

## ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА ПОЛИМЕРА НА ВЫХОДЕ ЭКСТРУДЕРА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ\*

*А.С. Нечаев, В.Н. Митрошин*

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

*Произведен анализ зависимостей эксплуатационных показателей качества коаксиального и LAN-кабелей от коэффициента пористости при наложении на токопроводящую жилу химически вспененной изоляции. Была определена зависимость между временем пребывания полимера в зоне дозирования и его температурой для обеспечения 90%-го разложения порофора, на основании чего были получены численные значения изменения волнового сопротивления и коэффициента отражения отдельных марок кабелей при колебаниях температуры расплава на выходе экструдера в пределах  $160 \pm 0,5$  °С.*

**Ключевые слова:** температура расплава полимера, пористость изоляции, коаксиальный кабель, LAN-кабель, волновое сопротивление, коэффициент отражения.

Температура расплава полимера на выходе экструдера, формируемая в зоне дозирования, является одним из основных параметров, влияющих на формирование контролируемых в течение технологического процесса параметров изоляции. К контролируемым величинам относятся диаметр и погонная емкость изолированной токопроводящей жилы, которые определяют эксплуатационные показатели качества кабеля как канала связи.

Одним из основных эксплуатационных параметров кабелей связи является волновое сопротивление, которое, например, для коаксиального ( $Z_{Bк}$ ) и LAN-кабеля ( $Z_{BLAN}$ ) определяется соответственно формулами [1, 2]

$$Z_{Bк} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_3}} \ln \frac{D}{d}; \quad (1)$$

$$Z_{BLAN} = \sqrt{\frac{\mu Q(k_m r)[D(\epsilon_3 + 1) + d(\epsilon_3 - 1)] \ln\left(\sqrt{(D^2 - d^2)/d^2} + D/d\right)}{2\pi\epsilon_0\epsilon_3 D}}, \quad (2)$$

где  $L$  – погонная индуктивность кабеля;  
 $C$  – погонная емкость кабеля;  
 $\epsilon_3$  – эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции;  
 $D$  – диаметр изоляции кабеля, для LAN-кабеля диаметры каждой изолированной жилы витой пары принимаются равными;  
 $d$  – диаметр токопроводящей жилы кабеля, для LAN-кабеля диаметры каждой жилы также принимаются равными;  
 $\mu$  – магнитная проницаемость изоляции;

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №11-08-01171-а и №12-08-00277-а).

*Александр Сергеевич Нечаев, аспирант.*

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

$Q(k_m r)$  – функционал, определяемый коэффициентом вихревых токов  $k_m$  и радиусом проводников  $r$  ;  
 $\varepsilon_0 = 10^{-9}/36\pi$  – электрическая постоянная.

Из (1) и (2) видно, что волновые сопротивления кабелей зависят от диаметра изоляции и ее эквивалентной диэлектрической проницаемости. Из источников [1, 3] известно, что диаметр изоляции зависит от параметров технологического процесса следующим образом:

$$D = \sqrt{\frac{4h\varpi\bar{D}N \cos \varphi}{V} + d^2}. \quad (3)$$

Здесь  $h$  – глубина канала экструдера в зоне дозирования;  
 $\varpi$  – ширина канала шнека в зоне дозирования;  
 $\bar{D}$  – внутренний диаметр цилиндра экструдера;  
 $N$  – число оборотов шнека в минуту;  
 $\varphi$  – угол захода червяка цилиндра экструдера в зоне дозирования;  
 $V$  – скорость протяжки токопроводящей жилы через формирующее устройство экструдера.

Эквивалентная проницаемость изоляции определяется материалом изолирования, в частности диэлектрической проницаемостью полимера, а также степенью пористости изоляции, если изолирование производится вспененным полимером:

$$\varepsilon_{nn} = \varepsilon_n \frac{1 + 2\varepsilon_n + 2(1 - \varepsilon_n)\delta}{1 + 2\varepsilon_n - (1 - \varepsilon_n)\delta}, \quad (4)$$

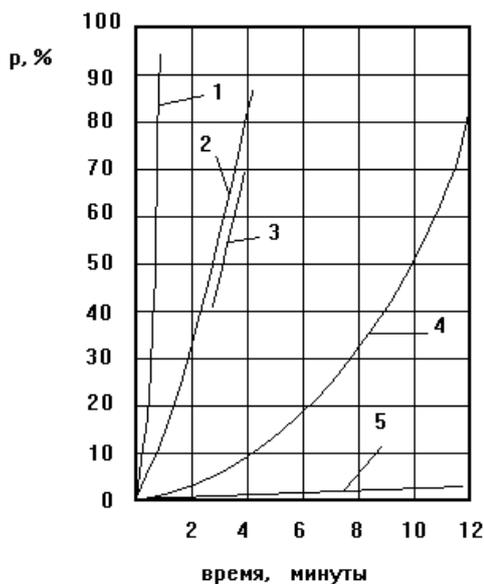
где  $\varepsilon_{nn}$  – диэлектрическая эквивалентная проницаемость пенопластовой изоляции;  
 $\varepsilon_n$  – диэлектрическая проницаемость полимера;  
 $\delta$  – коэффициент пористости изоляции, причем если вспенивание полимера происходит с помощью добавления в него гранул специального реагента (химическое вспенивание), газообразование которого напрямую зависит от температуры его нагрева, то, следовательно, управляя температурой расплава полимера на выходе зоны дозирования, можно регулировать эквивалентную диэлектрическую проницаемость изоляции.

При наложении на токопроводящую жилу химически вспененной изоляции считается, что порообразование в экструдере быть не должно, газ в расплаве полимера должен находиться в растворенном состоянии и часть газообразователя (порофора) (5÷10 %) должна оставаться неразложившейся до матрицы в кабельной головке [4]. В [4] приведен график зависимости процента разложения порофора  $p$  от температуры и времени нахождения в экструдере (рис. 1). На основании этого авторами получена зависимость времени пребывания порофора для обеспечения 90%-го разложения на выходе из зоны дозирования от изменения температуры полимера (рис. 2).

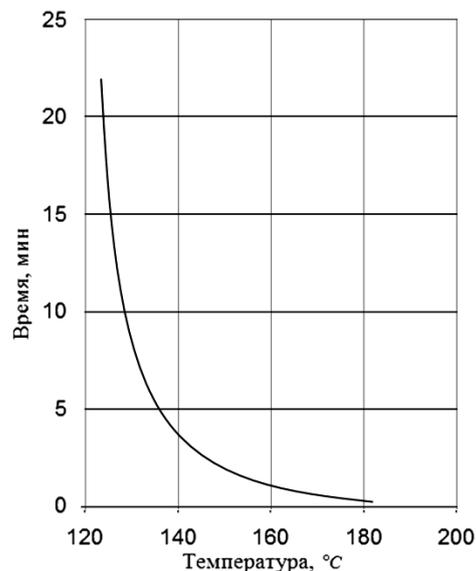
Учитывая (4) в (1) и (2), получаем зависимости волновых сопротивлений кабелей от степени пористости:

$$Z_{Bк}(\delta) = 60 \cdot \left[ \varepsilon_n \cdot \frac{1 + 2\varepsilon_n + 2(1 - \varepsilon_n)\delta}{1 - 2\varepsilon_n - (1 - \varepsilon_n)\delta} \right]^{-1/2} \ln \frac{D}{d}, \quad (5)$$

$$Z_{BLAN}(\delta) = \left\{ \mu Q(k_m r) \left\{ D \left[ 2\varepsilon_n^2 + 3\varepsilon_n + (2\varepsilon_n - 1)(1 - \varepsilon_n)\delta + 1 \right] + \right. \right. \\ \left. \left. + d \left[ 2\varepsilon_n^2 - 3\varepsilon_n + (2\varepsilon_n + 1)(1 - \varepsilon_n)\delta - 1 \right] \ln \left( \sqrt{(D^2 - d^2)/d^2} + D/d \right) \right\}^{1/2} \times \right. \\ \left. \times \left[ 2\pi\varepsilon_0 D \left[ 2\varepsilon_n^2 + \varepsilon_n + 2\varepsilon_n(1 - \varepsilon_n)\delta \right] \right]^{-1/2} \right. \quad (6)$$



Р и с. 1. Величина разложения порофора в экструдере в зависимости от времени пребывания и температуры, °С: 1 – 180; 2 – 160; 3 – 158; 4 – 140; 5 – 120



Р и с. 2. Зависимость времени пребывания расплава полимера в зоне дозирования экструдера от изменения его температуры для получения 90%-го разложения порофора

Имея данные соотношения, а также задавшись требованиями государственных стандартов к волновому сопротивлению кабелей связи [5, 6], авторы определили, что для выполнения условий ГОСТ для коаксиального кабеля марки РК 75-24-18 ( $Z_{Bк} = 75 \pm 3 \text{ Ом}$ ) и для LAN-кабеля марки КССПВ ( $Z_{BLAN} = 100 \pm 15 \text{ Ом}$ ) степень пористости изоляции коаксиального кабеля должна быть равна  $53 \pm 4 \%$  при отношении  $D/d = 6$  (характерно для радиочастотного коаксиального кабеля марки РК 75-24-18), а для LAN-кабеля  $\delta = 68 \pm 6,5\%$  при отношении диаметра изоляции одной жилы к диаметру ее проводника, равном 1,8 (характерно для LAN-кабеля марки КССПВ категории 5е). Авторами было определено, что данные границы степени пористости для изоляции из полиэтилена высокого давления (низкой плотности) соответствуют максимально допустимым колебаниям температуры на выходе экструдера для коаксиального кабеля в пределах  $160 \pm 3,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , для витой пары –  $160 \pm 5,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В работе [7] авторами была разработана автоматическая система распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера как объектом с распределенными параметрами. Численное моделирование показало, что данная система обеспечивает отклонение температуры расплава полимера при наличии внешних возмущающих воздействий, обычно имеющих ме-

сто при работе технологического оборудования, в пределах  $160 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Было определено, что при таких изменениях температуры расплава полимера степень пористости изоляции для коаксиального и LAN-кабелей будет соответственно равна  $53 \pm 0,6$  и  $68 \pm 0,9$  %. Согласно формулам (5) и (6), волновые сопротивления кабелей будут равны  $Z_{BK} = 75 \pm 0,15 \text{ Ом}$  и  $Z_{BLAN} = 100 \pm 1,26 \text{ Ом}$ .

Согласно источникам [1, 2], одним из основных показателей качества кабеля как канала связи является коэффициент отражения, зависящий от волнового сопротивления и для коаксиального кабеля выражающийся следующей формулой:

$$\Gamma_{\text{ex}} = \frac{1}{2Z_0} \int_0^l \frac{dZ_{BK}(x)}{dx} \exp(-2\gamma x) dx. \quad (7)$$

Здесь  $Z_0$  – номинальное значение волнового сопротивления коаксиального кабеля;

$l$  – длина кабеля;

$\gamma$  – коэффициент распространения электромагнитной волны по кабелю;

$x$  – осевая координата по длине кабеля;

$dZ_{BK}(x)/dx$  – отклонение волнового сопротивления в месте неоднородности от номинального волнового сопротивления коаксиального кабеля.

Коэффициент отражения кабеля определяет верхнюю частоту спектра передаваемого сигнала, которая численно может быть выявлена из условия  $\Gamma_{\text{ex}} \leq 1,25/\sqrt{f_{\text{max}}}$ , где  $f_{\text{max}}$  есть верхняя частота спектра сигнала. С использованием этого выражения была найдена максимальная частота спектра передаваемого сигнала для коаксиального кабеля марки РК 75-24-18 при волновом сопротивлении  $75 \pm 3 \text{ Ом}$  и  $75 \pm 0,15 \text{ Ом}$ . В первом случае верхняя частота спектра передаваемого сигнала не может превышать 1,57 ГГц; во втором случае –  $f_{\text{max}} = 2,06 \text{ ГГц}$ .

Кроме указанного выше, температура полимера также влияет на его вязкость, которая определяет «прилипаемость» полимера к токопроводящей жиле. При отслоении изоляции от жилы эксплуатационные характеристики кабеля существенно меняются от номинальных [2], что приводит к возникновению ошибок при передаче высокочастотного сигнала.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная автоматическая система распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера как объектом с распределенными параметрами позволяет существенно улучшить электрические характеристики кабелей связи с пенопластовой изоляцией, полученной с помощью химического вспенивания полимера в процессе его переработки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефимов И.Е., Останкович Г.А. Радиочастотные линии передачи. Радиочастотные кабели. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Связь, 1977. – 408 с.
2. Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
3. Чистковский Б.К. Алгоритмизация комбинированного управления и контроля экструзии кабельной изоляции // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2005. – № 37. – С. 70-73.
4. Рауендаль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 с.
5. ГОСТ 11326.85–79. Кабель радиочастотный марки РК 75-24-18. Технические условия. Дата изд. 01.05.2004. Дата переизд. 19.07.2010. – 7 с.

6. ГОСТ Р 53246–2008. Системы кабельные структурированные. Дата введения 25.12.2008. – 121 с.
7. *Нечаев А.С., Митрошин В.Н.* 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 17 июля 2013 г.*

## **EFFECT OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS OF THE POLYMER MELT AT EXTRUDER OUTLET PERFORMANCE ON THE FORMATION OF CABLES**

***A.S. Nechaev, V.N. Mitroshin***

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

*The work was carried dependency analysis of operating characteristics and the quality of the coaxial cable from the LAN-void ratio when applied to the phase conductor is chemically foamed insulation. Was determined relationship between the residence time of the polymer in the metering and temperatures for decomposition of 90% blowing agent, based on which numerical values obtained impedance changes and the reflectivity of individual brands of cables due to temperature fluctuations in the melt within the extruder outlet  $160 \pm 0,5$  °C.*

***Keywords:*** *The polymer melt temperature, porosity insulation, coaxial cables, LAN-cable, impedance, the reflection coefficient.*

---

*Alexander S. Nechaev, Postgraduate Student.  
Vladimir N. Mitroshin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*