

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАНН ОХЛАЖДЕНИЯ ЭКСТРУЗИОННЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ¹

В.Н. Митрошин, Ю.В. Митрошин

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

Предложена методология оптимального проектирования водяных ванн и технологических режимов для охлаждения изготавливаемой на экструзионных линиях кабельной продукции, обеспечивающих гарантированное достижение точности заданных кондиций конечной продукции.

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

Отличительной особенностью экструзионных линий, на которых осуществляется изолирование токопроводящих жил кабелей связи, является наличие водяных ванн охлаждения, предназначенных для охлаждения расплавленной изоляции, накладываемой на медную жилу в формующем инструменте – кабельной головке экструдера. Температура расплавленной полиэтиленовой изоляции на выходе кабельной головки обычно составляет не менее 160 °С [1], а температура изоляции на выходе последней ванны охлаждения не должна превышать 50 °С, что исключает возможность дальнейшей кристаллизации полимера и, соответственно, деформацию изоляции при намотке кабельной жилы на приемное устройство [2]. На существующих экструзионных линиях, таких как ME-90 фирмы Mailefeg или MEL-550 компании NOKIA, длина участка охлаждения значительна и составляет 12÷15 м.

Так, участок охлаждения линии ME-90 состоит из трех ванн: первой длиной 2,64 м; участка воздушного охлаждения длиной 0,42 м; совмещенных второй и третьей ванн общей длиной 11,98 м. Общая длина участка водяного охлаждения составляет 13,75 м.

Обычно на одной и той же экструзионной линии могут изолироваться жилы кабелей разных типоразмеров, при этом будут существенно различаться и режимы работы технологического оборудования: скорость изолирования, обороты шнека, температура расплава полимера и т. д. Все это обуславливает необходимость определения индивидуальных для каждого вида изделия режимов охлаждения, которые могут перевести объект из начального состояния в требуемое конечное за некоторое предельное время.

На существующем оборудовании режимы охлаждения изоляции могут варьироваться путем изменения температуры воды в трех ваннах. При этом необходимо контролировать предельно допустимое значение радиального температурного гради-

¹ Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты 09-08-00297-а, 11-08-01171-а); АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект №2.1.2/4236) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» (госконтракт № П231 от 23 июня 2009 г.).

Владимир Николаевич Митрошин (д.т.н., доц.), зав. кафедрой, каф. автоматики и управления в технических системах.

Юрий Владимирович Митрошин, магистрант, каф. автоматики и управления в технических системах.

ента в изоляции, превышение которого вызывает «закалку изоляции» – возникновение в ней внутренних напряжений, которые в последующем непременно приводят к ее растрескиванию [3, 4].

Техническая реализация участка водяного охлаждения на существующих экструзионных линиях в виде трех ванн фиксированной длины не позволяет осуществлять эффективное управление процессом охлаждения наложенной полимерной изоляцией кабеля с учетом фазового ограничения на максимум радиального температурного градиента в изоляции.

Авторами предлагается метод решения задачи оптимального проектирования систем с распределенными параметрами (ванн охлаждения экструзионных линий для наложения кабельной изоляции), сводимый к поиску пространственного распределения управляющих воздействий в стационарном состоянии объекта управления.

Для эффективного охлаждения кабельной изоляции в процессе ее наложения необходимо спроектировать участок охлаждения, позволяющий легко реализовать нужный оптимальный режим охлаждения любого изготавливаемого на экструзионной линии типа кабеля.

Для этого, во-первых, получено математическое описание процесса охлаждения накладываемой кабельной изоляции в водяных ваннах экструзионных линий [5].

Во-вторых, решена задача оптимизации по выбранному критерию качества процесса охлаждения полимерной кабельной изоляции при ее наложении на экструзионной линии при управлении по пространственному распределению температуры воды в охлаждающих ваннах, обеспечивающему в условиях заданных ограничений достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры изоляции [6].

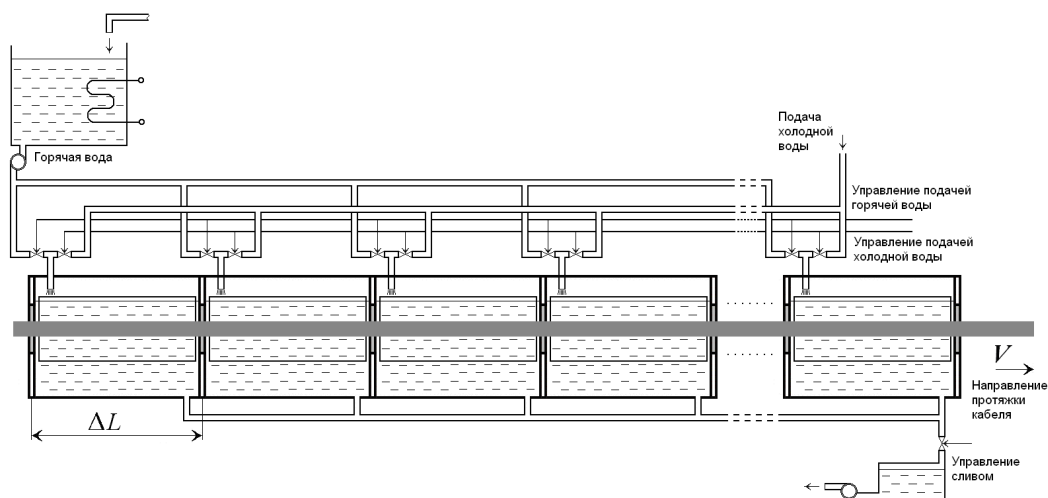
Задача оптимального управления рассматривается в следующей постановке. Необходимо найти такое пространственное температурное распределение охлаждающей среды, которое обеспечивает заданную точность распределения температуры охлаждаемой изолированной жилы по радиусу кабеля в ванне минимальной длины.

Под управляющим воздействием понимается стационарное температурное распределение по длине ванны. По существу, это принципиальное расширение задач на сферу проектирования агрегатов, решаемое методами теории оптимального управления.

В-третьих, на основе численного моделирования процесса охлаждения проведен анализ различных режимов охлаждения полимерной кабельной изоляции при ее наложении на экструзионной линии. Предложены алгоритмы и технические решения, обеспечивающие в условиях имеющихся ограничений достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры изоляции, дающие значительную экономию энергозатрат и позволяющие существенно уменьшить длину ванн охлаждения [7].

В-четвертых, предложена реализации системы управления технологическим процессом наложения кабельной изоляции в виде оптимальной системы программного управления по пространственному распределению температуры воды в охлаждающих ваннах, позволяющая осуществлять быструю перенастройку системы при переходе на новую продукцию либо при смене режимов работы оборудования [8].

В-пятых, осуществлено экономически и технически обоснованное решение по проектированию ванн охлаждения. Предлагается техническую реализацию участка водяного охлаждения выполнить в виде секционированных ванн охлаждения длиной $\Delta L = 0,5$ м, как показано на рисунке.



Техническая реализация участка охлаждения

Это позволит, с одной стороны, реализовать практически любой требуемый закон охлаждения изоляции, а с другой стороны – получить существенную экономию занимаемых площадей, уменьшение объема нагреваемой воды и экономию электроэнергии.

Предлагается следующая методология оптимального проектирования водяных ванн и технологических режимов для охлаждения изготавливаемой на экструзионных линиях кабельной продукции.

1. Для конкретного типа изготавливаемого кабеля и технологических параметров работы линии рассчитывается режим оптимального управления охлаждением кабельной жилы с учетом фазовых ограничений, обеспечивающий достижение заданной абсолютной точности ε_0 приближения результирующего радиального распределения температур в изоляции на выходе из ванны к требуемой величине.

2. В соответствии с рассчитанным алгоритмом оптимального программного управления охлаждением, обеспечивающим в условиях заданных ограничений достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры изоляции, выбирается необходимое число ванн охлаждения.

3. Для каждой зоны (ванны) охлаждения устанавливаются свое значение управляющего воздействия – температуры охлаждающей воды, рассчитанное в п. 1.

Предлагаемая методология оптимального проектирования водяных ванн и технологических режимов для охлаждения изготавливаемой на экструзионных линиях кабельной продукции позволяет практически реализовать новые методы создания инновационных энергосберегающих систем потребления тепла в технологических процессах изолирования проводных кабелей связи, обеспечивающих экономию энергозатрат не менее 5-10 %, повышение точности достижения заданных кондиций конечной продукции в 2 раза, уменьшение объема подогреваемой воды не менее чем в 2 раза, экономию производственных площадей до 10÷15 % по сравнению с типовыми техническими решениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Boysen R.L.* How to solve problems in the extrusion of cellular PE in coaxial cables. – Wire Journ., 1972, v.5, № 1, p. 51-56.
2. *Зиннатуллин Р.Р., Труфанова Н.М., Шилинг А.А.* Исследование процессов теплопереноса и фазовых превращений при охлаждении провода с полимерной изоляцией // V Минский междунар. форум по тепло- и массообмену. Тезисы докладов и сообщений. Т. 2. 24-28 мая 2004 г. – Минск, 2004. – С. 130-131.
3. *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.
4. *Костенко Э.М., Перфильев А.Н.* Исследование усадки кабельной полиэтиленовой изоляции // Конструирование и исследование высокочастотных кабелей. – Л.: Связь, 1974. – С. 180-187.
5. *Митрошин В.Н.* Структурное моделирование процесса охлаждения изолированной кабельной жилы при ее изготовлении на экструзионной линии // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2006. – Вып. 40. – С. 22-33.
6. *Рапопорт Э.Я., Митрошин В.Н., Кретов Д.И.* Оптимальное управление процессом охлаждения полимерной кабельной изоляции при ее наложении на экструзионной линии // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физико-математические науки. – 2006. – Вып. 43. – С. 146-153.
7. *Митрошин В.Н.* Выбор режима охлаждения полимерной кабельной изоляции при ее наложении на экструзионной линии // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2007. – Вып. 2(20). – С. 34-37.
8. *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.

Статья поступила в редакцию 14 сентября 2011 г.

OPTIMAL DESIGN OF COOLING BATHS OF EXTRUSION LINES FOR THE IMPOSITION OF CABLE INSULATION

V.N. Mitroshin, Y.V. Mitroshin

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

A methodology is proposed for optimal water baths design and design of technological modes for cooling of cable production manufactured by extrusion lines, providing guaranteed achievement of the end product specified conditions accuracy.

Keywords: cable insulation, cooling baths, optimal design.