

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЭП ПО ДАННЫМ ТЕЛЕМЕТРИИ

Л.А. Беляева, Б.Г. Булатов  
г. Челябинск, ЮУрГУ

## IDENTIFICATION OF THE TRANSMISSION LINES PARAMETERS ACCORDING TO THE TELEMETRY DATA

L.A. Belyaeva, B.G. Bulatov  
Chelyabinsk, SUSU

Исследованы возможности оценки поперечной проводимости ЛЭП по данным телеметрии для повышения точности расчета потерь на корону. Приведены результаты оценки методом случайного поиска.

**Ключевые слова:** электрические сети, потери на корону, телеметрия, случайный поиск.

The assessment opportunities of transmission lines shunt admittance according to the telemetry data with the purpose of the increase of the corona losses calculation accuracy are analyzed. The assessment results by the random search method are given.

**Keywords:** electrical networks, corona losses, telemetry, random search.

Анализ отчетных данных и динамики потерь электроэнергии по электрическим сетям АО-энерго (РСК) России показывает, что суммарный уровень потерь по стране в 2005 г. достигал 112,6 млрд кВт·ч, или 12,86 % от отпуска электроэнергии в сеть, что в 2–2,5 раза превышает уровень потерь в промышленно-развитых странах [1]. В настоящее время во всех электросетевых компаниях разработаны и реализуются программы по снижению потерь электроэнергии. С каждым годом требования к снижению потерь ужесточаются. Так ОАО «ФСК ЕЭС» по итогам 2006 года снизило потери электроэнергии в собственных сетях на 0,04 процентных пункта (с 3,75 % до 3,71 % к отпуску из сети). Улучшения ситуации с потерями электроэнергии удалось добиться и в распределительном сетевом комплексе. Потери электрической энергии в 2006 году составили 8,7 % от отпуска в сеть. Для сравнения в 2005 году потери электроэнергии в распределительных сетях составляли 10,11 %.

Сокращение технических потерь электроэнергии стало возможным благодаря замене перегруженного оборудования (силовых трансформаторов, воздушных линий электропередачи), сокращению сроков ремонтов, повышению пропускной способности сети, оптимизации схем распределения электрической энергии и режимов работы электрических сетей, снижению расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций [2]. Также снижению потерь в сетях способствует установка новых систем учета электрической энергии, соответствующих современным требованиям.

Для выбора эффективных мероприятий по экономии электроэнергии при передаче важно достоверно определить структуру потерь электроэнергии. В магистральных сетях, в состав которых входят линии напряжением 220 кВ и выше, заметная доля приходится на потери на корону, которые во многом зависят от погодных условий и поэтому контролируются и прогнозируются с низкой точностью. В связи с внедрением в этих сетях новых систем контроля параметров режима с 12-разрядными АЦП вместо 8-разрядных появляется возможность и возрастает актуальность использования телеметрии для повышения точности учета потерь электроэнергии на корону.

Так как внедрение современных систем телемеханики и учета, информация которых может быть использована для реальной оценки потерь, в настоящий момент ведется и еще не завершено в полной мере, рассмотрим виртуальную модель линии. Для расчета и анализа режима воспользуемся П-образной схемой замещения ЛЭП-500 кВ длиной 200 км, выполненной проводом 3хАС-400/51. Передаваемая мощность  $P_1=600$  МВт,  $Q_1=100$  МВАр. Используя справочные данные для провода указанного сечения, определены параметры схемы замещения:  $R=4,86$  Ом,  $X=61,2$  Ом,  $B/2=3,623 \cdot 10^{-4}$  См, активная проводимость определяется для разных погодных условий по формуле

$$G = P_k / U_n^2 \cdot L,$$

где  $P_k$  – удельные потери на корону.

На рис. 1 показана фронтальная панель виртуального устройства (ВУ). На схеме передачи приведены точные расчетные значения параметров

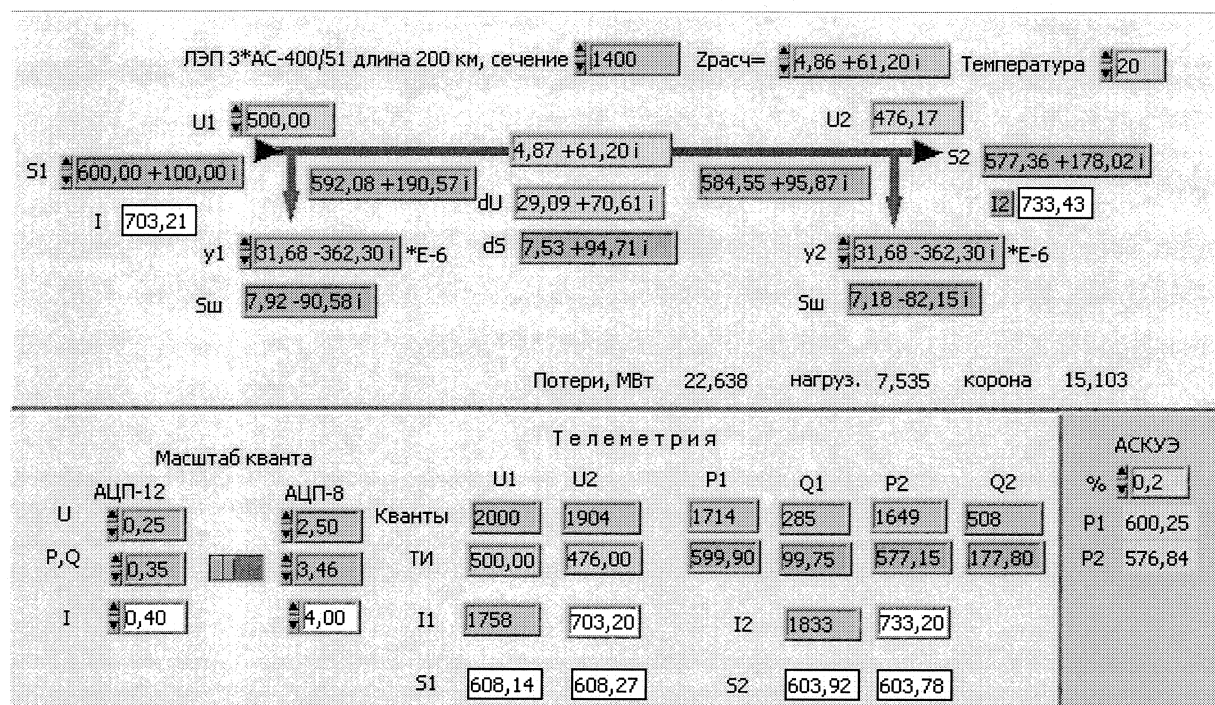


Рис. 1. Фронтальная панель ВУ

режима по всем элементам схемы замещения. В нижней части панели представлены результаты формирования телеметрии по всем параметрам режима ( $U$ ,  $I$ ,  $P$ ,  $Q$ ) в начале и конце передачи. Здесь можно выбрать разрядность АЦП, установить масштабы квантов, определить число квантов по каждому параметру и значения всех параметров режима в оперативно-информационном комплексе пункта управления. В нижней строке приведены значения полной мощности, найденные расчетом по формулам для начала и конца передачи

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}UI.$$

Совпадение результатов при этом является признаком корректности телеметрии.

С помощью ВУ можно проанализировать влияние напряжения на потери в линии при различных погодных условиях, для которых в справочниках приводятся удельные потери на корону для разных типов проводов и напряжений. Оценки потерь задаются для хорошей погоды, сухого снега, влажной погоды, изморози и в кВт/км приняты равными, соответственно,  $P_{\text{кх.}} = 2,4$ ,  $P_{\text{кс.}} = 9,1$ ,  $P_{\text{кв.}} = 30,2$  и  $P_{\text{ки.}} = 79,2$ .

Полученные зависимости показаны на рис. 2. Характер зависимостей объясняется следующим: при хорошей погоде или сухом снеге снижение суммарных потерь с ростом напряжения зависит главным образом от снижения нагрузочных потерь, так как влияние короны при таких погодных условиях незначительно. При влажной погоде потери на корону становятся соизмеримы с нагрузочными и минимум потерь лежит в допустимом диапазоне регулирования напряжения. При измо-

рози потери на корону значительно превышают нагрузочные и минимум потерь смещается в зону минимальных напряжений.

Таким образом, для оптимизации уровня напряжения в магистральных сетях необходимо по возможности точнее оценивать активную проводимость линий электропередач. Оптимизационные расчеты, в которых параметры расчетных схем замещения определены по паспортным данным без учета реальных внешних условий, не позволяют обеспечить максимальное снижение технических потерь энергии. Реальные параметры схем замещения будут несколько отличаться от справочных вследствие различных воздействий температуры, передаваемой мощности, влажности и т. д. Поэтому для оптимизации режима необходимо знать реальные параметры схемы замещения, получить которые возможно, имея достоверные параметры телеметрии по концам каждой ЛЭП эксплуатируемой магистральной сети.

На примере рассмотренной линии при напряжении  $U_1 = 500$  кВ была проведена оценка чувствительности телеметрии к изменениям различных параметров схемы замещения. С этой целью в небольшом диапазоне менялись продольные сопротивления  $R+jX$  и в более широком поперечные проводимости  $G-jB$  и контролировалась телеметрия в конце передачи.

Для полученной выборки были определены коэффициенты парной корреляции, приведенные в таблице, значения которых подтвердили достаточно разную чувствительность контролируемых параметров режима в конце передачи к изменению параметров схемы замещения. Нулевые значения получаются в том случае, когда изменение пара-

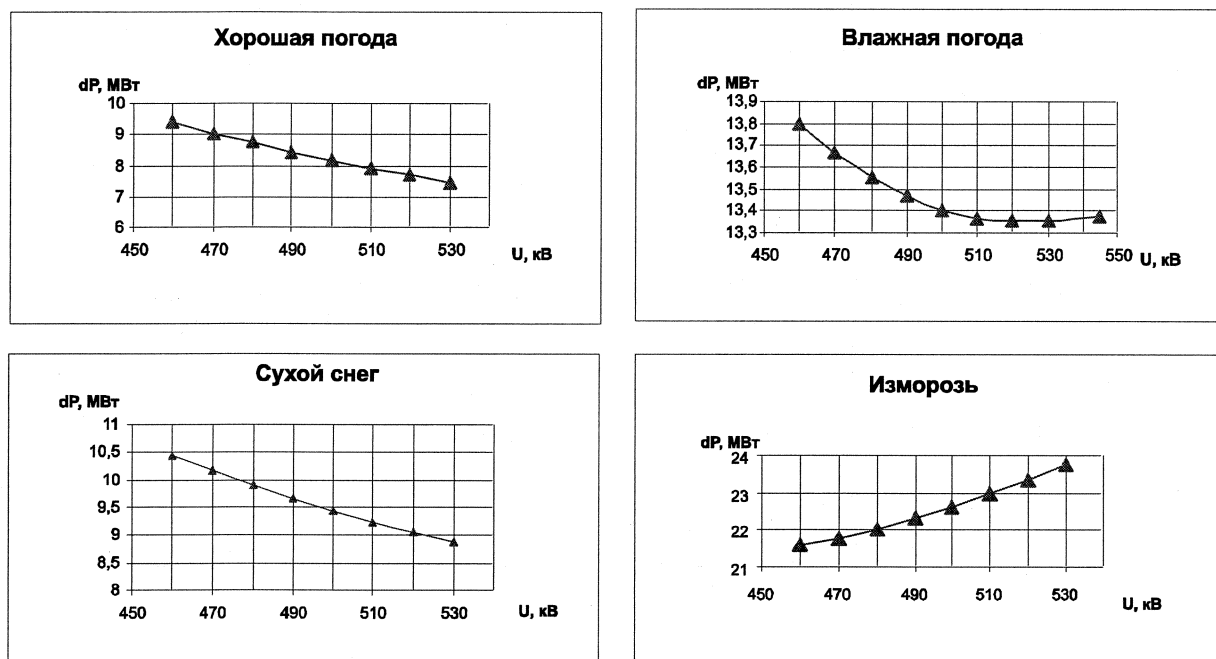


Рис. 2. Потери в ЛЭП при разных погодных условиях

метра режима лежит в пределах кванта и недостаточно для изменения их количества.

## Коэффициенты парной корреляции

| ТИ | U2     | P2     | Q2     | I2     |
|----|--------|--------|--------|--------|
| R  | -0,945 | -0,866 | 0      | 0      |
| X  | -0,996 | 0      | -1,000 | -1,000 |
| B  | -1,000 | -0,500 | 1,000  | 0,999  |
| G  | 0      | -0,338 | 0,992  | -0,114 |

Таким образом, обладая данными достоверной телеметрии по концам передачи, можно сформулировать задачу на поиск таких значений параметров  $\Pi$ , которые обеспечивают минимальную среднеквадратическую ошибку между телеметрией  $ТИ_{2i}$  и расчетными параметрами режима  $ТИ_i$  в конце передачи

$$F(\Pi) = \frac{1}{n} \sum_i (ТИ_{2i} - ТИ_i(ТИ_1, \Pi))^2 \rightarrow \min.$$

Решение этой задачи можно получить разными методами. Наиболее перспективными сегодня являются методы случайного поиска, открытые для различных модификаций. Эти методы относят к методам нулевого порядка, основанным на многократных расчетах целевой функции, начиная с исходной точки. Следующая точка на траектории спуска к решению определяется с помощью генератора псевдослучайных чисел с равномерным распределением в интервале  $0 \dots 1$ .

Для проверки возможностей алгоритма случайного поиска была проведена идентификация параметров  $G$  и  $B$  поперечной проводимости ЛЭП-

500. При первом расчете в качестве телеметрии использовались точные значения параметров режима, т. е.  $ТИ_1=500; 600; 100; 703,21; ТИ_2=476,17; 577,36; 178,02; 733,43$ . В качестве исходного приближения принимались значения  $G=5 \cdot 10^{-6}$ ,  $B=350 \cdot 10^{-6}$ . Ребро квадрата с центром в текущей точке принималось в диапазоне от 0,1 до 0,02. При точности оценки проводимости в 1 % число просмотренных случайных точек менялось от 1200 до 3000, из них количество полезных шагов составляло около 40 %.

Аналогичные результаты получены и для телеметрии, показанной на рис. 1 при 12-разрядном АЦП для принятых масштабов квантования. Телеметрия, полученная в устройствах телемеханики с 8-разрядными АЦП, не имеет перспектив для использования в рассматриваемой задаче.

Таким образом, использование корректной телеметрии, проверенной на отсутствие неверных измерений в параметрах режима по концам ЛЭП, позволяет определять с достаточной точностью активную проводимость при разных погодных условиях. Контроль при этом влажности, температуры и других характеристик погоды даст возможность набрать статистику, обработка которой позволит повысить точность оценки потерь электроэнергии на корону в структуре технических потерь и при оптимизационных расчетах.

## Литература

1. Воротницкий, В.Э. Основные направления снижения потерь электроэнергии в электрических сетях на краткосрочную и долгосрочную перспективу / В.Э. Воротницкий // Энергосистема: управ-

ления, конкуренция, образование: материалы 3-й международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2008.

2. Железко, Ю.С. Расчет, анализ и нормиро-

вание потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 280 с.

Поступила в редакцию 15.01.2010 г.

**Булатов Борис Георгиевич** – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов: управление и оптимизация режимов энергосистем. Контактный телефон: 8-(351)267-92-46.

**Bulatov Boris Georgievich** is Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Electric Power Plants, Networks and Systems Department of South Ural State University. Research interests: management and optimization of power systems modes. Tel: 8-(351)267-92-46.

**Беляева Лариса Александровна** – преподаватель кафедры «Электрические станции, сети и системы» ЮУрГУ. Научные интересы связаны с оборудованием и режимами работы электроустановок. Контактный телефон: 8-(351)267-92-46.

**Belyaeva Larisa Aleksandrovna** is a lecturer of the Electric Power Plants, Networks and Systems Department of South Ural State University. Research interests are related to the equipment and operation modes of electrical installations. Tel: 8-(351)267-92-46.