

УДК 681.5

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАЛОЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ ВСПЕНЕННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПРОВОДНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ ВЫСОКОЙ РЕГУЛЯРНОСТИ\***

***В.Н. Митрошин, Д.И. Кулешова, Я.В. Колесникова***

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

***Аннотация.** Предложена методика управления наложением химически вспененной изоляции при изготовлении высокочастотных проводных кабелей связи высокой регулярности, обеспечивающая достижение требуемых характеристик выпускаемой продукции. Сформулированы основные задачи, решаемые при автоматизации технологического процесса наложения химически вспененной изоляции на экструзионных линиях. Разработаны системы стабилизации давления в формирующем инструменте экструдера и стабилизации температуры расплава полимера в зоне дозирования экструдера. Проведенный с использованием компьютерного моделирования анализ работы систем стабилизации режимных параметров технологического оборудования доказал их высокую эффективность.*

***Ключевые слова:** кабели связи, вспененная изоляция, экструзионные линии, автоматизация.*

В качестве передающих физических сред в структурированных кабельных системах (СКС) чаще всего используются проводные кабели – радиочастотные коаксиальные кабели (RG – Radio Guide) и LAN-кабели (Local Area Network Cable – кабели локальной сети передачи данных) на основе витых пар (TP – twisted pair), а также волоконно-оптические линии связи [1].

Верхняя частота полосы пропускания радиочастотных коаксиальных кабелей (КК) достигает значений от 100 до 500 МГц [2, 3]. Коаксиальный кабель высокой регулярности с полосой пропускания 500 МГц может обеспечить скорость передачи данных несколько Гбит/с. При этом предельное расстояние, на котором может быть применен кабель, не превышает 10–15 км.

При использовании LAN-кабелей для построения СКС передачи данных чаще всего применяют кабели категорий 5е, 6 и 7 [4].

Скорость передачи данных и верхняя частота полосы пропускания у LAN-кабелей различных категорий следующие:

- пятая категория – скорость до 100 Мбит/с при применении двух витых пар; частота – до 100 МГц;
- шестая категория – скорость до 1 Гбит/с при применении четырех пар; частота – до 200/250 МГц;

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 18-08-00506-а).

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

*Кулешова Дарья Игоревна, аспирантка.*

*Колесникова Яна Валентиновна, студентка.*

- седьмая категория – скорость до 10 Гбит/с и более при употреблении четырех пар; частота – до 600 МГц (и даже до 1 ГГц).

В отношении проводных кабелей, используемых в качестве передающих сред в структурированных кабельных системах, предъявляются жесткие требования к регулярности первичных и вторичных параметров качества, определяющих эксплуатационные характеристики кабелей и применимость кабелей для передачи электромагнитных сигналов в требуемом частотном диапазоне.

Эксплуатационный показатель качества изготавливаемого кабеля формируется на всех стадиях его производства и может быть измерен лишь на готовом изделии. А технологический процесс изготовления проводных кабелей представляет собой сложный непрерывный многооперационный процесс, важнейшей стадией которого является операция наложения на токопроводящую жилу полимерной изоляции [5], выполняемая на шнековых прессах методом экструзии [6, 7].

При этом на любом этапе изготовления продукции в соответствии со стандартом системы управления качеством ИСО-9001 требуется обеспечивать «прозрачность» качественных показателей производимого кабеля и прогнозируемость его эксплуатационных свойств.

Обычно на операции изолирования с помощью датчиков непосредственно измеряют первичные параметры качества кабеля – диаметр и погонную емкость изолированной жилы. Измерение осуществляется на полностью сформировавшейся изоляции – на выходе последней ванны охлаждения.

При изолировании медных жил проводных кабелей на экструзионных линиях осуществляется наложение как сплошной полимерной изоляции, так и вспененной. Вспененная изоляция накладывается методами химического [8, 9] и физического вспенивания [10]. Вспенивание изоляции улучшает ее диэлектрические свойства и дает значительную экономию полимера.

Технологический процесс наложения физически вспененной изоляции более стабилен и позволяет получить при применении соответствующих материалов (фторопластов) высокий показатель степени пористости изоляции (до 70 % и более) по сравнению с химическим вспениванием (при котором достигается степень пористости порядка 50 %).

При физическом вспенивании формируется skin-foam-skin изоляция, когда на медный проводник накладываются последовательно три слоя термопластичного полимера: сплошной, физически вспененный полимер, а сверху опять сплошной слой. Наложение пористой изоляции методом физического вспенивания осуществляется путем непосредственного введения в зону дозирования экструдера сжатого газа – азота. Кабели с физически вспененной изоляцией имеют лучшие характеристики, чем кабели с химически вспененной изоляцией и тем более со сплошной. В частности у них существенно меньшее затухание. Но экструзионное оборудование при этом намного более сложное и дорогое.

Важным достоинством метода химического вспенивания является простота его реализации и возможность на одном и том же технологическом оборудовании осуществлять наложение как сплошной, так и химически вспененной изоляции.

Изолирование медной жилы осуществляется на экструзионной линии, содержащей шнековый экструдер. Загружаемый в бункер экструдера гранулированный полиэтилен содержит специальную добавку – порофор, который разлагается от воздействия температуры с выделением большого объема газа. Плавление гранул в экструдере происходит как под действием подводимого тепла от

внешних нагревателей, так и вследствие диссипации энергии, образуемой за счет вязкого трения перерабатываемого полимера. Выделяемый при разложении порофора газ внутри экструдера находится в растворенном состоянии в расплаве пластмассы. В головке экструдера расплавленная масса полиэтилена выдавливается через кольцевой зазор на проходящую через головку медную жилу. При выходе из экструдера растворенный в расплаве газ интенсивно расширяется, образуя ячеистую структуру. Затем изолированная жила последовательно охлаждается в нескольких (обычно трех) водяных ваннах с постепенно понижающейся температурой воды.

Контроль качества наложения химически вспененной изоляции происходит на основе прямого измерения первичных параметров изолированной жилы кабеля: ее диаметра и погонной емкости с помощью соответствующих датчиков, установленных в конце ванн охлаждения. Управление технологическим процессом изолирования осуществляется с использованием систем управления по отклонению измеренных первичных параметров кабеля от своих номинальных значений [8, 9].

При наложении химически вспененной изоляции объект управления – шнековый экструдер является сложным многомерным и многосвязным объектом с распределенными параметрами [5, 11÷13]. Вследствие многосвязности ОУ для исключения взаимовлияния отдельных контуров регулирования друг на друга чаще всего используются структуры САУ с развязывающими звеньями [12, 13].

В [11] описана САУ, в которой управление многосвязным ОУ осуществляется по физически несвязанным величинам – отклонениям от своих номинальных значений относительной диэлектрической проницаемости пористой изоляции  $\Delta \varepsilon_{\text{пн}}$  и массе изоляции на единицу длины медного проводника  $\Delta m_{\text{и}}$ , косвенно рассчитываемым по непосредственно измеряемым первичным параметрам кабеля.

При синтезе САУ температурой расплава полимера в зоне дозирования экструдера нельзя не учитывать явно выраженную неравномерность пространственной зависимости (распределенности) управляемой величины [11], т.е. ОУ должен рассматриваться как объект с распределенными параметрами.

Основным недостатком рассматриваемых систем является их непригодность для управления процессом наложения химически вспененной изоляции радиочастотных кабелей высокой регулярности.

Верхняя частота рабочего диапазона кабеля  $f_B$  определяет максимальную частоту взаимодействующих с ним пространственных нерегулярностей  $g_{\text{max}}$  первичных параметров кабеля следующим образом [14]:

$$g_{\text{max}} = \frac{2 f_B}{V_e} = \frac{1}{L_{k \text{ min}}}, \quad (1)$$

где  $V_e$  – скорость распространения электромагнитной волны по кабелю. Для коаксиального кабеля она равна [15]

$$V_e = c / \sqrt{\varepsilon_{\text{пн}}}, \quad (2)$$

$L_{k \text{ min}}$  – минимальный пространственный период нерегулярностей первичных параметров кабеля, которые должны быть устранены системой регулирования;  $c$  –

скорость света в вакууме;  $\varepsilon_{\text{пп}}$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции.

Для современных кабелей с верхней границей полосы пропускания 600 МГц  $L_{k \text{ min}} = 0,165 \text{ м}$ . Отсюда легко формулируется первый вывод: для гарантийного обеспечения требуемой полосы пропускания радиочастотных кабелей высокой регулярности система управления процессом наложения химически вспененной изоляции должна устранять нерегулярности первичных параметров кабеля с минимальным пространственным периодом 0,165 м. При расположении измерителей первичных параметров кабеля на расстоянии  $L$  (порядка 15 м) от места их формирования – кабельной головки экструдера – мы будем иметь звено с большим транспортным запаздыванием. Длительность переходного процесса в подобной САУ составит в лучшем случае  $(3 \div 4) \tau$ , где  $\tau$  – время транспортного запаздывания [16]. Соответственно

$$L_{\text{min}} = (3 \div 4) L = 45 \div 60 \text{ м}. \quad (3)$$

Т. е. САУ может в лучшем случае устранять нерегулярности формируемых на операции наложения полимерной изоляции первичных параметров кабеля с наименьшим пространственным периодом порядка 45÷60 м. В этом случае «работа» такой системы будет только ухудшать качество кабеля.

Отсюда второй вывод – для управления экструзионными линиями, на которых изготавливаются высокочастотные кабели, принципиально неприменимы САУ по отклонению непосредственно измеряемых параметров кабельной продукции.

С другой стороны, существуют проблемы при наложении химически вспененной изоляции. Они вызваны следующими причинами:

– высокая чувствительность процесса наложения химически вспененной изоляции к нестабильности режимных параметров работы технологического оборудования;

– невозможность регулировать многосвязный процесс наложения изоляции по непосредственно измеряемым на экструзионной линии первичным параметрам изолированной жилы.

Для преодоления существующих проблем управления технологическим процессом наложения химически вспененной изоляции предлагается на основе предварительного обследования автоматизируемого технологического процесса изолирования выявить основные причины его нестабильности и предложить пути существенной стабилизации режимных параметров работы технологического оборудования.

В [17] в результате обработки экспериментальных данных, снятых в режиме нормальной эксплуатации экструзионной линии NOKIA-80, на которой осуществлялось изолирование химически вспененной изоляцией токопроводящей жилы коаксиального радиочастотного кабеля РК 75-3,7-361, получена спектральная плотность мощности диаметра изолированной кабельной жилы (рис. 1).

Анализ спектральной плотности мощности диаметра изолированной жилы позволил считать доказанным наличие в автоматизируемом процессе источника гармонических возмущений с частотой  $f = 0,43 \text{ Гц}$ . Таким источником является вращающийся шнек экструдера линии NOKIA-80. Скорость вращения шнека экструдера при снятии экспериментальных данных (25 об/мин) в пересчете на

частоту составляла 0,42 Гц [17].

Полученные результаты хорошо согласуются с описанными в технической литературе. В [18] высказывалось предположение, что имеющиеся «высокочастотные» периодические нерегулярности диаметра изоляции обусловлены гармоническими пульсациями градиента давления расплава в кабельной головке, вызываемыми вращающимся шнеком экструдера.

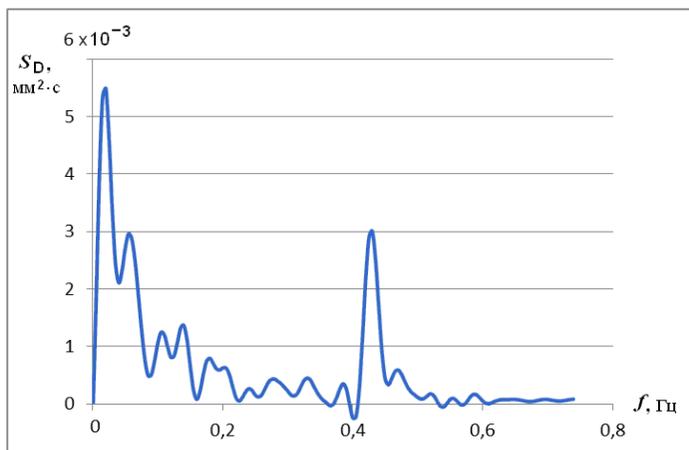


Рис. 1. Спектральная плотность мощности диаметра изолированной кабельной жилы

В [2] отмечается, что даже при соблюдении всех допусков на предельные отклонения конструктивных и электрических параметров кабеля эксплуатационные показатели качества кабельной линии и ее параметры передачи могут нарушаться. Например, это происходит при гармоническом характере изменений стабилизируемых параметров коаксиального кабеля по его длине даже при очень малых амплитудах этих изменений.

Из вышесказанного следует, что одной из настоятельных задач является максимально жесткая стабилизация давления в формирующем инструменте (кабельной головке) экструдера, т. к. давление определяет производительность экструдера, т. е. количество выдавливаемой массы полимера. В конечном счете это приводит к возникновению «высокочастотных» периодических нерегулярностей диаметра изоляции.

В [18] описывается методика нахождения относительной амплитуды пульсирующего градиента давления  $\chi_p$ . Это можно сделать по измеряемым мгновенным значениям давления расплава полимера на входе и вблизи выхода рассматриваемого участка канала. По измеренным максимальным  $\Delta P_{\max}$  и минимальным  $\Delta P_{\min}$  значениям градиента давления амплитуда колебаний рассчитывается в соответствии с (4):

$$\chi_p = \frac{\Delta P_{\max} - \Delta P_{\min}}{\Delta P_{\max} + \Delta P_{\min}}. \quad (4)$$

С другой стороны, отличительной особенностью процесса наложения химически вспененной изоляции является его высокая чувствительность к температуре.

На рис. 2 [9] приведены графики величины разложения порофора в экструдере в зависимости от времени его пребывания там и от температуры расплава полимера.

Очень важным при разработке систем управления наложением химически вспененной изоляции является анализ процесса порообразования. Быстрое возрастание скорости разложения порофора в диапазоне 140÷180 °С является одной из причин малой степени свободы управления температурой при экструдировании. Необходимо учитывать, что степень разложения порофора нелинейно увеличивается от температуры.

В работе [19] отмечается, что допуск на температуру расплава полимера при изолировании коаксиального кабеля зонной связью до 10 МГц с изоляцией из химически вспененного полиэтилена должен составлять  $\pm 3$  °С для обеспечения требуемой пропускной способности кабеля.

При изготовлении высокочастотных кабелей высокой регулярности этот допуск должен быть кардинально уменьшен. Такова вторая задача, которая должна быть обязательно решена при автоматизации управления наложением химически вспененной изоляции при изготовлении радиочастотных кабелей высокой регулярности.

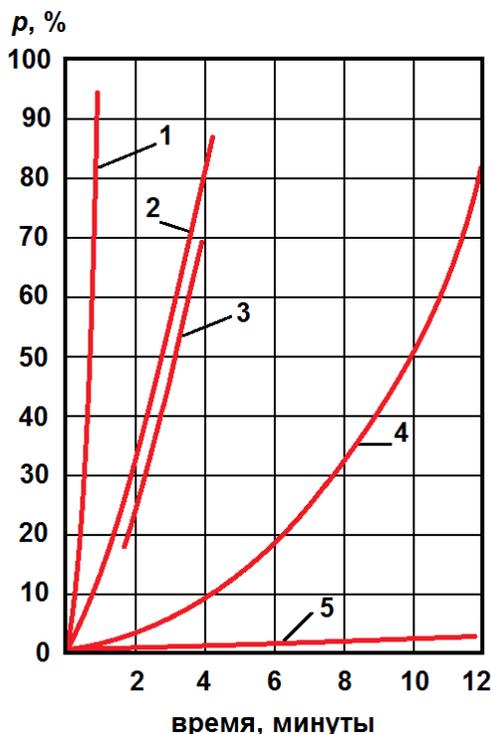


Рис. 2. Величина разложения порофора в экструдере в зависимости от времени пребывания и температуры (1 – 180 °С; 2 – 160 °С; 3 – 158 °С; 4 – 140 °С; 5 – 120 °С)

Повышение точности стабилизации температуры расплава полимера в шнековом экструдере может быть достигнуто только при учете основных физиче-

ских особенностей ОУ – пространственной распределенности управляемой величины. Зона дозирования шнека экструдера при управлении температурой расплава полимера должна рассматриваться и описываться как ОУ с распределенными параметрами (ОУРП).

Подобный подход описан в [20], а реализованная система распределенного управления температурой расплава полимера обеспечила точность ее стабилизации  $\pm 0,75$  °С.

Авторами реализована двухконтурная система управления процессом наложения химически вспененной изоляции радиочастотных кабелей. Она состоит из двух независимых контуров: системы стабилизации давления расплава полимера в формующем инструменте экструдера и системы стабилизации температуры расплава полимера.

Анализ функционирования этих систем был проведен с использованием пакета Matlab/Simulink.

На рис. 3 приведена модель системы управления давлением расплава полимера в кабельной головке (в формующем инструменте) шнекового экструдера в Matlab/Simulink. В качестве датчика давления выбран первичный преобразователь давления расплава Gefran, предназначенный для измерения давления расплавов полимеров, точность которого – 0,25 %.

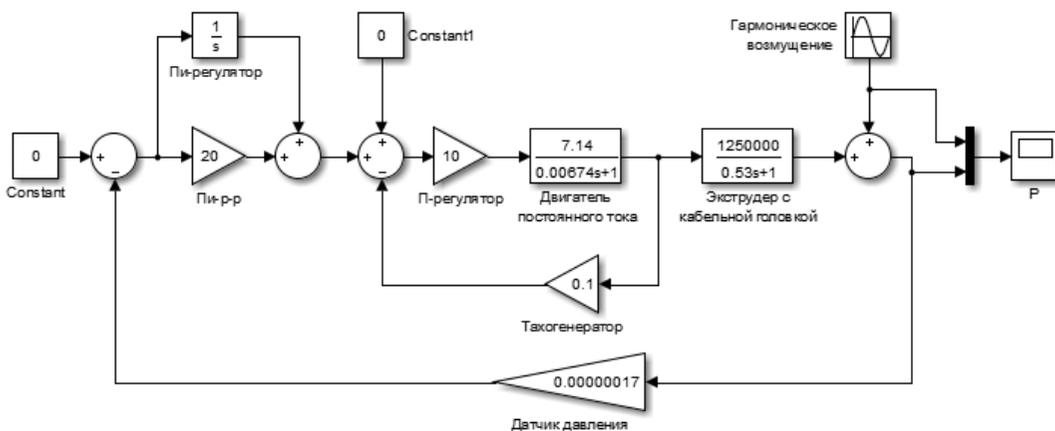


Рис. 3. Модель системы стабилизации давления расплава полимера в кабельной головке шнекового экструдера в Matlab/Simulink

На рис. 4 приведен результат работы системы стабилизации давления расплава полимера в кабельной головке.

Исходная амплитуда пульсаций давления расплава полимера в кабельной головке была  $5 \cdot 10^4$  Па (0,86 % от заданного значения давления). Частота гармонических пульсаций, определяемая скоростью вращения шнека экструдера, составляла  $2,51$  с<sup>-1</sup>.

Анализ эффективности отработки системой возмущающего воздействия показывает, что амплитуда пульсаций давления расплава полимера в кабельной головке экструдера уменьшилась более чем в 25 раз при использовании предложенной системы стабилизации давления.

При синтезе системы стабилизации температуры расплава полимера использовалось описание ОУ, предложенное в [11]. При сосредоточенном управлении

по температуре цилиндра экструдера, равномерно распределенной по длине его зоны дозирования, рассматриваемый объект первого порядка можно назвать конечно представимым [21], так как в структурном отношении он представляется соединением конечного числа (в данном случае всего трех) типовых звеньев – аperiodического, статического и звена чистого запаздывания. Структурное представление объекта управления процессом формирования температуры расплава полимера  $\tilde{T}(z, p)$  в зоне дозирования пластицирующего экструдера с сосредоточенным входным воздействием по равномерно распределенной в зоне дозирования температуре  $\tilde{T}_u(p)$  нагревательных элементов дано на рис. 5.

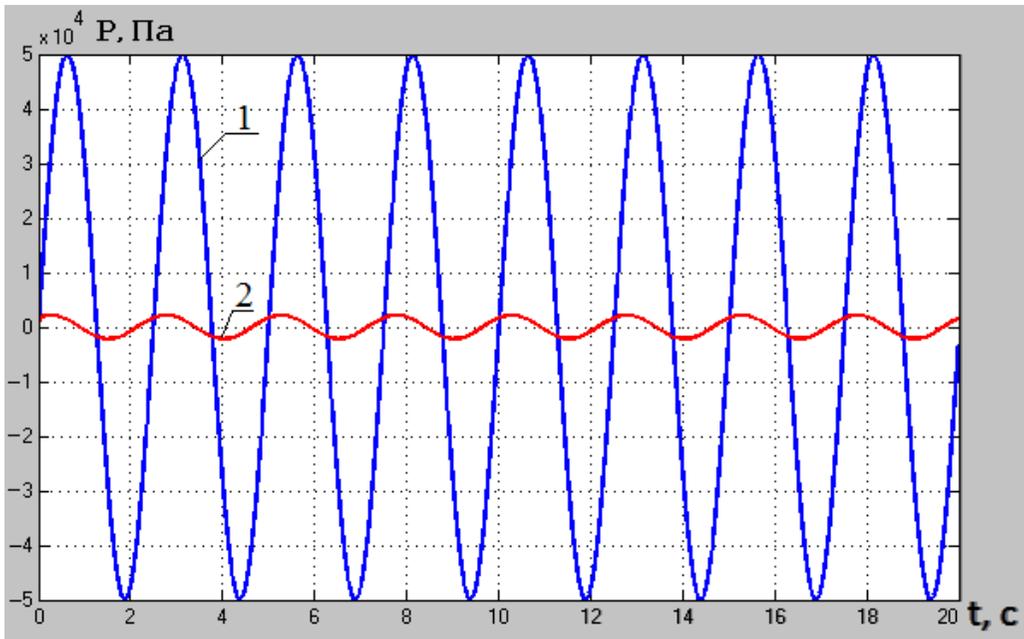


Рис. 4. Эффективность работы системы стабилизации давления в кабельной головке одночервячного экструдера (1 – возмущающее воздействие; 2 – стабилизированное давление на выходе системы управления)

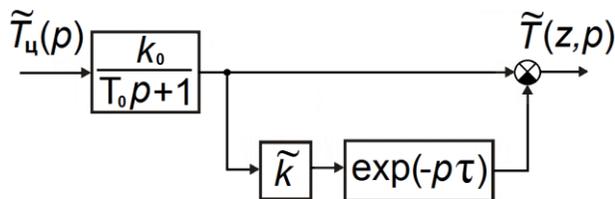


Рис. 5. Структурное представление объекта управления процессом формирования температуры расплава полимера

Здесь  $\tau = z/\bar{V}_z$  – время прохождения расплава полимера по каналу шнека от входа в зону дозирования до места измерения температуры расплава полимера;  
 $z$  – продольная координата вдоль канала шнека;  
 $\bar{V}_z$  – средняя скорость движения расплава полимера вдоль канала шнека;

$$\tilde{k} = \exp\left(-\frac{K_1 z}{\bar{V}_z}\right); K_1 = \frac{\alpha + bK^* h}{\rho Ch}; k_0 = \frac{1}{b^* K_1} = \frac{\alpha}{\alpha + bK^* h}; T_0 = 1/K_1; \quad (5)$$

$$b^* = \frac{\rho Ch}{\alpha}, K = \mu_0 \cdot \left(\frac{V_0}{h}\right)^{\frac{n+1}{n}} \cdot B^{-\frac{n+1}{n}}; K^* = K \exp(bT_0);$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи между полимером и цилиндром экструдера;

$b$  – температурный коэффициент вязкости;

$h$  – глубина канала шнека;

$C$  – удельная теплоемкость полимера;

$\rho$  – плотность сплошной пластмассы;

$T_0$  – температура приведения (плавления полимера);

$n$  – индекс течения полимера;

$\mu_0$  – ньютоновская вязкость;

$\varphi$  – угол захода шнека экструдера;

$y$  – координата по глубине канала шнека;

$a^* = 1/3$  – коэффициент, соответствующий максимальной производительности экструдера [7];

$\bar{B}$  – среднее значение коэффициентов  $B_y$  (6) во всем диапазоне  $0 \leq y \leq h$ .

$$B_y = \sin^2 \varphi \cdot (6 y/h - 1)^2 + \cos^2 \varphi \cdot (6 a^* y/h - 3 a^* + 1)^2. \quad (6)$$

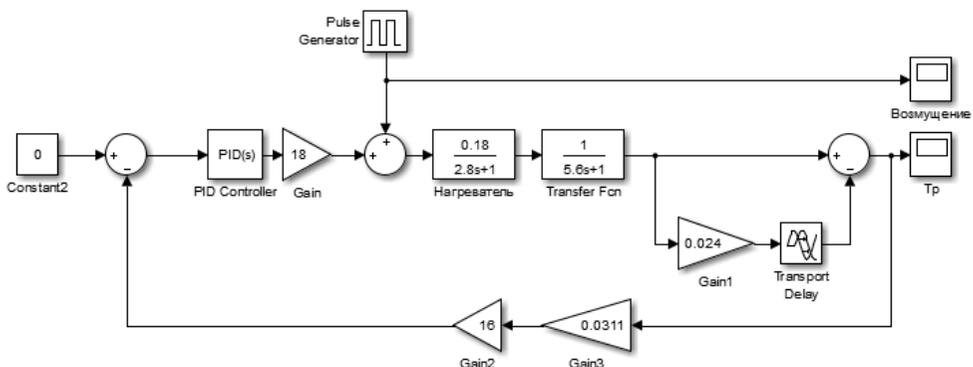


Рис. 6. Модель системы управления температурой расплава полимера в Matlab/Simulink

Для модели, представленной на рис. 5, расчетным путем в соответствии с полученным аналитическим описанием определены следующие параметры объекта для зоны дозирования экструдера NOKIA-80:  $k_0 = 1$ ,  $T_0 = 5,6$  с,  $\tau = 41,7$  с,  $\tilde{k} = 0,024$ .

На рис. 6 приведена модель системы управления температурой расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера в Matlab/Simulink.

Настройки PID-регулятора (см. рис. 6) следующие:

Proportional 4.11; Integral 1.5; Derivative 13.9.

На рис. 7 показано возмущающее воздействие системы стабилизации температуры расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера.

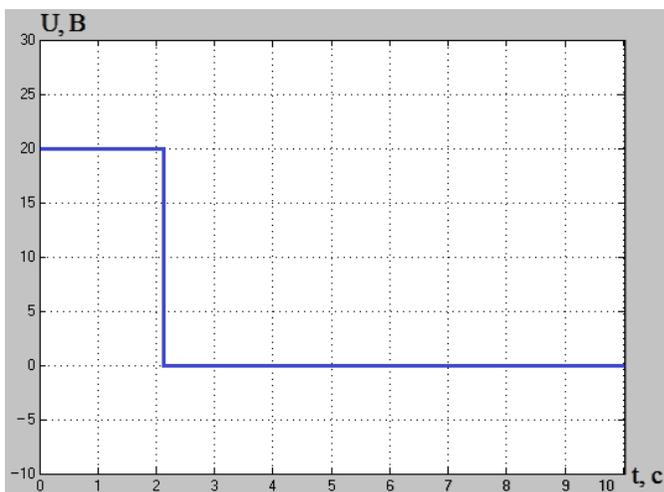


Рис. 7. Возмущающее воздействие системы стабилизации температуры расплава полимера (время моделирования 10 с)

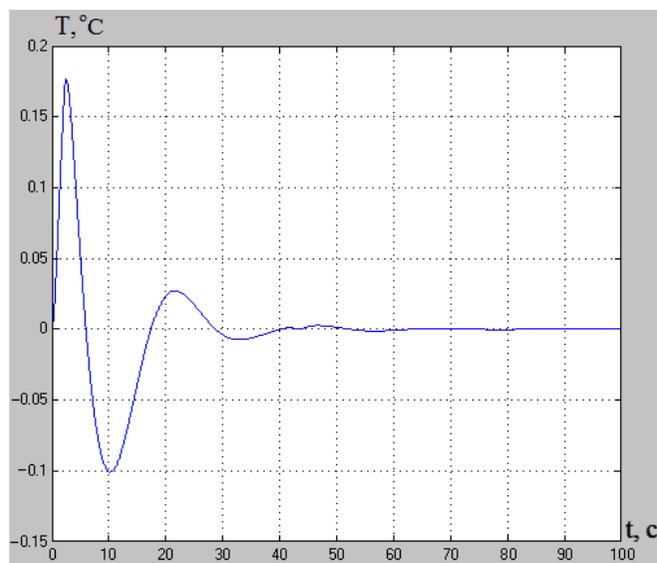


Рис. 8. Отработка системой стабилизации температуры расплава полимера возмущающего воздействия

На рис. 8 показана реакция системы стабилизации температуры расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера на данное возмущающее воздействие.

Анализ работы реализованной системы стабилизации температуры расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера позволяет сделать вывод о ее эффективности. Система теоретически обеспечивает точность стабилизации температуры лучше  $\pm 0,25$  °С, т. е. в соответствии с лучшими на сегодняшний день по классу точности датчиками температуры.

При изготовлении радиочастотных коаксиальных кабелей RG (Radio Guide) и LAN-кабелей, предназначенных для передачи огромного объема информации на сверхвысоких частотах, «единственной возможностью для удовлетворения новым требованиям является применение материалов с прекрасными диэлектрическими свойствами и высокой степенью вспенивания» [10]. В качестве таких изоляционных материалов, отвечающих высоким требованиям стабильности электрических характеристик, в настоящее время могут использоваться только фторполимеры [10].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы. – М.: Компания АйТи, ДМК Пресс, 2002. – 640 с.
2. Дорезюк Н.И., Попов М.Ф. Радиочастотные кабели высокой регулярности. – М.: Связь, 1979. – 104 с.
3. Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
4. Митрошин В.Н., Колпациков С.А. Автоматизация процесса наложения полимерной изоляции при изготовлении проводных кабелей связи // Вестник Самарского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2018. – № 3(59). – С. 28–40.
5. Митрошин В.Н. Автоматизация технологических процессов производства кабелей связи. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 140 с.
6. Рауендаль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 с.
7. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
8. Merki H.A. Control of diameter and capacitance of products with cellular insulation // Wire Ind. – 1983. – vol. 50. – № 389. – P. 39–42.
9. 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.
10. Бонвин П.-И., Родригез Р., Чамов А.В. Линии изолирования коаксиальных кабелей с процессом физического вспенивания Extrucell™ // Кабель-news. – 2010. – № 2. – С. 13–18.
11. Митрошин В.Н. Автоматическое управление объектами с распределенными параметрами в технологических процессах изолирования кабелей связи. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 184 с.
12. Чостковский Б.К. Методы и системы оптимального управления процессами производства кабелей связи. – М.: Машиностроение, 2009. – 190 с.
13. Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H. Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer kabelummantelungsanlage. – Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, № 1, s. 28–31.
14. Дорезюк Н.И. Гармонический анализ периодических неоднородностей волнового сопротивления коаксиальных кабелей // Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника. – 1974. – № 6. – С. 18–22.
15. Гроднев И.И., Фролов П.А. Коаксиальные кабели связи. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с.
16. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
17. Митрошин В.Н., Кулешова Д.И. Разработка системы управления процессом изолирования кабелей связи, обеспечивающей достижение требуемого эксплуатационного качества продукции // Вестник Самарского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 1(45). – С. 71–77.
18. Marinov S., Steller S. Erfassung der Sohmelzeströmung in Extrusionsdüsen bei pulsierendem Druckgradienten // Plaste und Kautschuk. – 1985. – Bd. 32. – № 9. – S. 346–349.

19. Степанов Л.Е. Коаксиальный кабель зонной связи до 10 МГц с изоляцией из вспененного полиэтилена: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1985. – 226 с.
20. Нечаев А.С. Автоматическое управление температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера технологической линии изготовления кабелей связи: Дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2013. – 131 с.
21. Маковский В.А. Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами. – М.: Металлургия, 1971. – 384 с.

*Статья поступила в редакцию 3 марта 2019 г.*

## **AUTOMATION OF THE MANUFACTURE OF HIGH-FREQUENCY WIRED COMMUNICATION CABLES OF HIGH REGULARITY WITH CELLULAR INSULATION**

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

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

**Abstract.** The proposed method of controlling the imposition of cellular insulation in the manufacture of high-frequency wired communication cables of high regularity, ensuring the achievement of the required characteristics of the products. The main tasks are formulated when automating the technological process of imposing cellular insulation with extrusion lines. Systems have been developed to stabilize the pressure in the cable head of the extruder and stabilization of the polymer melt temperature in the dosing zone of the extruder have been developed. The analysis of the work of the systems for stabilization of the operating parameters of the process equipment carried out using computer simulation proved their high efficiency.

**Keywords:** *communication cables, polymer insulation, extrusion lines, automation.*

### REFERENCES

1. *Semenov A.B., Strizhakov S.K., Suncheley I.R.* Structured Cabling Systems. Moscow: IT Co., DMK Press, 2002. 640 p. (In Russian).
2. *Dorezyuk N.I., Popov M.F.* High Frequency Radio Frequency Cables. Moscow: Svyaz', 1979. 104 p. (In Russian).
3. *Galperovich D.Ya., Pavlov A.A., Hrenkov N.N.* Radio frequency cables. Moscow: Energoatomizdat, 1990. 256 p. (In Russian).
4. *Mitroshin V.N., Kolpashchikov S.A.* Automation of the isolation process by polymer in the manufacture of wired communication cables // Bulletin of the Samara State Technical University. A series of "Technical Sciences". № 3 (59). 2011. P. 28–40. (In Russian).
5. *Mitroshin V.N.* Automation of technological processes for the production of communication cables. Moscow: Mashinostroenie-1, 2006. 140 p. (In Russian).
6. *Rauwendaal C.* Polymer Extrusion. SPb: Profession, 2008. 768 p. (In Russian).
7. *Torner R.V.* Theoretical bases of polymer processing. Moscow: Chemistry, 1977. 464 p. (In Russian).
8. *Merki H.A.* Control of diameter and capacitance of products with cellular insulation // Wire Ind. vol. 50. № 389. 1983. P. 39–42.

---

*Vladimir N. Mitroshin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Daria I. Kuleshova, Postgraduate Student.  
Yana V. Kolesnikova, Student.*

9. *Boysen R.L.* How to solve problems in the extrusion of cellular PE in coaxial cables // *Wire Journ.* Vol. 5. № 1. 1972. P. 51–56.
10. *Bonvin P.-I., Rodriguez R., Chamov A.V.* Insulation lines for coaxial cables with physical foaming process Extrucell<sup>TM</sup> // *Cable-news*. Vol. 2. 2010. P. 13–18 (In Russian).
11. *Mitroshin V.N.* Automatic control of objects with distributed parameters in technological processes of isolation of communication cables. Moscow: Mashinostroenie-1, 2007. 184 p. (In Russian).
12. *Chostkovsky B.K.* Methods and systems for optimal control of communication cable production processes. Moscow: Mashinostroenie, 2009. 190 p. (In Russian).
13. *Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H.* Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer kabelummantelungsanlage. – *Mess. – Steuern – Regeln*, 1979, 22, № 1, s. 28–31.
14. *Dorezyuk N.I.* Harmonic analysis of periodic in homogeneities of the wave resistance of coaxial cables // *Electrotechnical industry. A series of "Cable Technology"*. Vol. 6. 1974. P. 18–22 (In Russian).
15. *Grodnev I.I., Frolov P.A.* Coaxial communication cables. Moscow: Radio I Svyaz', 1983. 208 p. (In Russian).
16. *Guretsky H.* Analysis and synthesis of control systems with delay. M.: Mechanical Engineering, 1974. 328 p.
17. *Mitroshin V.N., Kuleshova D.I.* Development of a control system for isolating communication cables ensuring the achievement of the required operational quality of products // *Bulletin of the Samara State Technical University. A series of "Technical Sciences"*. № 1 (45). 2015. P. 71–77 (In Russian).
18. *Marinov S., Steller S.* Erfassung der Sohmelzeströmung in Extrusionsdüsen bei pulsierendem Druckdradienten // *Plaste und Kautschuk*. – 1985. – Bd. 32. – № 9. – S. 346–349.
19. *Stepanov L.E.* Coaxial cable zonal communications up to 10 MHz with foam insulation: Dis. ... Cand. tech. Sciences: Moscow, 1985. 226 p.
20. *Nechaev A.S.* Automatic control of the temperature of the polymer melt in the dosing zone of a single-night extruder of the technological line for the manufacture of communication cables: Dis. ... Cand. tech. Sciences: Novoherkassk, 2013. 131 p.
21. *Makovsky V.A.* Dynamics of metallurgical objects with distributed parameters. M.: Metallurgy, 1971. 384 p.