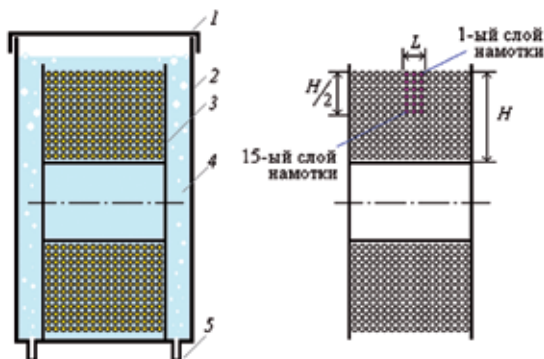


Ускорение теплообмена при технологической обработке намотанных полуфабрикатов кабельного производства

В настоящее время широкое распространение получили кабели со сшитой полиэтиленовой изоляцией. [1,2]. В ходе технологического процесса сшивки производится термическая обработка изделий. Например, силановая сшивка полиэтиленовой изоляции производится в аппарате, куда помещается барабан с намотанной на него изолированной токопроводящей жилой (рис. 1). Температура воды поддерживается на уровне 90°C за счет пропускания через нее пара. Сшивка происходит в результате взаимодействия силановых групп с водой, которая проникает в изоляцию.

Рис. 1. Аппарат для сшивки полиэтиленовой изоляции силаном: 1 — крышка, 2 — бак, 3 — барабан с кабелем, 4 — вода, 5 — подача пара



Скорость технологического процесса сшивки зависит от температуры, чем быстрее будет разогрет барабан с изолированной токопроводящей жилой, тем быстрее начнется сшивка.

Моделирование температурного поля при нагреве изолированной жилы, намотанной на барабан, осуществлялось с помощью пакета прикладных программ ANSYS. На рис. 1 выделен фрагмент (длиной L и глубиной $H/2$), для которого рассчитывалось температурное поле. Тепловой поток, который разогревает витки, идет сверху и снизу, поэтому наиболее удаленными являются витки находящимися на глубине $H/2$. В силу симметрии на этом расстоянии в качестве граничного условия устанавливалась адиабата, также не учитывался тепловой поток, идущий справа и слева выделенного элемента.

Решалась двумерная нестационарная задача:

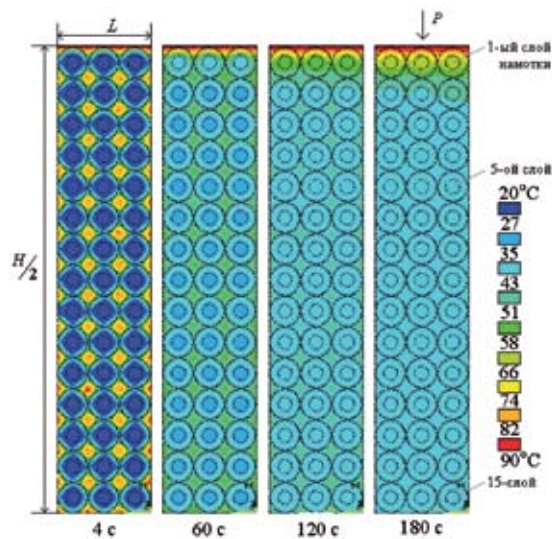
$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right),$$

где ρ — плотность, C_p — теплоемкость и λ — теплопроводность.

Граничные условия на поверхности изоляции задавались первого рода: в начальный момент времени вода с температурой 90°C затекает между витками.

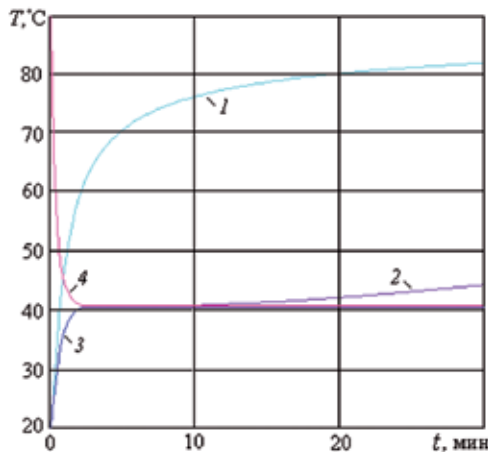
На рис. 2 показано изменение температурного поля в витках изолированного провода. Через 4 с после того, как вода проникла между витками кабеля, температура жилы не изменилась. По истечении 180 с произошло выравнивание температуры между изолированными жилами и водой, находящейся между витками. Дальнейший разогрев происходит за счет теплового потока P , идущего с наружной поверхности намотки.

Рис. 2. Температурное поле во время сшивки полиэтилена силаном через 4, 60, 120 и 180 секунд после помещения в воду с температурой 90°C



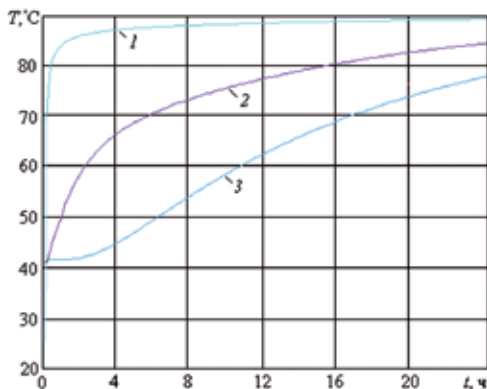
На рис. 3 представлено изменение температуры в различных слоях намотки за первые 30 мин нагрева, за это время первый слой нагревается до 80°C, пятый — до 44°C. Температура слоя, расположенного в центре намотки (15-ый слой), после нагрева водой, находящейся в межвитковом пространстве до 40°C, не изменилась.

Рис. 3. Зависимость температуры токопроводящей жилы от времени для различных слоев на барабане во время сшивки полиэтиленовой изоляции в первые 30 мин: 1 — первый слой; 2 — пятый слой; 3 — пятнадцатый; 4 — температура воды между витками в центральном слое



На рис. 4 представлено изменение температуры в различных слоях намотки в течение 24 часов нагрева. Существующий технологический режим предполагает производить сшивку изоляции в течение 12 часов в воде при температуре 90°C. На рис. 4 видно, что за это время наиболее удаленные витки (15-ый слой), нагреваются только до 62°C. Такой слабый прогрев витков изолированного провода обусловлен тем, что тепловой поток идет с наружной поверхности намотки и нет поступления воды в межвитковое пространство, т.е. отсутствует конвекция.

Рис. 4. Зависимость температуры токопроводящей жилы от времени для различных слоев на барабане во время сшивки полиэтиленовой изоляции в течение 24 часов; 1 — первый слой; 2 — пятый слой; 3 — пятнадцатый; 4 — температура воды между витками в центральном слое

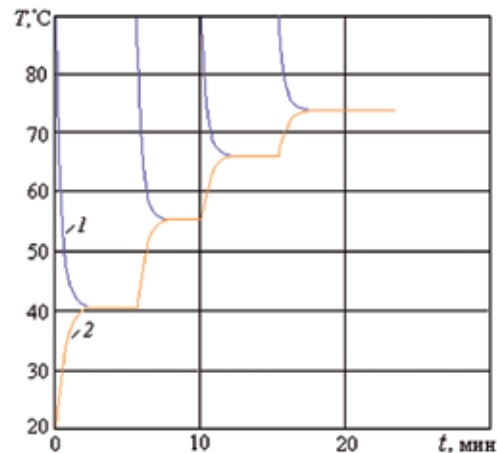


Есть два пути увеличения скорости разогрева: 1) для ускорения нагрева кабеля водой необходимо производить принудительную смену воды в межвитковом пространстве путем периодического подъема и опускания барабана.

2) применять не воду, а пар, который, проникая между витками, конденсируется, освобождая место для новой порции пара.

На рис. 5 представлено изменение температуры жилы при периодическом подъеме и опускании в воду барабана с изолированной жилой каждые 5 мин.

Рис. 5. Изменение температуры токопроводящей жилы в центральном слое (15-ый) при подъеме и опускании барабана каждые 5 мин: 1 — вода; 2 — жила



На рис. 5 видно, что с каждым новым подъемом и опусканием барабана в воду, интенсивность процесса замедляется. Наиболее кардинальным средством быстрого нагрева изолированной жилы следует считать принудительную циркуляцию воды в межвитковом пространстве, для чего требуется рыхлая намотка витков.

Литература

1. Г.И. Мещанов, Ю.Ю. Образцов, И.Б. Пешков, М.Ю. Шувалов. Силовые кабели на напряжения 10-500 кВ. — М.: «Кабели и провода», 2, 2006. С. 18-24.
2. А. Мендельсон, М.У., Аармс. Мировой опыт применения изоляции триингстойкого сшитого полиэтилена для кабелей среднего напряжения с длительным сроком эксплуатации. — М.: «Кабели и провода», 2, 2005. С. 23-29.

Л.А. Ковригин, д.т.н.

Пермский государственный технический университет
Кафедра «Конструирования и технологии электрической изоляции»