

УДК 681.5

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ИЗОЛИРОВАНИЯ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ\***

***В.Н. Митрошин, К.О. Свиридов***

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

**Аннотация.** Предложен новый подход и методика управления наложением изоляции при изготовлении высокочастотных проводных кабелей связи высокой регулярности, обеспечивающая достижение требуемых характеристик выпускаемой продукции. Сформулированы основные задачи, решаемые при автоматизации технологического процесса наложения изоляции на экструзионных линиях. Разработаны цифровые системы стабилизации давления в формующем 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:** высокочастотные кабели, система автоматизированного управления, экструзионные линии.

Основной физической средой передачи данных в современных кабельных системах являются проводные кабели – радиочастотные коаксиальные кабели (RG – Radio Guide) и LAN-кабели (Local Area Network Cable) на основе витых пар (Twisted Pair) [1].

Верхняя частота полосы пропускания радиочастотных коаксиальных кабелей достигает значений до 500 МГц [2, 3]. Такой кабель может обеспечить скорость передачи данных порядка 10 Гбит/с. Максимальная допустимая длина коаксиальных кабелей при этом не превышает 10–15 км.

LAN-кабели, используемые в структурированных кабельных системах передачи данных, относятся к категориям 5е, 6 и 7 [4].

Для LAN-кабелей указанных категорий характерны следующие характеристики:

1) категория 5е – передача данных со скоростью до 100 Мбит/с;  $f_B$  (верхняя частота передаваемого сигнала) – до 100 МГц;

2) категория 6 – передача данных со скоростью до 1 Гбит/с;  $f_B$  – до 200/250 МГц;

3) категория 6 – передача данных до 1 Гбит/с;  $f_B$  – до 600 МГц/1 ГГц.

При производстве проводных кабелей связи имеются жесткие требования к регулярности их первичных и вторичных параметров качества, определяющих

---

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

Митрошин Владимир Николаевич (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Свиридов Кирилл Олегович, студент.

основные эксплуатационные характеристики кабелей в требуемом частотном диапазоне передаваемых сигналов.

Изготовление проводных кабелей представляет собой многооперационный технологический процесс, определяющей операцией которого является изолирование токопроводящего проводника термопластичной полимерной изоляцией [5], выполняемое на шнековых прессах экструзионных линий [6, 7].

В загрузочный бункер шнекового экструдера засыпаются гранулы полиэтилена. Плавление полимера в экструзионной установке осуществляется при воздействии тепла от нагревательных элементов и вследствие трения гранул и движущегося расплава полиэтилена при его переработке. Непосредственное наложение расплавленной полимерной изоляции на токопроводящую жилу происходит в формирующем инструменте (кабельной головке) экструдера. При этом расплавленная масса полимера подается через кольцевой зазор между матрицей и протягиваемой через кабельную головку медной жилой, образуя с последней концентричный изоляционный слой. Полученная заготовка любого проводного кабеля – изолированная жила проходит охлаждение в нескольких ваннах с водой. При этом температура воды в них последовательно понижается, чтобы, с одной стороны, охладить изоляцию до температуры ниже +50 °С [8], при которой изоляция не деформируется при намотке жилы на приемный барабан, а с другой стороны, избежать резкого охлаждения изоляции – «закаливания», в результате чего в ней могут возникнуть внутренние механические напряжения, что приведет к последующему растрескиванию изоляции [9, 10].

При автоматизации процесса изолирования жил проводных кабелей в качестве объекта управления (ОУ) рассматривается вся экструзионная линия, включающая экструдер с приводом шнека, ванны охлаждения, привод тянущего устройства и т. д. [5]. Т. е. ОУ является сложным многосвязным объектом [4, 5] с распределенными параметрами [11, 12] и большим транспортным запаздыванием [13, 14].

При производстве проводных кабелей связи на операции наложения полимерной изоляции для обеспечения необходимого эксплуатационного показателя качества изготавливаемого кабеля, который можно будет проконтролировать только на готовом кабеле, стараются стабилизировать непосредственно измеряемые параметры изолированных жил.

Для этого при помощи соответствующих датчиков фиксируются основные качественные характеристики изолированных жил – диаметр и погонная емкость. Снятие данных происходит на готовой продукции (когда изоляция полностью сформировалась) – обычно в конце участка охлаждения [13]. Для улучшения динамических характеристик САУ используют максимально возможное приближение места установки датчиков первичных параметров изолированной жилы к экструдеру [14]. При этом системы управления наложением кабельной изоляцией, как правило, реализуются как системы регулирования выходных параметров по ошибке – то есть по отклонению от их номинальных значений [15, 16]. В [17] отмечается, что для пластицирующего шнекового экструдера главной причиной низкого качества производимой продукции являются вариации параметров, изменяющиеся в диапазоне от 0,5 до 10 циклов в минуту. При этом использование традиционного метода регулирования с помощью обратной связи по ошибке для объекта с большим транспортным запаздыванием, каким является экструзионная линия, не может справиться с подобными нарушениями [13].

При решении задачи синтеза САУ некоторыми режимными параметрами шнекового экструдера, такими как температурное поле расплава полимера в выходной зоне и формирующем инструменте экструдера, принципиально нельзя игнорировать четко выраженную неравномерность пространственной распределенности управляемой величины [11].

Для управления многосвязными объектами иногда применяют структуры САУ с развязывающими звеньями [15, 18].

Основным недостатком рассматриваемых систем является их непригодность для управления процессом наложения изоляции радиочастотных кабелей высокой регулярности вследствие, во-первых, отсутствия, как правило, обязательного учета всех базовых физических особенностей автоматизируемых объектов управления, а, во-вторых, игнорирования гарантированного обеспечения показателей качества изготавливаемого кабеля во всем диапазоне его рабочих частот.

Максимальная частота рабочего диапазона линии связи  $f_B$  определяет верхнюю частоту пространственных нерегулярностей  $g_{max}$  взаимодействующих с ним первичных параметров кабеля следующим образом [19]:

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

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

$v_e$  – скорость распространения электромагнитной волны по кабелю. Для коаксиального кабеля она равна согласно [20]

$$v_e = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_n}}; \quad (2)$$

здесь  $c$  – скорость света в вакууме;  $\varepsilon_n$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции.

Например, для LAN-кабелей с верхней частотой полосы пропускания 600 МГц  $L_{k\ min} = 0,165$  м. Это приводит к первому выводу: для обеспечения требуемой полосы пропускания высокочастотных линий связи САУ процессом изолирования должна устранять нерегулярности первичных параметров кабеля с пространственным периодом 0,165 м и более. При нахождении датчиков первичных параметров кабеля на расстоянии порядка 15 м от места наложения изоляции – головки экструдера – будет иметься звено с недопустимо большим транспортным запаздыванием. Длительность переходного процесса в такой САУ составит  $(3 \div 4)\tau$  в лучшем случае [21], где  $\tau$  – время транспортного запаздывания. Тогда:

$$L_{k\ min} = (3 \div 4)15 \text{ м} = 45 \div 60 \text{ м}. \quad (3)$$

Значит, система автоматического регулирования может лишь компенсировать отклонения первичных параметров, формируемых на операции изолирования с минимальным пространственным периодом порядка 45÷60 м. Такая «работа» САУ будет значительно ухудшать качество готовой продукции.

Из вышесказанного следует второй вывод – для управления процессами изолирования жил проводных высокочастотных кабелей принципиально неприменимы системы автоматического регулирования по отклонению непосредственно измеряемых параметров кабельной продукции.

В качестве решения озвученных проблем при разработке автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) изолирования жил кабелей связи предлагается на базе предварительного исследования автоматизируемого ТП выявить основные причины возникновения нестабильностей и рассмотреть пути значительной стабилизации рабочих параметров технологического оборудования.

В [22] в результате изучения экспериментальных данных, полученных в рабочем режиме эксплуатации линии NOKIA-80, на которой изготавливалась изолированная жила РЧ-кабеля РК 75-3,7-361, получена спектральная плотность мощности диаметра кабельной жилы по изоляции (рис. 1).

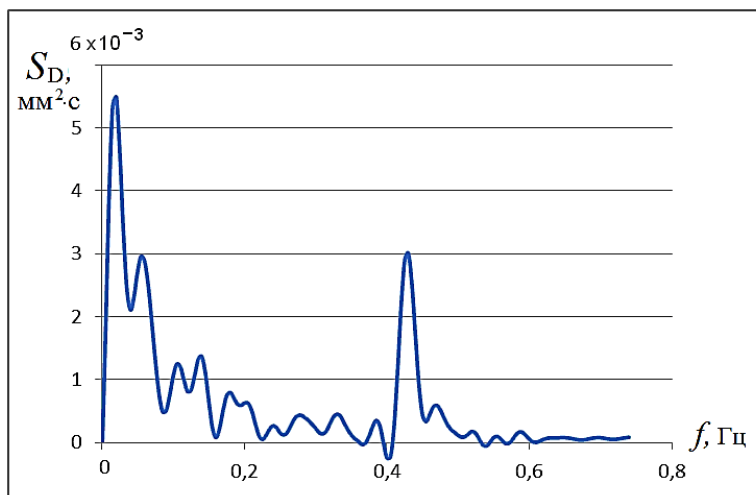


Рис. 1. Спектральная плотность мощности диаметра изолированной кабельной жилы

Анализ полученных результатов позволяет считать доказанным наличие в техпроцессе источника периодических возмущений с частотой  $f = 0,43$  Гц. Этим источником является вращающийся шнек экструзионной линии изолирования. Скорость вращения шнека экструдера при снятии полученных данных равняется 25 об/мин, в частотном пересчете – 0,43 Гц [22].

Приведенные результаты эксперимента полностью соответствуют известным предположениям, описанным в технической литературе. Очевидно, что «высокочастотные» периодические нерегулярности диаметра изолированной кабельной жилы вызваны изменениями мгновенной объемной производительности шнекового экструдера.

Ранее высказывалась мысль [23], что «изменения мгновенной объемной производительности экструдера определяются гармоническими пульсациями градиента давления расплава полимера в кабельной головке, обусловленными вращающимся шнеком экструдера».

Отсюда следует, что для стабилизации мгновенной производительности шнекового экструдера основной задачей является максимально возможное уменьшение амплитуды пульсирующего давления в формирующем инструменте экструдера. Пульсации давления приводят к гармоническим изменениям мгновенной производительности экструзионной линии [23]. В итоге это вызывает появление периодической нерегулярности диаметра изолированной кабельной жилы.

В [23] предложена методика нахождения относительной амплитуды пульсирующего градиента давления  $\chi_p$ . Для этого предлагается использовать значения давления расплава полимера на выходе зоны дозирования шнека  $\Delta p_{\max}$  и вблизи выхода формирующего инструмента  $\Delta p_{\min}$ . По измеряемым значениям  $\Delta p_{\max}$  и  $\Delta p_{\min}$  амплитуда колебаний рассчитывается в соответствии с (4):

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

Как отмечается в [24], «при постоянной геометрии пресс-формы выдавливаемое количество массы полимера из головки экструдера (и, соответственно, ее объем) прямо пропорционально давлению массы в формирующем инструменте экструдера».

С другой стороны, отличительной особенностью процесса наложения изоляции является его высокая чувствительность к температуре. В работе [25] отмечено, что допуск на вариации температуры расплава полиэтилена при наложении изоляции на медную жилу коаксиального кабеля связи ВКПАП с верхней частотой полосы пропускания 10 МГц должен составлять не более  $\pm 3$  °С для обеспечения заявленной пропускной способности кабеля.

Это вторая задача, возникающая при автоматизации ТП управления изолированием медных жил при производстве высокочастотных РЧ кабелей.

Увеличение точности поддержания постоянной температуры расплава полиэтилена в экструзионной установке может быть получено только при учете основной физической особенности ОУ – пространственного распределения управляемой величины.

Подобный подход описан в [12], а реализованная система управления объектом с распределенными параметрами – температурным полем расплава полимера обеспечивает точность стабилизации температуры  $\pm 0,5$  °С.

Авторами реализована двухконтурная САУ процессом наложения полимерной изоляции высокочастотных проводных кабелей. Данная система включает два независимых контура управления режимными параметрами технологической линии: цифровую систему гибридного управления давлением расплава полиэтилена в кабельной головке экструдера и систему автоматической стабилизации (САС) температуры расплава полиэтилена.

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

На рис. 2 представлена дискретная модель системы гибридного управления давлением расплава полимера в кабельной головке шнекового экструдера в Matlab/Simulink/Stateflow. Pulse Generator используется для регулирования шага дискретизации в системе. В качестве датчика давления выбран первичный преобразователь давления расплава BAUMER, предназначенный для измерения давления расплавов полимеров, точность которого – 0,1 %. На рис. 3, 4 приведен дискретный вид ПИД-регулятора и передаточной функции ОУ.

На рис. 5 приведен результат работы цифровой системы гибридного управления давлением расплава полимера в кабельной головке (1 – возмущающее воздействие; 2 – стабилизированное давление на выходе системы управления).

На рис. 6 в увеличенном масштабе показаны пульсации давления расплава полимера после его стабилизации.

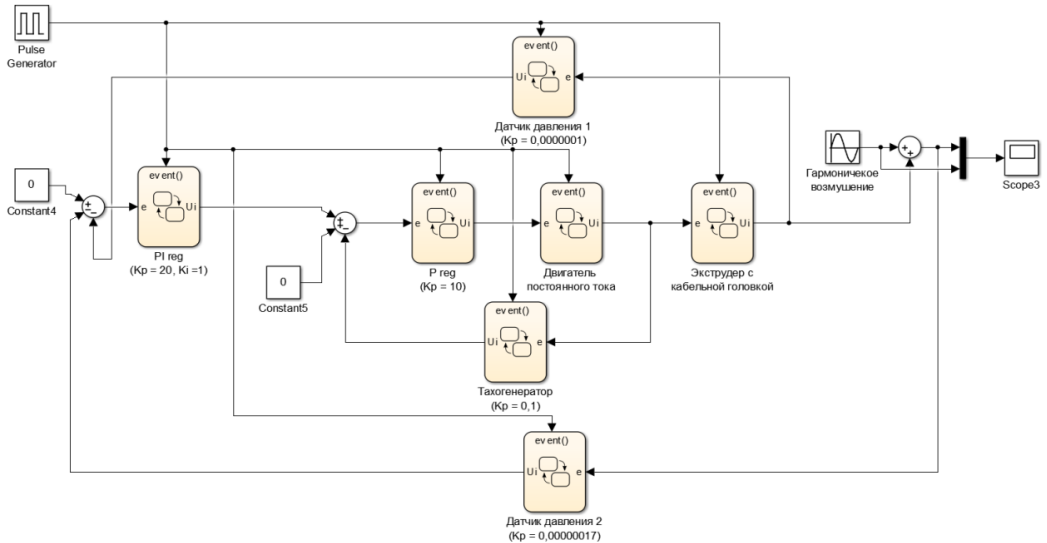


Рис. 2. Модель системы гибридного управления давлением расплава полимера в кабельной головке шнекового экструдера в Matlab/Simulink

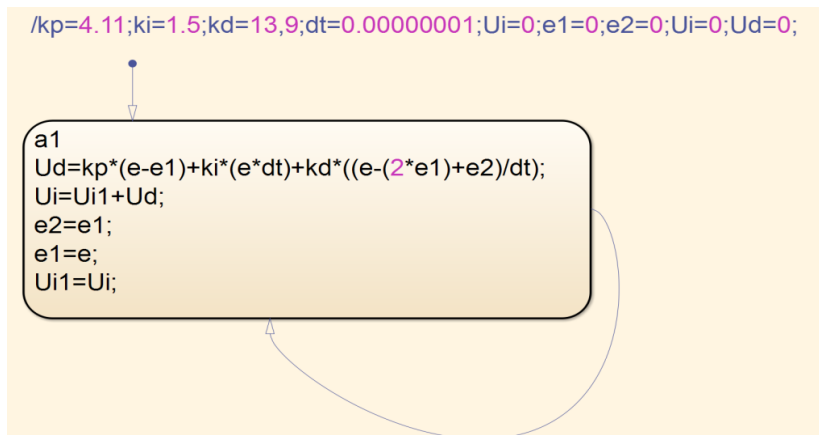


Рис. 3. Дискретная модель ПИД-регулятора в Matlab/Simulink/Stateflow

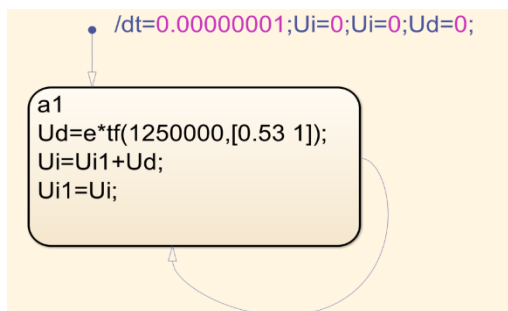


Рис. 4. Дискретная модель передаточной функции ОУ в Matlab/Simulink/Stateflow

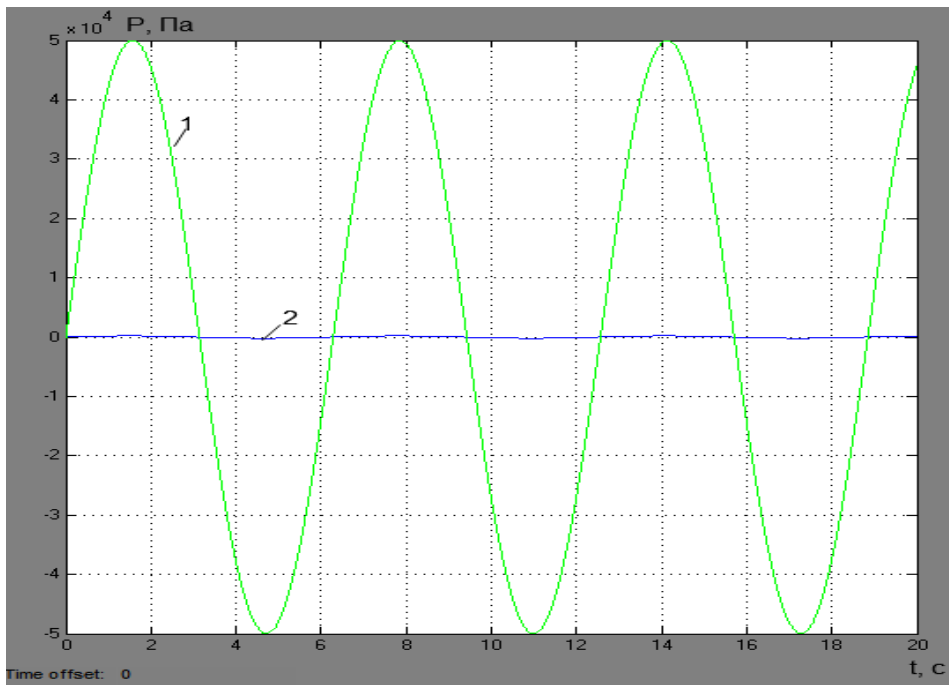


Рис. 5. Эффективность работы системы гибридного управления давлением расплава полимера в кабельной головке одночервячного экструдера

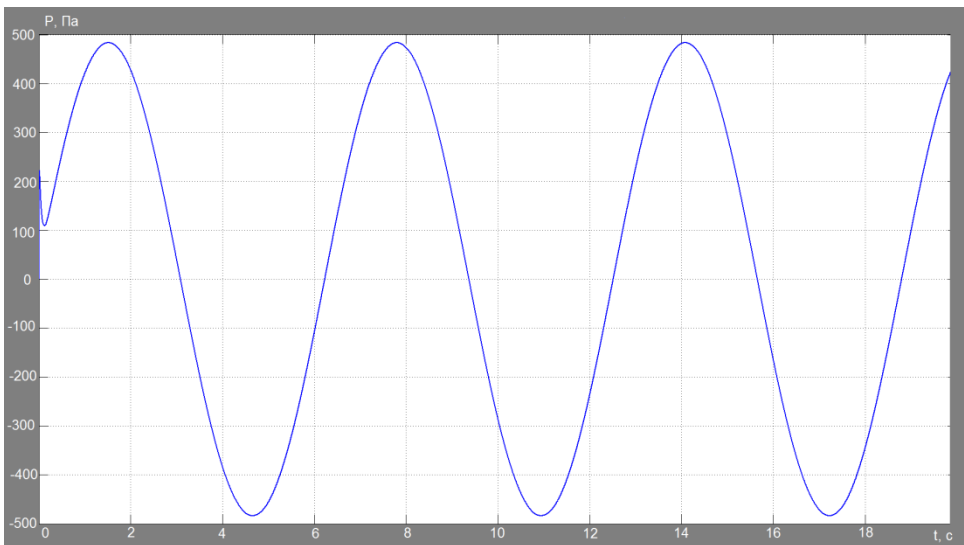


Рис. 6. Пульсации давления расплава полимера после его стабилизации

Начальная амплитуда пульсаций давления расплава в формирующем инструменте экструдера до его стабилизации составляла  $5 \cdot 10^4$  Па (или 0,86 % от его заданного значения). После стабилизации давления его амплитуда уменьшилась до  $4,85 \cdot 10^2$  Па. При анализе качества отработки САУ возмущающего воздействия видно, что амплитуда пульсаций давления расплава

полимера в формующем инструменте экструдера снизилась в 103 раза (или 0,0083 % от заданного значения давления).

При синтезе системы стабилизации температуры расплава полимера использовалось описание ОУ, приведенное в [11]. При сосредоточенном управлении с помощью температуры  $\tilde{T}_ц(p)$  цилиндра экструдера, равномерно распределенной по длине зоны дозирования, рассматриваемый объект управления является конечно представимым [26], так как в структурном отношении его можно представить соединением конечного числа типовых звеньев: аperiodического, статического и звена чистого запаздывания. Эквивалентное структурное представление ОУ, выходом которого является температура расплава полимера  $\tilde{T}(z,p)$  в зоне дозирования экструдера, а входом –  $\tilde{T}_ц(p)$ , дано на рис. 7 [11].

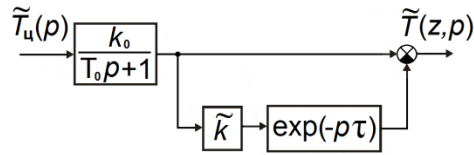


Рис. 7. Эквивалентная структура ОУ – зоны дозирования шнекового экструдера с выходом по температуре расплава полимера

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

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

$$b^* = \frac{pCh}{a}; K = \mu_0 \left(\frac{V_0}{h}\right)^{\frac{n+1}{n}} \bar{B}^{\frac{n+1}{n}}; K^* = K e^{bT_0}; \quad (6)$$

где  $a$  – коэффициент теплоотдачи между цилиндром экструдера и полимером;  
 $b$  – температурный коэффициент вязкости полиэтилена высокого давления низкой плотности (ПЭВД) марки 153-01К;

$h$  – глубина канала шнека;

$C$  – удельная теплоемкость полиэтилена;

$\rho$  – плотность сплошного полиэтилена;

$T_0$  – температура плавления полимера;

$n$  – индекс течения полиэтилена;

$\mu_0$  – ньютоновская вязкость полиэтилена;

$\varphi$  – угол захода шнека экструдера;

$y$  – координата канала шнека по его глубине;

$a^*$  – коэффициент, соответствующий максимальной производительности экструдера [7];

$\bar{B}$  – среднее значение  $B_y$  (7) во всем диапазоне глубины шнека  $0 < y < h$ .

$$B_y = \left(\frac{6y}{h-1}\right)^2 \sin^2 \varphi + \left(\frac{6a^*y}{h-3a^*+1}\right)^2 \cos^2 \varphi. \quad (7)$$

Для модели (рис. 7) в соответствии с ее имеющимся аналитическим описанием путем расчета получены следующие параметры ОУ для зоны дозирования



экструдера NOKIA-80:  $k_0 = 1$ ;  $T_o = 5,6$  с;  $\tau = 41,7$  с;  $\bar{k} = 0,024$ .

На рис. 8 приведена модель в Matlab/Simulink системы стабилизации температуры расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера NOKIA-80. Рассчитанные настройки PID-регулятора следующие: Integral 1.5; Proportional 4.11; Derivative 13.9.

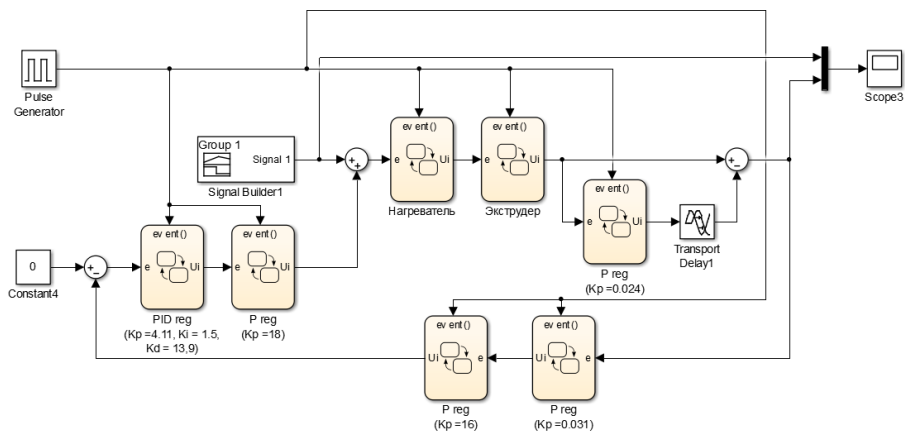


Рис. 8. Модель в Matlab/Simulink системы стабилизации температуры расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера

При анализе системы стабилизации температуры расплава исследовалась отработка САУ возмущающего воздействия (рис. 9).

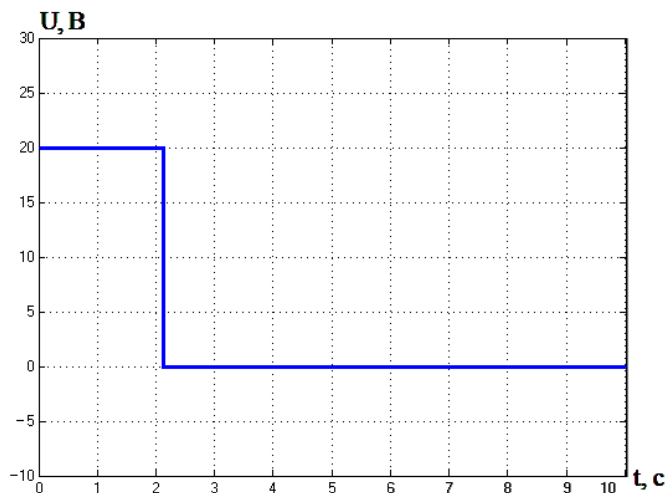


Рис. 9. Возмущающее воздействие системы стабилизации температуры расплава полимера (время моделирования 10 с)

На рис. 10 приведена реакция системы стабилизации температуры расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера на данное возмущающее воздействие.

По результатам проведенного исследования на основании анализа отработки системой стабилизации температуры расплава полимера возмущающего

воздействия, показанного на рис. 9, можно сделать вывод об эффективности разработанной системы.

Синтезированная цифровая система автоматического управления температурой расплава полимера в зоне дозирования шнекового экструдера обеспечивает стабилизацию температуры с точностью выше  $\pm 0,2$  °С, что является лучшим из известных на сегодня решений и соответствует предельному классу точности наилучших на сегодняшний день датчиков температуры.

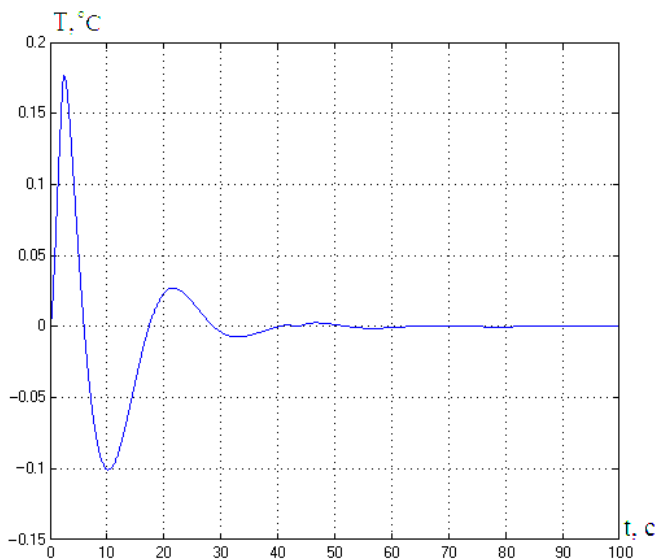


Рис. 10. Отработка возмущающего воздействия системой стабилизации температуры расплава полимера

Предложенные в данной работе подходы и полученные результаты позволили обеспечить решение нескольких задач, существенно повышающих качество изготавливаемой на экструзионной линии продукции. Во-первых, реализация систем стабилизации важнейших режимных параметров работы технологического оборудования, таких как мгновенная производительность шнекового экструдера и температура расплава полимера в зоне дозирования экструдера, позволили осуществлять управление сложным многосвязным объектом по двум независимым контурам в условиях малых вариаций режимных параметров работы технологического оборудования. Во-вторых, стабилизация режимных параметров работы технологического оборудования с жесткими допусками позволила производить проводные кабели с гарантированными эксплуатационными показателями качества в требуемом частотном диапазоне.

Так, при наложении пористой полиэтиленовой изоляции на медный проводник РК-кабеля РК75-3,7-361 на экструзионной линии NOKIA-80 начальная амплитуда гармонических пульсаций давления расплава полимера до его стабилизации составляла в формующем инструменте экструдера  $5 \cdot 10^4$  Па. При этом гармонические нерегулярности диаметра изолированной жилы были 20 мкм. После стабилизации давления его амплитуда уменьшилась до  $4,85 \cdot 10^2$  Па, а нерегулярности диаметра изолированной жилы не превышали 6 мкм.

#### 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. *Рауwendаль 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. *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.
9. *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.
10. *Костенко Э.М., Перфильев А.Н.* Исследование усадки кабельной полиэтиленовой изоляции // Конструирование и исследование высокочастотных кабелей. Л.: Связь, 1974. С. 180–187.
11. *Митрошин В.Н.* Автоматическое управление объектами с распределенными параметрами в технологических процессах изолирования кабелей связи. М.: Машиностроение-1, 2007. 184 с.
12. *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.
13. *Merki H.A.* Control of diameter and capacitance of products with cellular insulation. Wire Industry, 1983, vol. 50, № 389, p. 39–42.
14. *Митрошин В.Н.* Обоснование выбора места установки датчиков на экструзионной линии по производству кабельной жилы с пенопластовой изоляцией // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Технические науки. Пенза: ПГУ, 2005, № 5 (20). С. 69–75.
15. *Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H.* Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer kabelummantelungsanlage. Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, № 1, s. 28–31.
16. *Laurich K., Muller G., Wallau H.* Automatisierungssystem für kabelummantelungsanlagen. Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, № 7, s. 370–374.
17. *Chan D., Lee L.J.* Dynamic modeling of a single screw plasticating extruder. ANTEC'84, 1984, p. 77–80.
18. *Чостковский Б.К.* Методы и системы оптимального управления процессами производства кабелей связи. М.: Машиностроение, 2009. 190 с.
19. *Дорезюк Н.И.* Гармонический анализ периодических неоднородностей волнового сопротивления коаксиальных кабелей // Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника. 1974. № 6. С. 18–22.
20. *Гроднев И.И., Фролов П.А.* Коаксиальные кабели связи. М.: Радио и связь, 1983. 208 с.
21. *Гурецкий Х.* Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. М.: Машиностроение, 1974. 328 с.
22. *Митрошин В.Н., Кулешиова 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.
23. *Marinov S., Steller S.* Erfassung der Sohmelzeströmung in Extrusionsdüzen bei pulsierendem Druckgradienten. Plaste und Kautschuk. 1985. Bd. 32. № 9. S. 346–349.
24. *Reiner T., Bohmann J.* Prozessorgeregeltes ummanteln elektrischer Leiter // Drahtwelt. 1986. Jg. 72. № 5. S. 138–141.
25. *Степанов Л.Е.* Коаксиальный кабель зонной связи до 10 МГц с изоляцией из вспененного полиэтилена: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. 226 с.
26. *Маковский В.А.* Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами. М.: Металлургия, 1971. 384 с.

*Статья поступила 10 декабря 2019 г.*

# AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL PROCESS OF EXTRUSION LINE FOR COMMUNICATION CABLES PRODUCTION

*V.N. Mitroshin, K.O. Sviridov*

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

**Abstract.** *The new approach and method of controlling the imposition of insulation in the manufacture of high-frequency wired communication cables of high regularity, ensuring the achievement of the required characteristics of the products was proposed. The main tasks are formulated when automating the technological process of imposing insulation with extrusion lines. Discrete 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 has 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:** *high frequency cables, automated control systems, extrusion lines.*

## 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. *Dorezjuk 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. pp. 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. *Zinnatullin R.R., Trufanova N.M., Schilling A.A.* Investigation of heat transfer processes and phase transformations during cooling of wires with polymer insulation. V Minsk Int. forum on heat and mass transfer. Abstracts of reports and messages. T. 2. May 24–28, 2004 – Minsk, 2004. – pp. 130–131 (In Russian).
9. *Karyakin N.G., Fursov P.V.* Calculation of the possibility of formation of air inclusions in the plastic insulation of the cable during cooling. Electrical industry. Series "Cable Technology", 1977, No. 5, pp. 8–11 (In Russian).
10. *Kostenko E.M., Perfilyev A.N.* The study of shrinkage of cable polyethylene insulation. Design and study of high-frequency cables. L.: Svyaz', 1974. pp. 180–187 (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. *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: Novocheboksarsk, 2013. 131 p. (In Russian).
13. *Merki H.A.* Control of diameter and capacitance of products with cellular insulation. Wire Industry, 1983, vol. 50, № 389, pp. 39–42.

---

*Vladimir N. Mitroshin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Kirill O. Sviridov, Student.*

14. *Mitroshin V.N.* Justification of the choice of installation location of sensors on an extrusion line for the production of cable conductors with foam insulation // Proceedings of higher educational institutions. Volga region. Ser. Technical science. – Penza: PSU, 2005, No. 5 (20). pp. 69–75 (In Russian).
15. *Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H.* Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer kabelummantelungsanlage. Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, № 1, s. 28–31.
16. *Laurich K., Muller G., Wallau H.* Automatisierungssystem für kabelummantelungsanlagen. Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, № 7, s. 370–374.
17. *Chan D., Lee L.J.* Dynamic modeling of a single screw plasticating extruder. ANTEC'84, 1984, p. 77–80.
18. *Chostkovsky B.K.* Methods and systems for optimal control of communication cable production processes. Moscow: Mashinostroenie, 2009. 190 p. (In Russian).
19. *Dorezjuk 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).
20. *Grodnev I.I., Frolov P.A.* Coaxial communication cables. Moscow: Radio I Svyaz', 1983. 208 p. (In Russian).
21. *Guretsky H.* Analysis and synthesis of control systems with delay. M.: Mashinostroenie, 1974. 328 p.
22. *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).
23. *Marinov S., Steller S.* Erfassung der Sohmelzströmung in Extrusionsdüsen bei pulsierendem Druckdradienten // Plaste und Kautschuk. 1985. Bd. 32. № 9. S. 346–349.
24. *Reiner T., Bohmann J.* Prozessorgeregeltes ummanteln elektrischer Leiter // Drahtwelt. 1986. Jg. 72. № 5. S. 138–141.
25. *Stepanov L.E.* Coaxial cable zonal communications up to 10 MHz with foam insulation: Dis. ... Cand. tech. Sciences: Moscow, 1985. 226 p. (In Russian).
26. *Makovsky V.A.* Dynamics of metallurgical objects with distributed parameters. M.: Metallurgy, 1971. 384 p. (In Russian).