Это можно объяснить небольшой длиной линии и соответственно низкими относительными суммарными потерями активной мощности на линии. Как известно, погрешность определения суммарных потерь мощности по разности измеряемых по концам линии потоков мощности увеличивается с уменьшением длины ВЛ [16].

В табл. 12 (с. 35) даны значения ПК в четыре характерных вида погоды на ВЛ 500 кВ с проводами ЗАС-300/39 (опора ПБ-2).

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БАЛАНСОВЫХ И РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПК

Перспективным направлением для определения ПК и нагрузочных потерь на действующих ВЛ следует считать использование высокоточных синхронных измерений по концам линии при оперативном определении параметров линий [17] на основе данных регистраторов аварийных процессов, векторных регистраторов (PMU-устройств),

ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ПК НА ВЛ 500 КВ БЕЛОЗЕРСКАЯ — ЧЕРЕПОВЕЦ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ ДЛЯ МАРТА 2011 Г. И РАСЧЕТНОЕ УДЕЛЬНОЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПК ПО ПС РУ ЗА МАРТ 2011 Г. ($P_{с.м.}$ = 17,5 кВт/КМ)

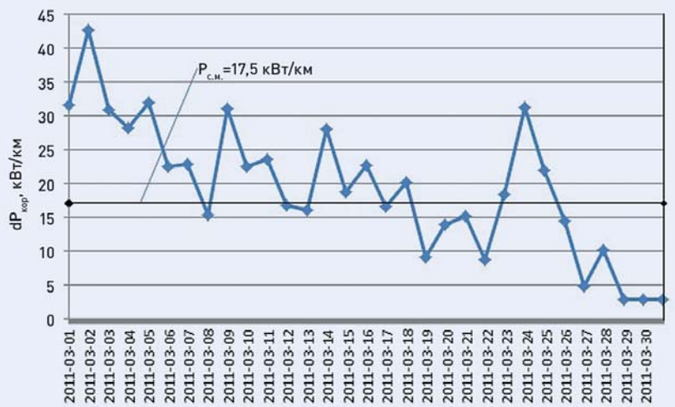


Рис. 13

оптических трансформаторов тока и напряжения, ИЭУ, позволяющих выполнять измерения мгновенных параметров режима с высокой точностью и «жесткой» временной привязкой за счет использования сигналов точного времени от космических спутников навигационных систем.

При наличии по концам линии ИЭУ векторных регистраторов для определения параметров линии могут применяться как вышерассмотренные подходы, основанные на предварительном вычислении в этих устройствах средних значений активных и реактивных мощностей и действующих значений токов, так и подходы, основанные на использовании массивов дискретизированных мгновенных значений токов и напряжений фаз по концам линии (так называемых цифровых осциллограмм) [18].

В этом случае можно идентифицировать не только поперечные параметры линии (активную и емкостную проводимости), но и продольные (активное и индуктивное сопротивление проводов). Кроме того, при расчете по мгновенным значениям токов и напряжений можно корректно учесть нелинейный характер токов короны.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны методика и алгоритм определения потерь мощности и электроэнергии на корону на ВЛ 220–750 кВ балансовым методом с использованием данных из АИИС КУЭ. Отличительными особенностями методики являются:
   - использование получасовых значений энергий по концам линии из АИИС КУЭ и синхронность измерений существенно повышает точность определения ПК в действующих ВЛ по сравнению с применением для расчетов потоков мощности из ОИК;
   - корректная компенсация систематических погрешностей измерительных систем;
   - уточненное определение нагрузочных потерь на основе использования Т-образной схемы замещения, учета влияния температуры провода на его активное сопротивление и использование данных о температуре воздуха по трассе ВЛ в расчетный период времени.
2. Сравнение ПК, определенных при измерениях на действующих ВЛ разработанным методом, и расчетов ПК на этих ВЛ по проекту стандарта ПАО «ФСК ЕЭС» «Руководящие указания по учету потерь на корону и помех от короны при выборе проводников линий электропередачи переменного тока 220–1150 кВ и постоянного тока 1500 кВ», показало близость получаемых результатов как для среднегодовых, так и для среднемесячных величин.
3. Измерения ПК разработанным методом были проведены для каждого получаса и месяца 2010–2011 гг. на одной ВЛ 220 кВ, двух ВЛ 330 кВ и одной ВЛ 500 кВ; по расчетной методике определены среднемесячные и среднегодовые ПК на ВЛ.

ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ПК НА ВЛ 500 КВ БЕЛОЗЕРСКАЯ — ЧЕРЕПОВЕЦ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ АИИС КУЭ ДЛЯ НОЯБРЯ 2011 Г. И РАСЧЕТНОЕ УДЕЛЬНОЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПК ПО ПС РУ ЗА НОЯБРЬ 2011 Г. ($P_{с.м.}$ = 12,5 кВт/КМ)

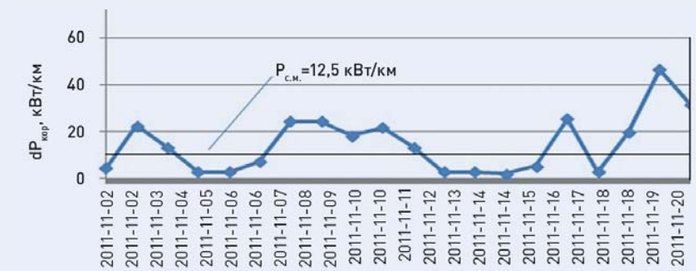


Рис. 14

В периоды плохой погоды (повышенная влажность воздуха, снег, дождь, изморозь) имеет место синхронное увеличение измеренных и расчетных среднемесячных и среднегодовых удельных ПК на ВЛ, что демонстрирует работоспособность предложенных методик.

4. Наилучшие результаты определения ПК разработанным методом измерений с использованием данных из АИИС КУЭ получены для исследуемых ВЛ 330 кВ, что можно объяснить относительно большой их протяженностью, наличием синхронизации измерений в АИИС КУЭ по данным PPS-сигналов, использованием для измерений обмоток трансформаторов тока класса 0,2S и трансформаторов напряжения класса 0,5.
5. Представленные результаты измерений ПК методом УИК-ОИК в периоды погоды с малыми ПК значительно ниже величин, измеренных разработанной методикой и полученных расчетным путем по методике ПС РУ. Ни в одном из рассмотренных примеров методом УИК-ОИК не получена достоверная оценка ни среднемесячных, ни тем более среднегодовых ПК, что демонстрирует преимущества метода с использованием АИИС КУЭ.
6. Представляется целесообразным в рамках концепции Smart Grid одну из действующих протяженных ВЛ 330 или 500 кВ ПАО «ФСК ЕЭС» оборудовать современными интеллектуальными электронными устройствами, векторными регистраторами, оптическими трансформаторами тока и напряжения, автоматическими метеостанциями, установленными по трассе ВЛ, и другими современными устройствами для проведения дальнейших

исследований по совершенствованию балансовых и расчетных методов определения ПК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф.В. Пик. Диэлектрические явления в технике высоких напряжений. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1934.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. М.: ЭНАС, 2012.
3. В.А. Шлайфштейн, В.А. Костюшко, Л.В. Тимашова. К вопросу выбора сечения проводов воздушных линий электропередачи напряжением 220–750 кВ // Энергия единой сети. 2016. № 2. С. 44–49.
4. Р.Н. Бердников и др. О результатах расчета потерь электроэнергии и мероприятиях по их снижению в электрических сетях 220–500 кВ МЭС ОАО «ФСК ЕЭС» / Бердников Р.Н., Воротницкий В.Э., Калинкина М.А., Паринов И.А., Туркина О.В. // Сборник докладов Пятого научно-технического семинара-выставки «Нормирование и снижение потерь электрической энергии в электрических сетях». М.: Диалог Электро, 2007. С. 92–95.
5. А.П. Бурман и др. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: Учеб. пособие / Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
6. Руководящие указания по учету потерь на корону и помех от короны при выборе проводов воздушных линий электропередачи переменного тока 330–750 кВ и постоянного тока 800–1150 кВ. М.: СЦНТИ, 1975.
7. F.M. Cahen, J.M. Carteron. The French 380-Kv System — Measurement of Corona Losses on Transmission Lines under Normal Operating Conditions // Power Apparatus and Systems, Part III. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. April 1957. Vol. 76. Issue 3. Pp. 1525–1531.
8. P. Larsson. Measurements of Corona Losses due to Hoar Frost and Winter Precipitation Lines in Finland with Special Reference to Estimation of Hoar Frost Corona Losses Based on Meteorological Data // Paper № 409. CIGRE, 1964.
9. А.И. Тамазов. Корона на проводах воздушных линий переменного тока. М.: Спутник, 2002.
10. А.С. Бердин. Модели и методы информационного обеспечения систем управления электрическими режимами, контроля качества и потерь электроэнергии // Автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук по спец. 05.14.02. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000.
11. Ф.А. Дьяков, Ю.Г. Кононов. Расчет потерь мощности и электроэнергии на корону в линиях электропередачи СВН по данным АИИС КУЭ и ОИУК / Материалы V Научно-технической семинара-выставки «Нормирование и снижение потерь электрической энергии в электрических сетях». М.: Диалог Электро, 2007.
12. Ф.А. Дьяков, Ю.Г. Кононов. Новый подход к мониторингу гололедообразования на ВЛ 330–750 кВ // Энергетик. 2009. № 4.
13. В.А. Костюшко. Анализ расчетных и экспериментальных оценок потерь мощности на корону на воздушных линиях электропередачи переменного тока. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2011.
14. В.А. Костюшко. Расчет потерь мощности на корону на воздушных линиях электропередачи переменного тока // Энергия единой сети. 2016. № 3. С. 40–49.
15. В.Э. Воротницкий. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях. М.: Интехэнерго-издат, Теплоэнергетик, 2016.
16. А.Б. Баламетов. Модели и методы расчета установившихся режимов электрических сетей с учетом коронирования проводов. Баку: Элм, 2005.
17. О.С. Рыбасова, Ю.Г. Кононов. Определение параметров схемы замещения ВЛ 750 кВ по данным векторных регистраторов // Труды VI международной научно-технической конференции, 9–13 ноября 2015, Иваново. В 2 т. Т. 1. Иваново: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2015.
18. Д.В. Джумик. Определение параметров схем замещения линий электропередачи, силовых конденсаторов и резисторов, реакторов по массивам мгновенных значений токов и напряжений в рабочих режимах // Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук по спец. 05.14.02. Томск: ТПУ, 2008.

ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПК НА ВЛ 500 КВ БЕЛОЗЕРСКАЯ — ЧЕРЕПОВЕЦ, ИЗМЕРЕННЫХ МЕТОДОМ АИИС КУЭ ДЛЯ ДЕКАБРЯ 2011 Г., И РАСЧЕТНОЕ УДЕЛЬНОЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПК ПО ПС РУ ЗА ДЕКАБРЬ 2011 Г. ($P_{с.м.}$ = 37,7 кВт/КМ)

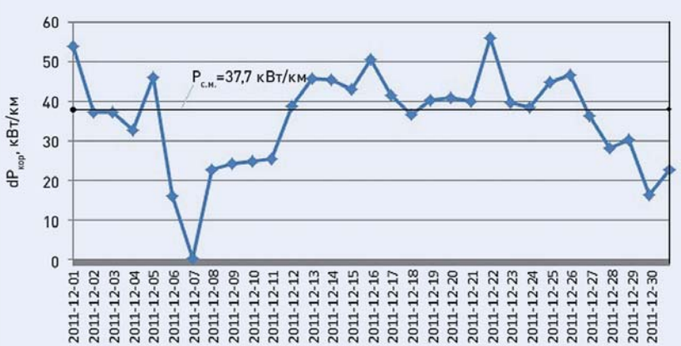


Рис. 15

ДИСТАНЦИОННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ. ПРИБОРЫ ОТ «ТЕСТЭЛЕКТРО»

На правах рекламы

Система температурного контроля «Зной» и модули индикации мнемосхем «КРУ-Мнемо-3», «КСО-Мнемо-3» разработаны НПП «ТестЭлектро» для дистанционного мониторинга температуры контактных соединений, а также для контроля напряжения.

Система «Зной» включает в себя несколько датчиков ДТП-300 (по требованию заказчика) и модуль температурного контроля. С помощью датчиков модуль в непрерывном режиме производит бесконтактное измерение температуры важных зон, сигнализируя о превышении установленных порогов температуры. Модуль снабжен разъемом RS-485 и поддерживает протокол Modbus, благодаря чему система «Зной» обеспечивает связь устройства с системами верхнего уровня. Модуль оборудован тремя выходами типа «сухой контакт».

Систему «Зной» используют в качестве теплолокатора для определения областей критических температур в различных производственных сферах. Функциональность позволяет ей корректировать температуру контролируемой области, например, включив вентилятор охлаждения.

Еще одна важная сфера применения системы температурного контроля «Зной» — объекты энергетики: ее устанавливают в распределительных устройствах для мониторинга температуры контактных соединений главных цепей.

В распределительных устройствах высокого напряжения система «Зной» может послужить для мониторинга не только температуры, но и напряжения. Опционально она дополняется функцией контроля наличия высокого напряжения (СКВН) на главных цепях распределительного устройства с индикацией фаз.

МОДУЛИ ИНДИКАЦИИ МНЕМОСХЕМ «КРУ-МНЕМО-3» И «КСО-МНЕМО-3»

Для работы на объектах энергетики предназначены и модули индикации «КРУ-Мнемо-3» и «КСО-Мнемо-3». Первая модель разработана для функционирования в комплектных распределительных устройствах (КРУ), вторая — для камер сборных одностороннего обслуживания (КСО).

Модули индикации мнемосхем «КРУ-Мнемо-3» и «КСО-Мнемо-3» поддерживают все функции системы «Зной», а кроме того, позволяют отображать, в каком состоянии находятся основные аппараты главной электрической цепи комплектных распределительных устройств и камеры сборные одностороннего обслуживания, измерять температуру в зонах контактов и соединений, сигнализируя об аварийных ситуациях.

В 2017 г. система контроля температуры «Мнемо» была применена на нефтеперерабатывающем заводе концерна Hyundai в Южной Корее, в настоящее время идет проработка реализации пилотного проекта мониторинга температуры на подстанциях г. Тегеран (Иран).

**НПП «ТестЭлектро», г. Самара, Красноглинское шоссе, 1А
тел.: +7 (846) 312-7361,
e-mail: pochta@testelektro.ru,
www.testelektro.ru**

МОДУЛЬ ИНДИКАЦИИ МНЕМОСХЕМ «КРУ-МНЕМО-3»

Рис. 1