

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЯ В ВАКУУМНЫХ КОТЛАХ

А.Г. Михеев

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

В предлагаемой работе рассмотрены вопросы оптимизации режимов сушки бумажной изоляции в вакуумных котлах. Даны общие теоретические положения и на их основе предложен вариант интенсификации этого процесса. Полученный алгоритм управления доведен до технической реализации с использованием типовых устройств.

Ключевые слова: сушка, бумажная изоляция, оптимизация, квазиоптимальное управление, реализация.

Перед наложением защитных оболочек на кабель ТГ, ТБ его сердечник поступает на предварительную сушку в вакуумных котлах. По длительности и энергоемкости это одна из основных технологических операций. Поэтому целесообразность оптимизации этой операции не вызывает сомнения. В качестве критерия оптимизации выбираем длительность сушки, т. е. фактор быстродействия, и величину расхода энергии в процессе сушки на единицу длины этого сердечника. Прикладное решение таких задач связано с выполнением следующих работ:

- исследование и анализ существующей технологии сушки кабельного сердечника;
- разработка алгоритма управления процессом сушки, обеспечивающего реализацию его интенсификации;
- исследование предельных возможностей интенсификации всего процесса сушки с учетом действующих ограничений.

Анализ и исследование существующей технологии сушки бумажной изоляции сердечников кабелей ТГ, ТБ может быть выполнен теоретически, на основе общих уравнений теплообмена, и экспериментально, по кривым кинетики сушки. Для высокотемпературных процессов сушки влажных материалов общее уравнение переноса тепла и влаги имеет вид:

$$\bar{q} = -\lambda_s \nabla t + h \bar{j}; \quad (1)$$

$$\bar{j} = -a_{ж} \rho_0 \nabla U - \delta \rho_0 \nabla t - \lambda_p \nabla p, \quad (2)$$

где \bar{q}, \bar{j} – векторы плотности потоков тепла и массы вещества;

λ_s, h – эквивалентный коэффициент теплопроводности и энтальпия материала;

$a_{ж}$ – коэффициент диффузии жидкости во влажном теле;

δ – относительный коэффициент термодиффузии;

ρ_0 – масса абсолютно сухой изоляции в единице объема влажного материала;

λ_p – коэффициент молекулярного переноса пара;

$\nabla t, \nabla U, \nabla p$ – градиенты температуры, влагосодержания и парциального давления пара внутри изоляции соответственно.

Качественный анализ уравнения (1) показывает, что для интенсификации влаго-

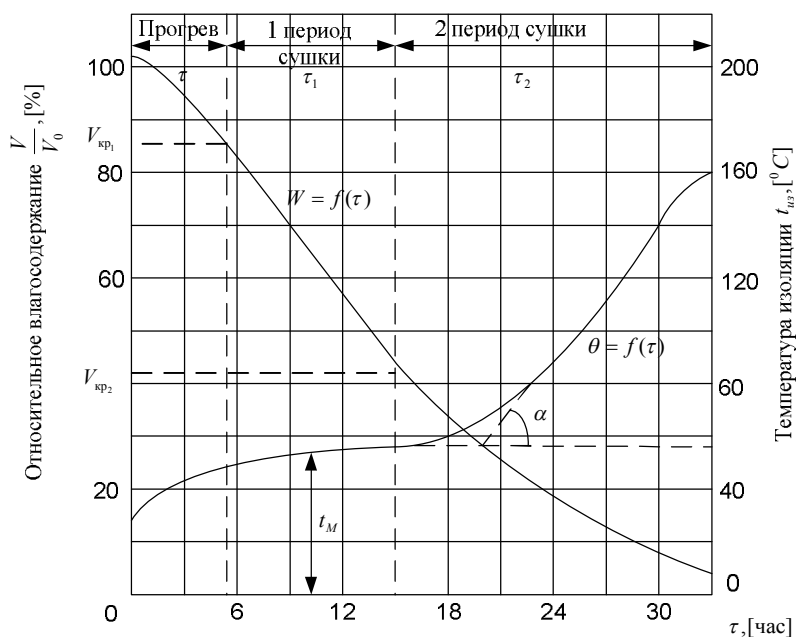
переноса необходимо, чтобы общий поток тепла, получаемый бумажной изоляцией, затрачивался бы только на удаление из нее влаги. В реальном процессе сушки это наблюдается в период парообразования, когда скорость сушки максимальна, а температура изоляции сохраняется неизменной. Этому периоду сушки предшествует период нагрева кабельного сердечника до температуры парообразования. Если основной поток тепла в процессе сушки обычно создается нагревом жил самого кабельного сердечника, пропуская через них постоянного тока, то в начальной фазе сушки предварительный прогрев изоляции осуществляется паром, расход которого обычно не регулируется, а необходимая температура гарантируется длительностью времени выдержки этого сердечника в котле. Поэтому, говоря об управлении процессом сушки кабельного сердечника, будем иметь в виду только те интервалы этого процесса, когда скорость сушки регулируется изменением тока нагрева жил. Обычно это период постоянной скорости сушки и период падающей скорости, когда в соответствии с уравнением (2) общий поток влаги определяется наличием в изоляции градиентов влагосодержания, температуры и общего парциального давления. Величина и знак этого давления и всех других градиентов определяются потоком тепла, получаемого б/м изоляцией от медных жил в процессе их нагрева от управляемого источника постоянного тока. Особенно велика роль градиентов при сушке сравнительно толстых материалов. В работах В.В. Красникова показано, что при сушке целлюлозы и изделий из нее в качестве критерия толщины материала можно использовать не его абсолютные геометрические размеры, а соотношение между коэффициентом молекулярно-молярного переноса пара и коэффициентом диффузионного переноса влаги. Если в материале преобладает молекулярно-молярный перенос влаги, то речь идет о тонком материале. Это обычно имеет место при удельной массе изделий из целлюлозы до $0,3 \text{ кг} / \text{м}^3$. В нашем случае для бумажной изоляции кабельного сердечника она составляет $0,2 \text{ кг} / \text{м}^3$, поэтому ее сушку можно классифицировать как кондуктивную сушку «тонкого» тела. Следовательно, вместо полей температуры и влагосодержания этой изоляции допустимо рассматривать их среднее по объему или интегральное значение, а в уравнении (2) роль градиентов температуры, влагосодержания и давления будет выполнять разница между соответствующими параметрами изоляции и окружающей среды. Принимая это во внимание, рассмотрим экспериментальные кривые кинетики сушки, полученные для интегральных значений температуры и влагосодержания бумажной изоляции в процессе ее сушки. Их общий вид показан на рисунке. Там же выделены основные периоды этого процесса:

- период предварительного прогрева изоляции в вакуумном котле только за счет парового обогрева самого котла;
- основной период сушки и нагрева за счет тока, пропускаемого через жилы кабельного сердечника;
- завершающий период сушки при максимальной температуре изоляции на уровне 100-120 °С.

По длительности каждый из перечисленных периодов соответственно составил 15%, 40% и 45% от общего времени сушки, лежащего в пределах от 22 до 24 часов. Такое значительное время сушки обусловлено наихудшими ее условиями, когда кабельный сердечник имеет значительную начальную влажность. Отсутствие автоматизации этого процесса заставляет заведомо увеличивать время сушки, чтобы независимо от начальных условий гарантировать полное удаление влаги из изоляции. Очевидно, что при регулировании этого процесса мы можем сократить общее время сушки индивидуально для каждого типа кабеля в отдельности, особенно при объек-

тивной регистрации момента окончания всего процесса сушки, например, при достижении необходимого уровня сопротивления изоляции, а следовательно, и ее влажности.

Решая теперь задачу интенсификации всего процесса сушки, остановимся на возможности сокращения каждого из выделенных периодов сушки. С этой точки зрения наибольший интерес представляют второй и третий периоды сушки, когда имеется возможность управления всем процессом сушки воздействием на величину тока нагрева жил кабельного сердечника. Длительность второго периода значительна и доходит до 10 часов. Ее сокращение связано с увеличением плотности потоков тепла, создаваемых источником нагрева. Это увеличение возможно при возрастании температуры сушки, которая, в свою очередь, не должна превышать допустимого предела на уровне 120 °С. Для уточнения пределов интенсификации этого периода сушки в лабораторных условиях были сняты кривые кинетики сушки для образцов кабельного сердечника при различной плотности потоков тепла или тока, протекающего через медные жилы. В результате таких испытаний были получены кривые $\theta_1 = f(\tau)$ и $W_1 = f(\tau)$ кинетики при плотности тока 4 А/мм² и кривые кинетики $\theta_2 = f(\tau)$ и $W_2 = f(\tau)$ при плотности тока 4,5 А/мм².



Кривые кинетики сушки бумажной изоляции кабеля

Анализ данных кривых показал, что интенсификация процесса сушки возможна, а изменение начальной влажности лишь незначительно меняет скорость нагрева б/м изоляции. Яркого выраженного периода постоянной скорости сушки, когда температура изоляции сохраняется постоянной, в данных условиях нет. Поэтому при интенсивных процессах сушки должна постоянно контролироваться температура изоляции и по мере ее возрастания ток нагрева жил необходимо снижать. С этой задачей успешно справится обычная система стабилизации температуры, но для ее нормального функционирования она должна управлять током нагрева по датчику этой температуры, который расположен в наиболее опасных точках барабана или корзины с

кабельным сердечником, где изоляция всегда имеет максимальную температуру относительно остальных ее участков.

Для выявления места положения таких критических точек в корзину с кабельным сердечником были помещены шесть термопар и затем проводилась сушка этого кабеля по обычной технологии. Схема размещения термопар предусматривала их радиальное положение по виткам в общей корзине по всему объему изоляции. В конце сушки температура выравнивается, а на основном участке нагрева наиболее высокие температуры наблюдаются в точках 1 и 4, расположенных на внутренней поверхности корзины, где наиболее худшие условия теплообмена с внешней средой. В указанные места и рекомендуется установка датчиков температуры для САУ процессом нагрева кабельного сердечника. Переходя теперь к интенсификации второго периода сушки, необходимо отметить, что она возможна только за счет увеличения глубины вакуума, т. е. градиента давления, а также за счет сокращения общей продолжительности этого периода при своевременной сигнализации о моменте окончания всего процесса сушки. Для решения этой задачи достаточно воспользоваться контролем над сопротивлением изоляции кабельного сердечника в процессе его сушки и при достижении величины предельных значений можно процесс сушки завершить.

Таким образом, проведенный анализ позволяет предложить следующий алгоритм управления всем процессом сушки в целом. При температуре изоляции ниже 120 °С ее нагрев ведут при максимально возможной плотности тока, затем, после достижения критической температуры в наиболее опасной точке, система должна изменить структуру и перейти на режим стабилизации этой температуры по П, ПИ или ПИД закону регулирования. В результате общая блок-схема системы управления по этому алгоритму будет содержать два контура управления. Один из них обеспечивает управление процессом нагрева бумажной изоляции, а второй вырабатывает сигнал, обеспечивающий отключение кабельного сердечника от источника тока с одновременной сигнализацией оператору об окончании процесса сушки. Техническая реализация такой системы может быть полностью выполнена с использованием типовых устройств системы ГСП или промышленных контроллеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красников В.В. Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. – 288 с.

Статья поступила в редакцию 14 апреля 2011 г.

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF PAPER CABLE INSULATION DRYING IN VACUUM BOILERS

A.G. Mikheev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The paper deals with the problems of drying conditions optimization of paper covering in vacuum boilers. General theoretical propositions of drying are given and on their basis the version of intensification of the process is introduced. The derived algorithm of control is brought to technical implementation using the standard equipment.

Keywords: *drying, paper covering, optimization, quasioptimal control, implementation.*

Alexander G. Mikheev – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.