

А.Е. Орлович, проф., канд. техн. наук, А.И. Котыш, доц., канд. техн. наук,
О.В. Спивак

Кировоградский национальный технический университет

Определение параметров микроклимата в комплектных распределительных устройствах наружной установки для предотвращения аварийности их работы

В статье произведены теоретические исследования условий работы комплектных распределительных устройствах наружной установки, а также параметров микроклимата в них. Определены оптимальные условия работы автоматизированного обогрева.

комплектное распределительное устройство, микроклимат, обогрев, температура, влажность

В системах приема и распределения электроэнергии для сельскохозяйственных потребителей важное место занимают распределительные устройства. В современных сельских электрических сетях напряжением 6-10 кВ преимущественное распространение получили комплектные распределительные устройства наружной установки (КРУН), применяемые в составе трансформаторных подстанций 35/6-10 кВ, 110-150/6-10 кВ типов (К-59, К-69, КРЗ-10, КРПЗ-10, КРЗД-10). Отказ от строительства зданий, в которых размещались закрытые распределительные устройства (ЗРУ) и переход на применение шкафов стационарно установленным оборудованием обеспечили большой экономический эффект за счет значительного сокращения объема строительных работ. Однако электрооборудование КРУН оказалось менее защищенным от воздействия окружающей среды, чем в ЗРУ. Основной причиной аварий в КРУН являются перекрытия загрязненных изоляторов при их увлажнении, которые в общем числе отказов составляют 30-70 % [1,2].

Действенным средством обеспечения нормальной эксплуатации изоляторов КРУН может служить регулирование микроклимата в шкафах. Однако отсутствие в большинстве КРУН устройств автоматизированного обогрева вызывает повышенный

© А.Е. Орлович, А.И. Котыш, О.В. Спивак, 2010

расход электроэнергии (мощность нагревательных элементов в шкафу 1 кВт) [3]. Существующие же в настоящее время устройства автоматизированного обогрева недостаточно экономичны и не во всех случаях предотвращают увлажнения изоляторов [4].

Обогрев шкафов КРУН, так же как и чистка изоляторов, является традиционным средством предотвращения перекрытий. Увлажнению изоляторов способствует недостаточная герметичность мест крепления проходных изоляторов наружной установки, наличие проемов в нижней части шкафов и установка их над кабельным каналом, где скапливается влага, проникновение влаги через щели в крыше, стенах шкафов, нарушение герметичности из-за старения резиновых уплотнений и т.д. При включении нагревательных элементов относительная влажность в КРУН снижается. Управление нагревательными элементами производится вручную или устройствами автоматического регулирования микроклимата.

При оперативном управлении режимом работы системы обогрева КРУН, а также для моделирования способов управления автоматизированным обогревом на ПК

необходимо иметь зависимости параметров микроклимата, а именно температуры воздуха в ячейке

$$t_B = t_1(\tau). \quad (1)$$

Поэтому целью данной работы является поиск теоретическим путем зависимости (1).

Уравнение теплового баланса КРУН имеет вид

$$Q_p + Q_{нэ} + Q_{тч} - Q_{ст} - Q_B = 0, \quad (2)$$

где Q_p - количество тепла, получаемое КРУН вследствие солнечной радиации;

$Q_{нэ}$ - количество тепла, выделяемое нагревательными элементами;

$Q_{тч}$ - количество тепла, выделяемое токоведущими частями;

$Q_{ст}$ - количество тепла, теряемого через стенки КРУН;

Q_B - количество тепла, теряемое через щели и отверстия.

Тепловой баланс изолятора, находящегося в КРУН включает теплообмен с окружающим воздухом, стенками шкафа и электрооборудованием, теплообмен с металлическими опорами, скрытую теплоту конденсации водяного пара, тепловыделения за счет тока утечки находящегося под напряжением изолятора и т.д.

Анализ возможных практических ситуаций выпадения росы на изоляции КРУН показывает, что можно пренебречь рядом второстепенных факторов и тем самым значительно упростить ход решения поставленных задач. В частности, можно ввести следующие допущения: $Q_p = 0$, что справедливо для ночных и утренних часов, когда наиболее вероятно выпадение росы.

$Q_{тч} = 0$, т.к. ток нагрузки в ночные и утренние часы не вызывает сколько-нибудь заметные тепловыделения, наиболее характерно это для сельскохозяйственных сетей. Теплоотдачей на землю по сравнению с теплоотдачей в атмосферу можно пренебречь.

Таким образом, уравнение теплового баланса КРУН с учетом допущений (2) имеет вид

$$Q_{нэ} - Q_{ст} - Q_B = 0.$$

Теплопотери через стенки шкафа КРУН определяются как

$$Q_{ст} = KF_{\vartheta} \Delta t, \quad (3)$$

где K - коэффициент теплопередачи, определяемый в соответствии с выражением

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\Delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_H}},$$

α_B и α_H - соответственно коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности стен;

$\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности стенок;

Δ - толщина стенки;

F_{ϑ} - эквивалентная площадь поверхности шкафа,

$$F_{\vartheta} = \frac{F}{n_u},$$

F - площадь секции КРУН;

n_u - количество шкафов в секции;

Δt - разность температур воздуха внутри шкафа КРУН t_{BB} и снаружи t_n .

Теплопотери через щели и отверстия шкафа КРУН определяются как [5]

$$Q_B = B_B V_{ш} C_p \rho \Delta t, \quad (4)$$

где B_B - кратность воздухообмена;

$V_{ш}$ - объем шкафа КРУН;

C_p - удельная теплоемкость воздуха.

Скорость изменения температуры воздуха в объеме шкафа пропорциональна количеству тепла теряемого через стенки, путем фильтрации и для случая, когда нагревательные элементы отключены, может быть описана следующим выражением

$$C_p \rho V_{ш} \frac{dt_{BB}}{d\tau} = -[RF_o(t_{ес} - t_{сн}) + B_e V_{ш} C_p \rho (t_{BB} - t_{сн})]$$

или
$$\frac{dt_{BB}}{d\tau} + \frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} t_{BB} = \frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} t_{сн}, \quad (5)$$

где $Z = KF_o + B_e V_{ш} C_p \rho$.

Уравнение (5) представляет собой дифференциальное линейное уравнение первого порядка, общее решение которого может быть представлено в виде

$$Y = \frac{B_1}{a_1} + C_1 e^{-a_1 \tau},$$

$$a_1 = \frac{Z}{C_p \rho V_{ш}}, \quad B_1 = \frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} t_{сн},$$

то есть
$$t_{BB} = t_{сн} + C'' e^{-\frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} \tau}. \quad (6)$$

При $\tau = 0$ температура воздуха в шкафу КРУН равна начальной температуре, $t_{вв} = t_{вн}$. При этих условиях $C'' = t_{сн} - t_{вн}$ и частное решение уравнения (6) имеет следующий вид

$$t_{BB} = t_{сн} + (t_{вн} - t_{сн}) e^{-\frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} \tau}. \quad (7)$$

При работе нагревательных элементов можно записать

$$\frac{dt_{BB}}{d\tau} + \frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} t_{BB} = \frac{Q_{HЭ}}{C_p \rho V_{ш}} + \frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} t_{сн}. \quad (8)$$

Общее решение уравнения (8) имеет вид

$$t_{BB} = \frac{Q_{HЭ} + Z t_{сн}}{C_p \rho V_{ш}} + C''' e^{-\frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} \tau}.$$

При $\tau = 0$, $t_{вн} = t_{BB}$, тогда $C''' = t_{вн} - t_{сн} - \frac{Q_{HЭ}}{Z}$.

Частное решение уравнения (8) будет выглядеть таким образом:

$$t = t_{сн} + (t_{вн} - t_{сн}) e^{-\frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} \tau} + \frac{Q_{HЭ}}{Z} (1 - e^{-\frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} \tau}). \quad (9)$$

Для решения задач оперативного управления режимом работы системы обогрева КРУН в формуле (9), с целью ее упрощения, можно принять $t_{сн} = t_{вн}$. Тогда уравнение (9) преобразуется в следующее

$$t_{BB} = t_{вн} + \frac{Q_{HЭ}}{Z} (1 - e^{-\frac{Z}{C_p \rho V_{ш}} \tau}). \quad (10)$$

Анализ выражений (9, 10) показал, что исключение из выражения (9) второго члена приводит к погрешности определения t_{BB} не превышающей 1,5 % (в диапазоне изменения 0...15°C), увеличивая τ_0 , что в конечном итоге повышает надежность предотвращения росы.

Таким образом, полученная зависимость, определяющая режим работы системы обогрева КРУН пригодна для программно-аппаратной реализации предложенного способа и может быть использована при настройке устройств контроля микроклимата в КРУН.

Список литературы

1. Калинин Е.В., Дьячков В.С., Млынчик И.С. Характеристики изоляции КРУН при повышенной влажности //Электрические станции. – 1973. - №9.– С. 51-56.
2. Млынчик И.С. Повышение надежности комплектных распредустройств наружной установки // Электрические станции. – 1987. - №4. –С. 55-59.
3. Дорошев К.И. Комплектные распределительные устройства 6-35 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 376 С.
4. Будзко И.А., Селивахин А.И., Орлович А.Е., Винаров А.З., Козырев И.Н. Контроль увлажнения элементов конструкции КРУН для повышения их надежной работы //Доклады ВАСХНИЛ. – 1986. №10. – С. 38-40.
5. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ.М: Атомиздат, 1979. – 212 С.

А.Орлович, А.Котыш, О.Спивак

Визначення параметрів мікроклімату в комплектних розподільних пристроях зовнішньої установки для запобігання аварійності їх роботи

В статті проведені теоретичні дослідження умов роботи комплектних розподільних пристроїв зовнішньої установки, а також параметрів мікроклімату в них. Були визначені оптимальні умови роботи автоматизованого обігріву.

A.Orlovich, A. Kotysh, O. Spivak

Determination of parameters of microclimate in the complete distributive devices of outward fluidizer prevention of accident rate of their work

In the article theoretical researches of terms of work are produced complete distributive devices of the outward setting, and also parameters of microclimate in them. The optimum terms of work of the automated heating are definite.

Одержано 26.11.09