

УДК 681.5:621.315

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ ПОЛИМЕРНОЙ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ЕЁ НАЛОЖЕНИИ НА ЭКСТРУЗИОННОЙ ЛИНИИ¹

Ю.В. Митрошин

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

Разработана система оптимального программного управления охлаждением полимерной изоляции в водяных ваннах экструзионной линии с граничными управляющими воздействиями. В процессе изготовления проводных кабелей связи в условиях заданных ограничений система обеспечивает достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры изоляции в ванне минимальной длины.

Ключевые слова: *наложение кабельной изоляции, ванны охлаждения, оптимальное управление.*

При наложении полимерной изоляции на экструзионных линиях в процессе производства проводных кабелей связи охлаждение изоляции осуществляется в нескольких водяных ваннах, имеющих общую длину порядка 15 метров. При этом температура охлаждения последовательно уменьшается от максимальной до температуры проточной воды. Охлаждение может быть закончено, когда температура изоляции во всём её сечении на выходе последней ванны не превышает 45 ± 5 °С, что исключает деформацию изоляции при намотке кабельной жилы на приёмное устройство [1].

С учетом изменения типоразмеров изготавливаемых на линии кабелей и режимов работы технологического оборудования, таких как скорость изолирования, обороты шнека экструдера и других, постоянно возникает необходимость выбора режимов охлаждения накладываемой изоляции. Задача проектирования участка охлаждения экструзионных линий решается технологами эмпирически на основе существующего опыта.

Намного эффективнее следующий подход. На основе полученной математической модели объекта управления с распределёнными параметрами – температурного поля изолированной кабельной жилы на участке охлаждения [2] были разработаны алгоритм и система оптимального программного управления охлаждением полимерной кабельной изоляции при её наложении на экструзионной линии [3]. Задача оптимального управления решена в следующей постановке. Найдено оптимальное управление – пространственное распределение температуры охлаждающей среды, обеспечивающее в условиях имеющихся ограничений достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры охлаждаемой изоляции изолированной жилы по радиусу кабеля в ванне минимальной длины.

Система управления охлаждением накладываемой кабельной изоляции син-

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 15-08-04209-а)

Юрий Владимирович Митрошин, аспирант.

тезирована с учетом фазового ограничения на максимум радиального температурного градиента в изоляции, превышение которого приводит к возникновению в изоляции внутренних напряжений и её последующему растрескиванию [4].

При условии технической реализуемости алгоритма оптимального управления с учетом фазового ограничения на предельную величину температурного градиента в изоляции оптимальное управление охлаждением кабельной жилы для одно- и двухинтервального управления с граничными управляющими воздействиями имеет вид, приведенный на рис. 1.

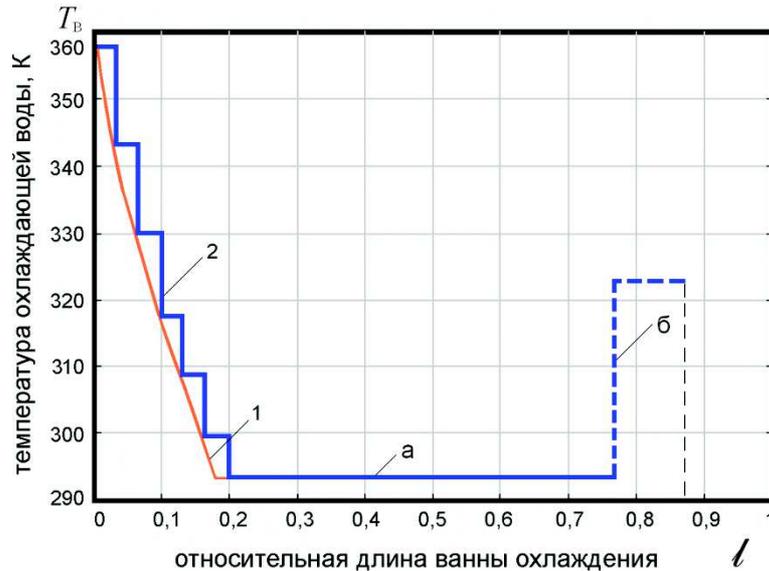


Рис. 1. Оптимальное (1) и технически реализуемое (2) программное управление охлаждением кабельной жилы с учетом фазовых ограничений для одно- (а) и двухинтервального (б) управления

Как видно из рис. 1, начальный участок оптимального охлаждения (кривая 1) является практически нереализуемым из-за технической невозможности обеспечить требуемое граничное управление.

По технико-экономическим соображениям для обеспечения фазового ограничения на начальном участке охлаждения и максимального приближения технически реализуемого алгоритма граничного управления к оптимальному весь участок водяного охлаждения выполнен в виде секционированных ванн длиной $\Delta L = 0,5$ м, как показано на рис. 2. Секционирование ванн в конце участка водяного охлаждения вызвано необходимостью реализации двухинтервального управления (б). Температура воды в секционированных ваннах охлаждения устанавливается в соответствии с рассчитанным алгоритмом оптимального программного управления {кривая (а) на рис. 1} и контролируется погружными датчиками температуры MBT153 (компании Danfoss A/S), а температура изоляции на выходе ванн охлаждения – бесконтактным датчиком температуры TW2000 (компании IFM Electronic GmbH). Измерение диаметра изолированной жилы осуществляется бесконтактным датчиком диаметра LG1010 фирмы Beta.

Приведенное на рис. 1 программное управление охлаждением кабельной жилы с учетом фазовых ограничений с граничными управляющими воздействиями получено без учета усадки кабельной изоляции при её охлаждении. Поэтому для оценки корректности такого допущения необходимо оценить величину усадки.

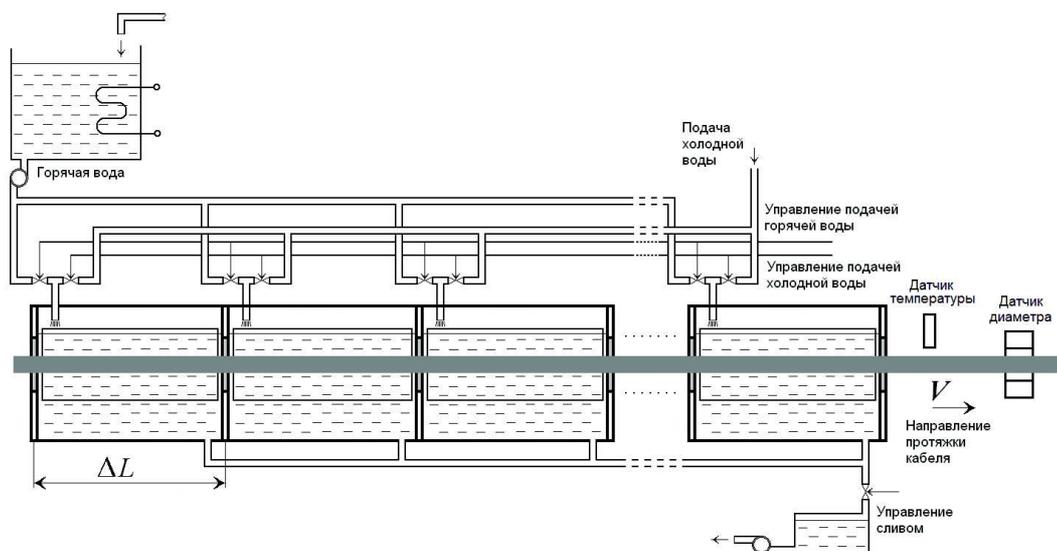


Рис. 2. Техническая реализация участка охлаждения

Это предлагается сделать следующим образом. Из закона сохранения массы наложенной кабельной изоляции можно легко получить выражение, связывающее диаметр изолированной жилы до участка охлаждения (после выхода из кабельной головки) $D_{изГ}$ и диаметр жилы на полностью сформировавшейся изоляции (после охлаждающих ванн) $D_{изВ}$:

$$D_{изГ} = \sqrt{d^2 + \rho_B \cdot \frac{(D_{изВ}^2 - d^2)}{\rho_G}}, \quad (1)$$

где d – диаметр медного проводника; ρ_G – плотность полимера при температуре его выхода из кабельной головки (160 °С); ρ_B – плотность полимера при температуре выхода из ванны охлаждения (45 °С).

Зависимость плотности применяемого для изолирования кабелей связи полиэтилена марки 153-01 от температуры приведена на рис. 3 [5].

Расчет производился для изолированной жилы диаметром $D_{изВ} = 4$ мм с медным проводником диаметром $d = 1,4$ мм. При этом плотность полимера на выходе из головки $\rho_G = 810 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а на выходе из ванны охлаждения $\rho_B = 905 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

В соответствии с (1) получаем $D_{изГ} = 4,2$ мм. Таким образом, величина усадки полимерной изоляции на участке охлаждения 15 метров составляет 0,2 мм, или 4,8 %.

Полученный результат позволяет подтвердить справедливость сделанного ранее допущения о незначительном влиянии усадки кабельной изоляции при её наложении на экструзионной линии на температурное поле в изоляции.

Предложенная конструкция участка охлаждения позволяет осуществлять быструю перенастройку системы при переходе на новую продукцию либо при значительной смене режимов работы оборудования.

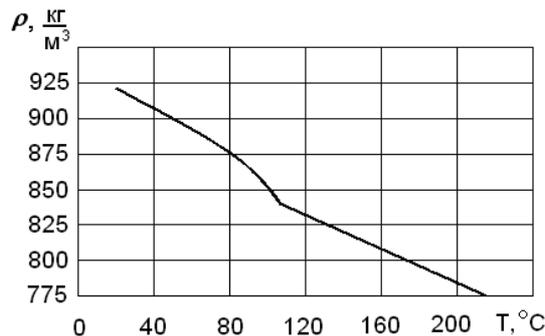


Рис. 3. Зависимость плотности полиэтилена марки 153-01 от температуры

Разработанная система оптимального программного управления охлаждением полимерной изоляции обеспечивает в процессе изготовления проводных кабелей связи в условиях заданных ограничений достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры изоляции в ванне минимальной длины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зиннатуллин Р.Р., Труфанова Н.М., Шилинг А.А.* Исследование процессов теплопереноса и фазовых превращений при охлаждении провода с полимерной изоляцией // V Минский международный форум по тепло- и массообмену. Тезисы докладов и сообщений. Т. 2. 24-28 мая 2004 г. – Минск, 2004. – С. 130-131.
2. *Митрошин В.Н.* Структурное моделирование процесса охлаждения изолированной кабельной жилы при ее изготовлении на экструзионной линии // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2006. – Вып. 40. – С. 22-33.
3. *Митрошин В.Н., Лойко А.Ю., Митрошин Ю.В.* Система оптимального программного управления процессом охлаждения полимерной кабельной изоляции как объектом с распределенными параметрами // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2009. № 1(23). – С. 47-53.
4. *Карякин Н.Г., Фурсов П.В.* Расчет возможности образований воздушных включений в пластмассовой изоляции кабеля при охлаждении // Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника. – 1977. – № 5. – С. 8-11.
5. Полиэтилен. Справочное руководство / Под ред. М.И. Гарбара. – Л.: Госхимиздат, 1955.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2015 г.

OPTIMAL COOLING SYSTEM OF POLYMER CABLE INSULATION AT EXTRUSION LINE

Y.V. Mitroshin

Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation

The system of optimal programmed control of polymeric insulation cooling in extrusion line water baths with boundary control actions is developed. In a communication cables manufacturing process under specified restrictions the system provides required accuracy of final insulation temperature distribution in a bath of minimum length.

Keywords: cable insulation, cooling baths, optimal control.

Yuri V. Mitroshin, Postgraduate Student.