

УДК 681.5:621.315

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗОЛИРОВАНИЯ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ\***

**В.Н. Митрошин, Д.И. Кулешова**

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

*Предлагается методология разработки системы управления процессом изолирования кабелей связи, обеспечивающей достижение требуемого эксплуатационного качества продукции с учетом полосы частот передаваемого по кабелю сигнала. Структура проектируемой системы регулирования и ее параметры определяются на основании анализа предварительно проведенного обследования автоматизируемого технологического процесса. Анализ спектральной плотности мощности исследуемого процесса позволил сделать вывод о наличии источника гармонических нерегулярностей управляемой величины с частотой, определяемой скоростью вращения шнека экструдера. Предложена структура двухконтурной системы управления процессом наложения кабельной изоляции, качественно улучшающей показатели процесса изолирования.*

**Ключевые слова:** производство кабелей, автоматизация, эксплуатационный параметр качества.

В структурированных кабельных системах (СКС) в настоящее время используются несколько типов передающих сред – волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), а также проводные кабели связи (КС) – коаксиальные кабели, кабели UTP (Unshielded Twisted Pair) – на основе витых пар без экранирующего покрытия и кабели STP (Shielded Twisted Pair) – на основе экранированных витых пар с общим внешним экраном в виде оплетки.

Проводные КС помимо СКС широко используются также в локальных вычислительных сетях, системах управления инженерным обеспечением зданий, в разнообразных системах промышленной автоматизации, системах пожарной и охранной сигнализации, телефонных сетях, оконечных участках сетей доступа и т. д.

Производство проводных КС является непрерывным, многооперационным технологическим процессом, в полной мере обладающим признаками сложной системы. При этом качество изготавливаемого кабеля формируется на всех промежуточных технологических операциях его производства и может быть измерено лишь на готовом изделии.

Современные коаксиальные КС, так же как и кабели на основе витых пар, рассчитаны на передачу сигналов в широкой полосе передаваемых частот. Так,

---

\* Работа поддержана грантами РФФИ (проекты 15-08-01347-а и 15-08-04209-а).

*Владимир Николаевич Митрошин (д.т.н.), заведующий кафедрой «Автоматика и управление в технических системах».*

*Дарья Игоревна Кулешова, магистрант кафедры «Автоматика и управление в технических системах».*

коаксиальный кабель марки РК 75-3,7-361 рассчитан на передачу сигналов в полосе частот до 800 МГц, а кабели STP категории 7a – на передачу сигналов в полосе частот до 1200 МГц. Это накладывает очень жесткие ограничения как на величину неоднородностей формируемого эксплуатационного параметра качества изготавливаемого кабеля [1], так и на его частотные свойства, что обусловлено шириной полосы частот передаваемого по кабелю сигнала.

Отсюда возникает задача осуществлять перед проектированием систем регулирования процессов изготовления КС предварительное обследование технологических процессов, и лишь на основе анализа полученных экспериментальных данных формулировать технические требования к проектируемым системам регулирования.

Важнейшей операцией изготовления КС, во многом определяющей качество кабеля как канала связи, является операция изолирования – наложения изоляции на токопроводящую жилу, осуществляемая на экструзионных линиях.

Авторами проведен анализ экспериментальных данных, полученных на экструзионной линии NOKIA-80, на которой осуществлялось изолирование токопроводящей жилы коаксиального радиочастотного кабеля РК 75-3,7-361. На рис. 1 показаны результаты экспериментального обследования процесса изолирования: фрагмент измеренной с помощью датчика диаметра модели LG1010 фирмы Beta Instrument Company Limited кривой нерегулярности диаметра изоляции кабельной жилы  $\Delta D_{из}$  по ее длине  $L$ .

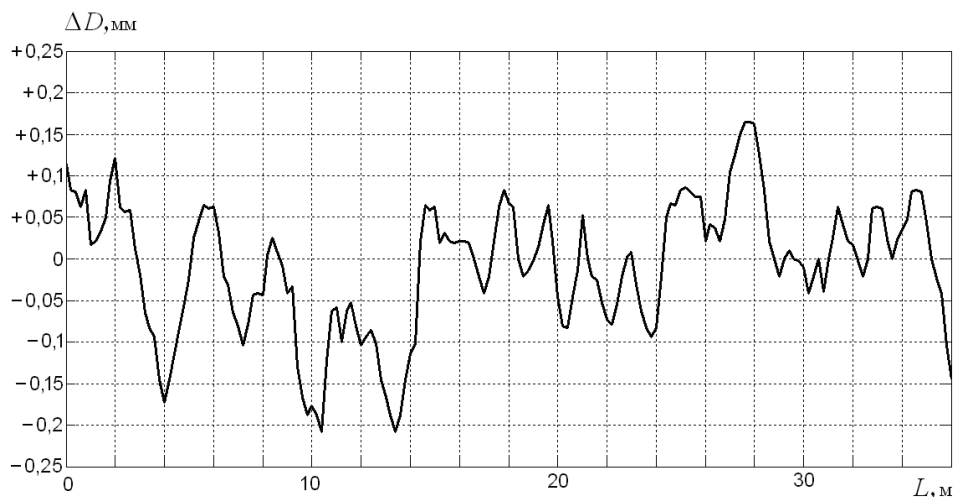


Рис. 1. Нерегулярность диаметра изоляции кабельной жилы

Предварительный анализ полученных результатов позволяет, во-первых, сделать вывод о нестационарном характере процесса, а во-вторых – о наличии высокочастотных гармонических нерегулярностей контролируемого параметра. Для подтверждения либо отклонения данной гипотезы была проведена статистическая обработка экспериментальных данных.

По полученным экспериментальным данным была определена спектральная плотность мощности (рис. 2) центрированного процесса путем преобразования Фурье его корреляционной функции [2]. Расчеты были выполнены на кафедре информационных систем и технологий Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королёва.

Анализ спектральной плотности мощности исследуемого процесса позволяет

сделать вывод о наличии источника гармонических нерегулярностей с частотой  $f = 0,43$  Гц. Полученные результаты полностью совпадают с предположением, высказанном в [3], что имеющиеся «высокочастотные» периодические неоднородности диаметра накладываемой кабельной изоляции обусловлены периодическими пульсациями давления расплава в кабельной головке, вызываемыми вращающимся шнеком экструдера. Действительно, при снятии экспериментальных данных на экструзионной линии NOKIA-80 скорость вращения шнека экструдера  $n$  составляла 25 об/мин. В пересчете на частоту получаем:

$$f = \frac{n}{60} = \frac{25}{60} = 0,42[\text{Гц}].$$

Таким образом, можно считать доказанным, что наличие «высокочастотных» нерегулярностей диаметра накладываемой на экструзионной линии изоляции кабельной жилы определяется периодическими пульсациями давления расплава полимера в кабельной головке, вызываемыми вращающимся шнеком экструдера. Пульсирующий градиент давления расплава полимера должен рассматриваться в качестве сильного измеряемого возмущающего воздействия системы управления процессом наложения кабельной изоляции. Его параметры легко определить экспериментально в соответствии с методикой, описанной в [3].

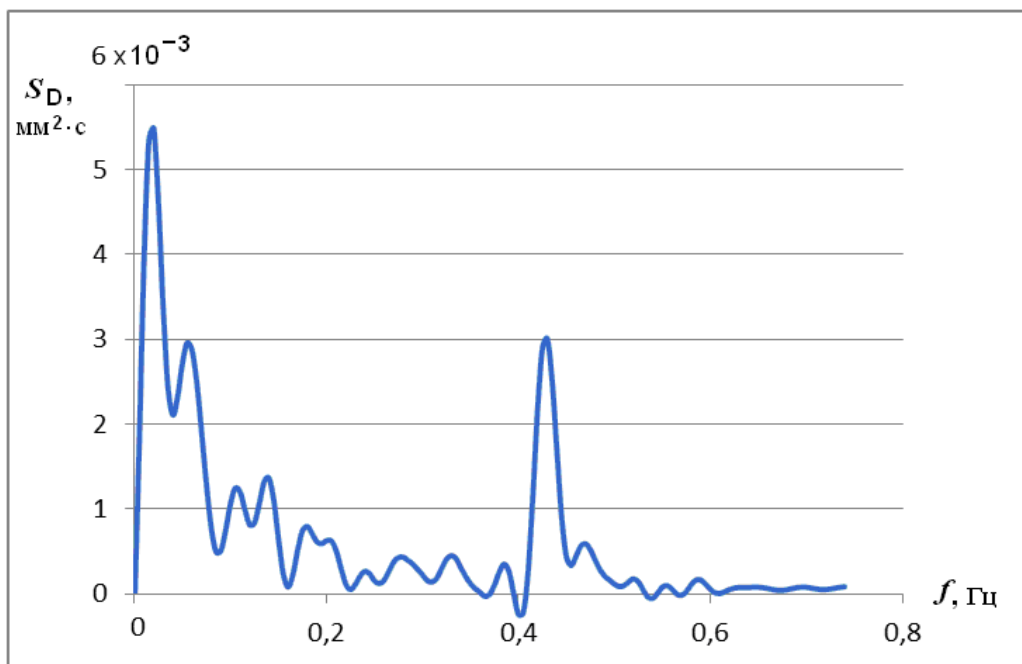


Рис. 2. Спектральная плотность мощности диаметра изоляции кабельной жилы

Динамическая компенсация возмущающих воздействий в виде управления по прямой связи может заблаговременно компенсировать сильные измеряемые помехи [4].

Предлагается для управления процессом наложения кабельной изоляции на экструзионных линиях использовать систему, функциональная схема которой приведена на рис. 3. В данной системе независимо регулируются давление расплава полимера в зоне дозирования экструдера путем изменения скорости вращения шнека и диаметр изоляции – скоростью протяжки кабельной жилы. Кон-

тур регулирования давления расплава полимера предназначен для устранения более высокочастотных нерегулярностей изоляции, а контур регулирования диаметра – низкочастотных.

На рис. 3  $P_1$  и  $P_2$  – регуляторы контуров регулирования давления и диаметра соответственно; ИМ<sub>1</sub> – исполнительный механизм экструдера (привод шнека); ИМ<sub>2</sub> – исполнительный механизм тянущего устройства (привод кабестана); ФНЧ – низкочастотный фильтр.

Физические величины, указанные на рисунке:  $Q^*$  – весовая производительность экструдера;  $D'_{из}$  – диаметр изоляции в месте измерения (на выходе кабельной головки);  $D'_{изн}$  – номинальное значение диаметра изоляции в месте измерения;  $D^*_{из}$  – диаметр изоляции на выходе экструзионной линии;  $N, n$  – обороты привода шнека и привода кабестана соответственно;  $V$  – скорость изолирования (протяжки кабельной жилы);  $P$  – давление расплава полимера в кабельной головке;  $P^*$  – давление расплава полимера в зоне дозирования;  $U_i, \Delta U_i$  – напряжения на выходах устройств;  $U_{P3}$  – напряжение, соответствующее заданному значению давления расплава полимера;  $f$  – возмущение;  $F_1, F_2$  – аналитические зависимости, связывающие соответствующие параметры.  $D'_{из1}$  и  $D'_{из2}$  – составляющие диаметра изоляции, формируемые в зависимости от весовой производительности экструдера и скорости протяжки кабельной жилы соответственно.

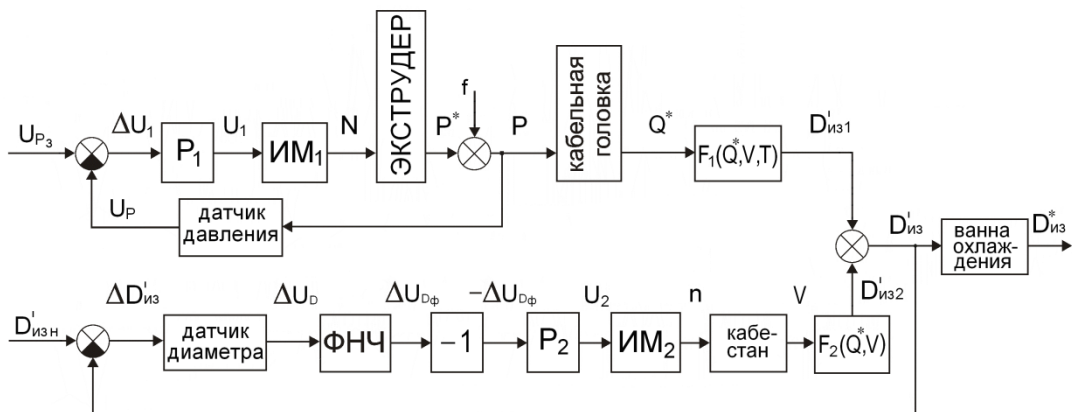


Рис. 3. Функциональная схема системы управления процессом наложения кабельной изоляции

Передаточная функция  $W_3$  экструдера совместно с кабельной головкой, где выходом является весовая производительность, а входом – обороты шнека, представляет собой передаточную функцию апериодического звена первого порядка [5, 6]:

$$W_3 = \frac{k_1}{1 + T_1 p}. \quad (1)$$

Коэффициент передачи и постоянная времени объекта легко определяются экспериментальным путем по его переходной функции для конкретных конструктивных характеристик экструдера, технологических режимов его работы и

типоразмера изготавливаемого кабеля и пригодны для использования только в окрестностях рабочей точки.

Как утверждается в [7], объемная производительность экструдера прямо пропорциональна давлению расплава полимера на выходе зоны дозирования.

Система регулирования давления расплава полимера на выходе экструдера с использованием высокоскоростного привода шнека описана в [8]. В [7] отмечается, что если использовать высокоскоростной привод шнека, то удастся компенсировать колебания давления примерно за 80 мс. При этом отклонение давления расплава при непрерывной эксплуатации экструзионной установки составляет лишь 0,3 % от заданного значения давления.

Как отмечается в [4], в основу целеполагания построения систем автоматического управления производством КС должно быть положено обеспечение требуемого эксплуатационного показателя изготавливаемого кабеля как канала связи с учетом полосы частот пропускаемого сигнала. Ванна охлаждения является звеном транспортного запаздывания. Его передаточная функция  $W_B$  может быть представлена в виде

$$W_B = k_B \cdot \exp^{-p\tau}, \quad (2)$$

где  $k_B$  – коэффициент усадки кабельной изоляции при охлаждении;  $\tau$  – величина транспортного запаздывания:  $\tau = L_B/V$ , здесь  $L_B$  – длина ванны охлаждения,  $V$  – скорость изолирования.

Поэтому при управлении процессом изолирования для уменьшения влияния звеньев с транспортным запаздыванием на динамические характеристики системы регулирования необходимо располагать датчики контролируемых параметров либо в самом экструдере (как датчик давления), либо в непосредственной близости от экструдера [4]. Например, для контроля количества выдавливаемого пресом полимера с помощью измерения диаметра изолированной жилы лазерный датчик диаметра нужно располагать непосредственно на выходе кабельной головки. При этом на основе использования уравнения сохранения массы, если известен номинальный диаметр изолированной жилы  $D_{из}^*$  при температуре окружающей среды (например, 20 °С), можно легко получить формулу для уставки датчика диаметра  $D'_{изн}$  в месте его установки на выходе кабельной головки:

$$D'_{изн} = \sqrt{\left(D_{из}^*\right)^2 \cdot \frac{\rho^*}{\rho_0} + d^2 \cdot \frac{(\rho_0 - \rho^*)}{\rho_0}}, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр медного проводника;  $\rho_0$  – плотность полимера при температуре его выхода из кабельной головки;  $\rho^*$  – плотность полимера при температуре окружающей среды.

Зависимость плотности полиэтилена высокого давления низкой плотности (ПЭНП) марки 153-01, обычно применяемого для изолирования кабелей связи, приведена в частности в [4].

ФНЧ с супернизкой частотой среза 0,2 Гц может быть реализован лишь в цифровой форме в виде КИХ-фильтра на базе, например, цифрового сигнального процессора [9].

Регулирование диаметра изолированной жилы может осуществляться разными способами. Во многих источниках, например в [10], это предлагается осу-

ществлять путем изменения скорости изолирования  $V$ .

При этом передаточная функция  $W_T$  тянущего устройства (кабестана) описывается, как правило, передаточной функцией аperiodического звена первого порядка [11]:

$$W_T = \frac{k_2}{1 + T_2 p}. \quad (4)$$

Необходимо отметить, что на работу системы регулирования давления расплава полимера в выходной зоне экструдера оказывает большое влияние стабильность температуры расплава полимера. Поэтому необходимо стабилизировать ее с максимально возможной точностью. В [12] описана система распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера, обеспечивающая поддержание температуры расплава на выходе зоны дозирования с отклонением от требуемого значения не более  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Предлагаемая методология разработки системы управления процессом изолирования кабелей связи, обеспечивающей достижение требуемого эксплуатационного качества продукции с учетом полосы частот передаваемого по кабелю сигнала, позволяет существенно повысить качество выпускаемой продукции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Митрошин В.Н., Митрошин Ю.В.* Использование системного подхода при автоматизации непрерывных технологических процессов кабельного производства // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – Самара: СамГТУ, 2010. – № 7(28). – С. 26–31.
2. *Прохоров С.А., Графкин А.В., Графкин В.В. и др.* Прикладной анализ случайных процессов / Под ред. С.А. Прохорова. – Самара: СНЦ РАН, 2007. – 582 с.
3. *Митрошин В.Н.* Регулирование давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера при пульсирующем градиенте давления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 1(29). – С. 39–44.
4. *Митрошин В.Н.* Многопараметрическое управление производством кабелей связи на основе прогнозирующих моделей // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 4(40). – С. 37–44.
5. *Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H.* Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer kabelummantelungsanlage. – Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, №1, s. 28–31.
6. *Chan D., Lee L.J.* Dynamic modeling of a single screw plasticating extruder. – ANTEC'84, 1984, p. 77–80.
7. *Reiner T., Bohmann J.* Prozessorgeregeltes ummanteln elektrischer Leiter. – Drahtwelt, 1986, Jg. 72, № 5, s. 138–141.
8. *Митрошин В.Н.* Синтез системы стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 3(31). – С. 237–239.
9. *Митрошин В.Н., Узенгер А.А.* Однокристалльные микроконтроллеры и цифровые сигнальные процессоры. – Изд. 2-е. – Самара: СамГТУ, 2012. – 131 с. – ISBN 978-5-7964-1604-4.
10. *Carr D.* Controlling coating equipment with microprocessor-based systems. – Wire J. Int., 1984, vol. 16, № 7, p. 36–38.
11. *Laurich K., Muller G., Wallau H.* Automatisierungssystem fur kabelummantelungsanlagen. – Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, № 7. – s. 370–374.
12. *Митрошин В.Н., Нечаев А.С.* Структурное и численное моделирование распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2(38). – С. 26–32.

Статья поступила в редакцию 25 января 2015 г.

## **DEVELOPMENT OF ISOLATION PROCESS CONTROL SYSTEM OF COMMUNICATION CABLES, TO ENSURE ACHIEVEMENT OF THE REQUIRED QUALITY OF PRODUCT**

***V.N. Mitroshin, D.I. Kuleshova***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russia

*A methodology for communication cables insulation process control systems is presented. It ensures achieving the desired quality of the product, taking into account the operational frequency bands of the signal transmitted through the cable. The structure of the control system designed and its parameters are determined on the basis of the preliminary survey analysis of the automated process. The power spectral density analysis of the analyzed process leads to the conclusion that there is a controlled values harmonic-irregularities having a frequency determined by the extruder screw rotational speed. The structure of a double-circuit control system of applying cable insulation which considerably improves the insulation process indices is proposed.*

***Keywords:*** cable manufacture, automation, operational quality setting.