

## РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ИЗ-ЗА ТОКОВ УТЕЧКИ

© 2010 В.М. Руцкий, С.В. Коркина, А.А. Комолов

Самарский государственный университет путей сообщения

Поступила в редакцию 25.02.2010

Статья посвящена разработанной уточненной методике расчета потерь электроэнергии в электрических сетях из-за токов утечки изоляции.

Ключевые слова: *потери электроэнергии, электрические сети, токи утечки, изоляция*

В руководстве для практических расчетов [1] потери электроэнергии из-за токов утечки по изоляторам воздушных линий электропередачи (ВЛ) совершенно справедливо отнесены к техническим потерям. Они обусловлены физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей. Эти потери не могут быть измерены. Их значения могут быть получены расчетным путем на основе известных законов электротехники. Однако предлагаемая в руководстве методика расчета потерь электроэнергии из-за токов утечки по изоляторам ВЛ при увлажнении их загрязненной поверхности представляется недостаточно обоснованной. Мощность потерь на одном изоляторе предлагается рассчитывать в зависимости от сопротивления изолятора. При этом допускается, что значение сопротивления изолятора в период увлажнения остается неизменным. Такое допущение не может быть признано обоснованным. Оно не отражает электрофизические процессы при увлажнении загрязненной изоляции. В процессе увлажнения из раствора электролита на поверхности изолятора испаряется влага, образуются кольцевые подсушенные зоны, периодически возникают и гаснут частичные дужки. При этом ток утечки носит импульсный характер, когда на фоновый ток накладываются броски тока утечки (импульсы) во время горения частичной дуги

(так называемый режим перемежающихся дужек). Кроме того, в процессе увлажнения происходит вымывание солей из слоя загрязнения. Использовать при расчете тока утечки, значение сопротивления изолятора, измеренное в отсутствие этих процессов, как это предлагается в [1] представляется ошибочным. Например, значения токов утечки, рассчитанные согласно рассматриваемой методике для гирлянды изоляторов ВЛ 110 кВ составляют 8 мА и 76 мА для районов с 1-й и 7-й степенью загрязнения атмосферы (СЗА) соответственно. Однако экспериментально установлено [2], что даже в предельном случае, когда изоляторы находятся в предразрядном режиме, только амплитуды импульсов токов утечки составляют 10 мА и более. В нормальном эксплуатационном режиме, при верно выбранном уровне изоляции, эти значения будут меньше. Очевидно, что результаты расчетов потерь электроэнергии по токам утечки, значения которых сопоставимы с амплитудами импульсов этих токов при работе изоляторов в предразрядном режиме, будут необоснованно завышены. Кроме того, ток утечки зависит не только от степени загрязнения поверхности изолятора, то есть от степени загрязнения атмосферы или согласно седьмого издания ПУЭ от степени загрязнения (СЗ) [3], но и в значительной степени от вида и интенсивности увлажнения, что никак не учитывается в рассматриваемой методике расчета.

Также в методике не учитывается пространственная структура увлажняющих метеоявлений. В [4] рассмотрен так называемый коэффициент распределенности метеоявлений  $K_{р.м.}$ , показывающий какая часть трассы ВЛ охвачена данным метеоявлением. Среднегодовое значение  $K_{р.м.}$  различных увлажняющих метеоявлений по данным [4] составляет в среднем примерно 0,5.

*Руцкий Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Муниципальный пассажирский транспорт». E-mail: ruckiyvm@mail.ru  
Коркина Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Муниципальный пассажирский транспорт»  
Комолов Александр Александрович, аспирант.  
E-mail: komsas@ya.ru*

Авторами разработана, как представляется, более физически обоснованная методика расчета потерь электроэнергии из-за токов утечки по изоляционным конструкциям

наружных электроустановок [5, 6]. Согласно этой методике годовые потери в единичной изоляционной конструкции (гирлянде изоляторов) рассчитываются как:

$$A = K [T_T M(P_T) + T_M M(P_M) + T_D M(P_D) + T_R M(P_R)] \quad (1)$$

где  $M(P_T)$ ,  $M(P_M)$ ,  $M(P_D)$  и  $M(P_R)$  – математическое ожидание мощности потерь энергии в единичной изоляционной конструкции соответственно при туманах, мороси, дождях и росе, кВт;  $T_T$ ,  $T_M$ ,  $T_D$  и  $T_R$  – годовая продолжительность туманов (при положительной температуре воздуха), мороси, дождей и росы, час.

Значения  $M(P_T)$ ,  $M(P_M)$ ,  $M(P_D)$  и  $M(P_R)$  при заданной степени загрязнения изоляции рассчитываются по формулам:

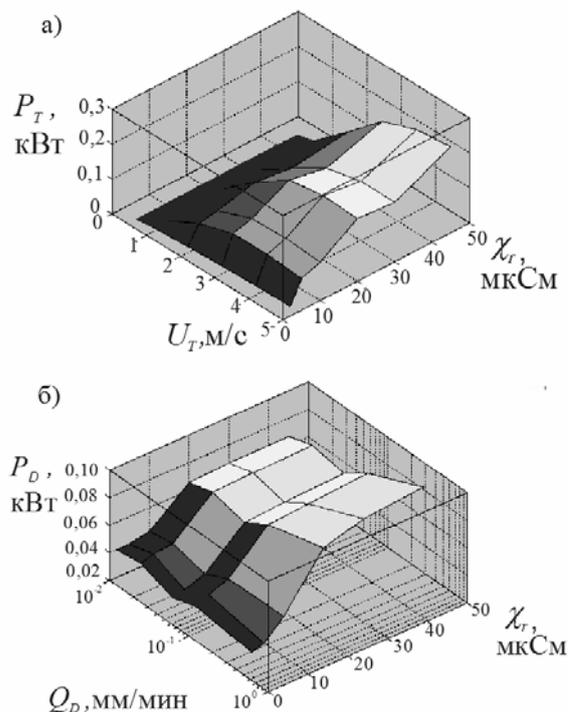
$$\begin{aligned} M(P_T) &= \sum_{i=1}^6 \Psi(U_{Ti}) P_T(U_{Ti}); \\ M(P_M) &= \sum_{i=1}^{11} \Psi(U_{Mi}) P_M(U_{Mi}); \\ M(P_D) &= \sum_{i=1}^{13} \Psi(Q_{Di}) P_D(Q_{Di}); \\ M(P_R) &= P_R(Q_R), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\Psi(U_{Ti})$  – вероятность  $i$ -той скорости ветра ( $U_{Ti}$ ) при туманах (6 градаций),  $\Psi(U_{Mi})$  – вероятность  $i$ -той скорости ветра ( $U_{Mi}$ ) при мороси (11 градаций),  $\Psi(Q_{Di})$  – вероятность дождей  $i$ -той интенсивности ( $Q_{Di}$ ) (13 градаций);  $P_T(U_{Ti})$ ,  $P_M(U_{Mi})$ ,  $P_D(Q_{Di})$  и  $P_R(Q_R)$  – мощность потерь энергии при заданной степени загрязнения изоляции соответственно во время туманов при  $i$ -той скорости ветра; мороси при  $i$ -той скорости ветра, дождей  $i$ -той интенсивности и росе при постоянной, характерной для средней полосы России интенсивности выпадения росы ( $Q_R$ ), кВт.

Мощность потерь энергии при туманах и мороси определяется в зависимости от скорости ветра, так как в этих случаях влага попадает на поверхность изолятора в результате инерционного осаждения, то есть интенсивность увлажнения поверхности изолятора прямо пропорциональна скорости ветра. Степень загрязнения изоляции оценивается величиной поверхностной проводимости при увлажнении слоя загрязнения до насыщения ( $\chi_r$ ). Связь поверхностной проводимости при увлажнении слоя загрязнения до насыщения с

СЗА или СЗ может быть определена из данных приведенных в нормативных документах [3, 5].

Значения  $P_T(U_{Ti})$ ,  $P_M(U_{Mi})$ ,  $P_D(Q_{Di})$  и  $P_R(Q_R)$  определялись с использованием динамической математической модели изменения электрических характеристик изоляции в процессе ее увлажнения различного по виду и интенсивности. На рис. 1 в качестве примера приведены значения  $P_T(U_{Ti})$ ,  $P_D(Q_{Di})$  при различной степени загрязнения изоляции.



**Рис. 1.** Средняя за однократное увлажнение мощность потерь электроэнергии в гирлянде изоляторов контактной сети железных дорог на напряжение 25кВ: а) при тумане в зависимости от степени загрязнения изоляции и скорости ветра; б) при дожде в зависимости от степени загрязнения изоляции и интенсивности дождя

В модели учтены основные процессы при увлажнении загрязненной изоляции: испарение воды из слоя увлажняемого загрязнения из-за токов утечки, образование подсушенных зон, возникновение и гашение частичных дуг (режим перемежающихся дужек), вымывание солей из слоя загрязнения и другие. Результаты моделирования качественно и количественно хорошо согласуются с экспериментальными данными автора и других исследователей. Здесь следует отметить, что если экспериментальных данных о потерях электроэнергии из-за токов утечки крайне мало, то данных об интенсивности электрокоррозии арматуры изоляторов в контактной сети железных дорог постоянного тока накоплено достаточно много. Как потери электроэнергии, так и интенсивность электрокоррозии

пропорциональны количеству электричества. Таким образом, хорошее согласование результатов моделирования процессов электрокоррозии и большего числа экспериментальных данных, косвенным образом подтверждают также и адекватность модели процессам потерь электроэнергии из-за токов утечки. В табл. 1 приведены результаты расчета мощности потерь в отдельных изоляторах гирлянд контактной сети железных дорог переменного тока (номинальное напряжение в контактной сети 25 кВ). Мощность потерь, рассчитанная согласно [5, 6], определялась как средневзвешенная для туманов, мороси и дождей, продолжительность которых характерна для Европейской части России, мощность потерь при росе не учтена из-за их малости.

**Таблица 1.** Мощность потерь, P, кВт

Наименование величины	СЗА		
	2	5	6
число изоляторов в гирлянде	3	4	5
напряжение на одном изоляторе гирлянды, кВ	8,33	6,25	5,00
мощность потерь, рассчитанная согласно [1], P, кВт	0,061	0,081	0,093
мощность потерь, рассчитанная согласно [5,6], P, кВт	0,009	0,015	0,014

Как видно из результатов расчетов, мощность потерь, рассчитанная согласно [1], в 5-7 раз превышает результаты расчетов согласно [5, 6]. С учетом того, что в [1] не учитывается пространственная структура увлажняющих метеоявлений и ряд других факторов, эта разница увеличится еще не менее чем в 2 раза. Таким образом, при расчете потерь электроэнергии из-за токов утечки по изоляторам ВЛ по методике [1] потери будут, как представляется, необоснованно завышены более чем на порядок.

В [5, 6] значения  $P_T(U_{Ti})$ ,  $P_M(U_{Mi})$ ,  $P_D(Q_{Di})$  и  $P_R(Q_R)$  определялись для гирлянд изоляторов контактной сети железных дорог. Так как падение напряжения на одном изоляторе гирлянды в контактной сети переменного тока одного порядка с падением напряжения на одном изоляторе гирлянд ВЛ различных классов напряжения, полученные значения мощности потерь для гирлянд изоляторов контактной сети железных дорог переменного тока могут быть использованы и для расчета потерь электроэнергии в изоляции ВЛ. Однако более точные результаты могут быть

получены при моделировании мощности потерь для изоляции ВЛ различных классов напряжения, что не составляет каких либо принципиальных трудностей. Хотелось бы отметить, что для полноты оценки потерь электроэнергии из-за токов утечки необходимо учитывать и диэлектрические потери, хотя мощность этих потерь значительно ниже мощности потерь из-за токов проводимости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Железко, Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.
2. Мерхалев, С.Д. Изоляция линий и подстанций в районах с загрязненной атмосферой / С.Д. Мерхалев, Е.А. Соломоник. – М.: Энергия, 1973. – 160 с.
3. Правила устройства электроустановок: Раздел 1. Общие правила. Гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9: Раздел 7. Электрооборудование специальных электроустановок. Гл. 7.5, 7.6, 7.10: 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 184 с.

4. Орлова, Н.И. О коэффициенте распределенности опасных метеоявлений вдоль трасс ВЛ, проходящих в районах с различными природными условиями / Н.И. Орлова, А.М. Ментюкова // Повышение надежности работы изоляции линий и электрооборудования высокого напряжения: Тезисы докл. респ. науч.-техн. конф. – Ташкент: 1986. – С. 31-37.
5. Руцкий, В.М. Совершенствование методов проектирования и эксплуатации изоляции наружных электроустановок систем электропитания железных дорог: Диссертация д-ра технич. наук: 13.05. 2005/ Екатеринбург: 2004. – 373 с.
6. Руцкий, В.М. Математическое моделирование электрических характеристик изоляции наружных электроустановок систем электропитания железных дорог. – Самара: СамГАПС, 2004. – 172 с.

## **CALCULATION OF ELECTRIC POWER LOSSES IN ELECTRIC NETWORKS BECAUSE OF LEAKAGE CURRENTS**

© 2010 V.M. Rutsky, S.V. Korkina, A.A. Komolov

Samara State Transport University

Paper is devoted to the developed specified design procedure of electric power losses in electric networks because of leakage currents in insulation.

Key words: *electric power losses, electric networks, leakage currents, insulation*

---

*Vladimir Rutskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Municipal Passenger Transport.*

*E-mail: ruckiyvm@mail.ru*

*Svetlana Korkina, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor at the Department of Municipal Passenger Transport*

*Alexander Komolov, Graduate Student. E-mail: komsas@ya.ru*