

УДК 681.5:621.315

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА КАБЕЛЯ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Е.О. Солякова

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

Рассматриваются математические модели основных параметров качества кабеля как канала связи, формирующиеся на отдельных технологических операциях. Представлена зависимость этих параметров от определенных режимных показателей производственной линии, таких как скорость вращения шнека (на операции изолирования), температура расплава полимера, давление в зоне дозирования экструдера и др.

Ключевые слова: системный подход, автоматизация, производство кабелей, параметры качества.

Производство кабеля связи является сложным многооперационным процессом, неосуществимым без автоматического управления. Задачу управления таким технологическим процессом возможно решить лишь основываясь на главных принципах системного подхода.

Главные показатели качества кабеля как канала связи можно проконтролировать только на готовом продукте. Поэтому для достижения требуемых качественных параметров необходимо обеспечить стабилизацию режимных показателей работы каждой операции производственной линии.

На первых этапах, этапах волочения и отжига, формируются некоторые параметры будущего кабеля, например диаметр медной жилы. При этом степень вытяжки

$$\mu = \frac{l}{l_n} = \left(\frac{d}{d_k} \right)^2, \quad (1)$$

где l_n – длина провода до волочения; l_k – длина провода после волочения; d_k – диаметр медной жилы после волочения; d_n – диаметр до волочения [1].

Основные показатели качества определяются на следующей операции – изолирования. Главными режимными параметрами на этом этапе являются скорость изолирования, температура расплава полимера, обороты шнека экструдера.

Например, в [1] представлено выражение диаметра пенопластовой изоляции

$$D_i = \sqrt{\frac{K_1 N}{V(1-\delta)} + \frac{K_2}{1-\delta}} + d, \quad (2)$$

где D_i – диаметр пенопластовой изоляции; N – обороты шнека экструдера; V – скорость изолирования; δ – степень пористости; d – диаметр внутреннего проводника; K_1, K_2 – коэффициенты, определяемые конструктив-

Екатерина Олеговна Солякова, аспирант.

ными размерами матрицы, червяка в выходной зоне прессы и диаметром внутреннего проводника.

Основным показателем качества коаксиального кабеля является однородность волнового сопротивления [1]:

$$Z = 60 \sqrt{\ln \frac{D}{D_{is}} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\varepsilon_{is}} \cdot \ln \frac{D_{is}}{d} \cdot \ln \frac{D}{d}}, \quad (3)$$

где d – диаметр внутреннего проводника; D – внутренний диаметр внешнего проводника; D_{is} – диаметр изоляции; ε_{is} – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции.

Изолирование кабельной жилы осуществляется на экструзионной линии. После установления требуемой температуры поступающий в экструдер полиэтилен плавится и дозируется на медный проводник. Уравнение теплового баланса приведено в [2]:

$$\begin{aligned} \rho C (V_x \frac{\partial T}{\partial x_1} + V_y \frac{\partial T}{\partial y_1} + \bar{V}_z \frac{\partial T}{\partial z_1}) = & -(\frac{\partial q_x}{\partial x_1} + \frac{\partial q_y}{\partial y_1}) + (\sigma_{xx} \frac{\partial V_x}{\partial x_1} + \sigma_{yy} \frac{\partial V_y}{\partial y_1}) \\ & + \sigma_{xy} (\frac{\partial V_x}{\partial y_1} + \frac{\partial V_y}{\partial x_1}) + \sigma_{xz} \frac{\partial V_z}{\partial x_1} + \sigma_{yz} \frac{\partial V_z}{\partial y_1} \end{aligned} \quad (4)$$

где ρ – плотность пластмассы; V_x, V_y, V_z – составляющие скорости движения пластмассы по осям x_1, y_1, z_1 ; P – давление; T – температура; \bar{V}_z – средняя скорость (для твердой фазы – скорость пробки, для расплава полимера – средняя скорость в расплаве полимера); C – удельная теплоемкость расплава, выраженная в единицах механической работы; σ_{ij} – компоненты тензора напряжений (напряжение сдвига, возникающее в результате действия вязких сил, – симметричный тензор второго ранга).

Изменение оборотов шнека экструдера приводит к изменению температуры и вязкости. Эффективная вязкость расплава полимера η_a определяется уравнением [3]

$$\eta_a = \mu_0 e^{-b(T-T_0)} \left(\frac{I_2}{2} \right)^{\frac{n-1}{2n}}. \quad (5)$$

Массовая производительность зоны дозирования экструдера Q_d может быть рассчитана по формуле

$$Q_d = \rho_p \bar{V}_z h \varpi \quad (6)$$

где ρ_p – плотность расплавленной пластмассы; ϖ – ширина канала экструдера.

Скорость движения расплава полимера вдоль канала шнека [1]

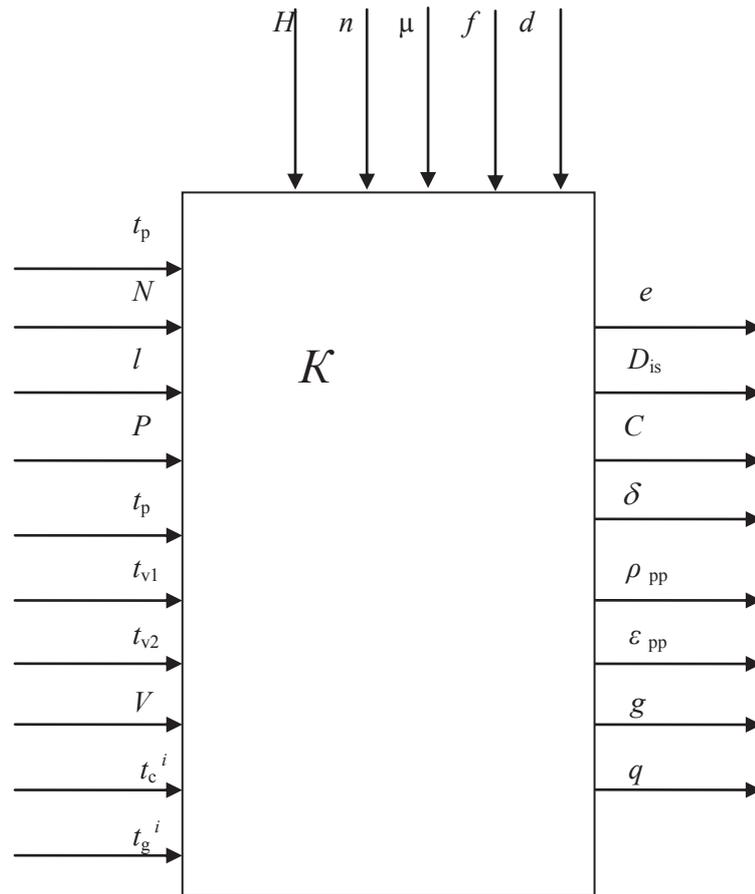
$$\bar{V}_z = \frac{\pi \rho V}{4 \rho_p h \varpi} (D_{is}^2 - d_{pr}^2) \delta \quad (7)$$

$$\delta = \frac{V_b}{V_{pp}} = 1 - \frac{\rho_{pp}}{\rho_p} \quad (8)$$

$$\bar{V}_z = \frac{\pi \rho V (1 - \delta)}{4 \rho_p h \omega} (D_{is}^2 - d_{pr}^2) = \frac{\pi \rho_{pp} V}{4 \rho_p h \omega} (D_{is}^2 - d_{pr}^2) \quad (9)$$

где V_b – объем воздушных включений; V_{pp} – объем пенопласта; ρ_p – плотность сплошной пластмассы; ρ_{pp} – плотность пенопластовой изоляции кабельной жилы.

После наложения изоляции кабель попадает в первую ванну охлаждения.



Блок-схема многомерного звена – экструдера для наложения химически вспененной изоляции на жилу кабеля

Экструдер с ванной охлаждения, на котором осуществляется наложение пористой изоляции, является сложным многомерным объектом. На рисунке представлена матрица оператора многомерного звена [1].

Входными переменными данного многомерного звена являются: t_p – температура предварительно нагретого внутреннего проводника; N – обороты шнека экструдера; l – расстояние от кабельной головки до первой ванны охлаждения; P – давление в головке; t_p – температура расплава; t_{v1} – температура воды в первой ванне охлаждения; t_{v2} – температура воды во второй ванне охлаждения; V – скорость изолирования; t_c^i – температура i -й зоны нагрева цилиндра экструдера ($i = 1 \div 5$); t_g^i – температура i -й зоны нагрева головки. Помехи: H – уровень гранул пластмассы в загрузочном бункере; h – индекс течения пластмассы; μ – вязкость пластмассы; f – натяжение проводника; d – диаметр внутреннего проводника.

Контролируемые выходные переменные: D_{is} – диаметр изоляции; C – погонная емкость изоляции; e – эксцентриситет внутреннего проводника относительно изоляции. Неконтролируемые параметры: ρ_{pp} – плотность изоляции; ε_{pp} – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции; δ – степень пористости изоляции; q – зазор между внутренним проводником и изоляцией.

Емкость коаксиального кабеля может быть определена [1] как

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{is}}{\varepsilon_{is} \ln \frac{D}{D_{is}} + \ln \frac{D_{is}}{d}}, \quad (10)$$

где ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума;

ε_{is} – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции.

Связь параметров, контролируемых на отдельных технологических операциях и формируемых при достижении стабилизации режимных показателей, определяют основные параметры качества кабеля с учетом возможных отклонений.

$$Z(x) = \frac{e}{\sqrt{\varepsilon_{pp}(x)}} \ln \sqrt{\frac{4g(x) \cdot (\varepsilon_p - 1)}{d^2 \pi \rho_p [\varepsilon_{pp}(x) - 1]}} + 1. \quad (11)$$

Данное выражение показывает зависимость волнового сопротивления кабеля от технологических параметров качества, таких как ε_{pp} – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции, $g(x)$ – масса изоляции на единицу длины проводника [1].

Приведенные выше выражения позволяют сделать вывод, что для устранения неоднородностей и достижения требуемых эксплуатационных показателей качества кабеля как канала связи необходимо управлять режимными показателями на каждой технологической операции производственной линии, основываясь на главных принципах системного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Митрошин В.Н.* Автоматическое управление объектами с распределенными параметрами в технологических процессах изолирования кабелей связи. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 182 с.
2. *Торнер Р.В.* Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
3. *Виноградов Г.В., Малкин А.Я.* Реология полимеров. – М.: Химия, 1977. – 256 с.

Статья поступила в редакцию 2 февраля 2016 г.

TELECOMMUNICATION CABLE EFFICIENCY PERFORMANCE SIMULATION BY MEANS OF THE SYSTEM APPROACH

E.O. Soliakova

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

The paper deals with the simulation models of performance efficiency of the telecommunication cable as a telecommunication line formed in different manufacturing processes. The performance dependence on manufacturing conditions is presented.

Keywords: *system approach, automation, cable manufacture.*

Ekaterina O. Soliakova, Postgraduate Student.