



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ АСУ НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРУЗИИ

С.А. Кижаяев (ЗАО "Самарская кабельная компания")

Рассматривается возможность определения температуры расплава полимеров при отсутствии датчиков ее прямого измерения в ТП экструзии. Приводятся вывод зависимости температуры расплава полимера от измеряемых технологических параметров, графики ее изменения и схема вычислителя температуры расплава, выполненного на базе отдельного контроллера.

Ключевые слова: температура, расплав полимера, экструзия, измерители температуры расплава, косвенное измерение температуры, аналитическое описание процесса.

При изготовлении проводов и кабелей методом экструзии важным является знание температуры расплава перерабатываемых пластикутов, по существу определяющей качество их наложения на заготовки и электрическую прочность [1, 2].

На рынке имеются измерители температуры расплава пластикутов прямого измерения, производимые западными фирмами. Но далеко не все небольшие кабельные предприятия могут их закупить из-за значительной цены этих измерителей, а также из-за использования в производстве старого оборудования, требующего модернизации для использования с современными измерителями температуры [3]. Также на рынке имеются системы косвенного измерения температуры расплава [4], выполненные на распределенных элементах, неудобных в эксплуатации и имеющих невысокую точность измерения. И те, и другие не представляют возможности моделировать ТП экструзии.

Предлагается рассмотреть вариант косвенного измерения температуры расплава перерабатываемых пластикутов, который позволит использовать технологические параметры, измеряемые с помощью установленных датчиков, и выполнить расчеты либо вручную, либо с помощью пакета Excel, либо с помощью отдельно установленной компьютерной системы измерения. Предлагаемый подход значительно повышает точность измерения и предоставляет возможность моделирования ТП экструзии во время изготовления продукции.

На основе уравнения теплового баланса изоляции при ее наложении на заготовку с учетом выделения тепла от нагрева и трения для перепада температур пластикута от входа в экструдер до выхода из головки запишем уравнение для температуры расплава  $\Delta T$ :

$$\Delta T m_n c_n + T_u m_u c_u + T_w m_w c_w + T_z \cdot m_z \cdot c_z = P_n \cdot \dot{\eta} \cdot t_n + P_\partial \cdot t_2 \quad [\text{Дж}], \quad (1)$$

где  $m_n, c_n$  – масса полимера внутри экструдера и его теплоемкость,  $m_u c_u, m_w c_w, m_z, c_z$  – массы металла цилиндра, шнека и головки экструдера и их теплоемкости,  $T_u, T_w, T_z$  – виртуальные температуры нагрева

металла цилиндра, шнека и головки экструдера,  $P_n, P_\partial$  – мощности нагрева и двигателя экструзии,  $\dot{\eta}, t_n$  – КПД и время нагрева полимера, и металла цилиндра, шнека и головки,

$t_2 = \frac{L_w + l_z}{v_3}$  – время выноса пластикута из экструдера,

$L_w, l_z, v_3 = \frac{D^2 - d^2}{D_u^2 - D_w^2} \cdot v_k$  – длина шнека и головки эк-

струдера, скорость движения полимера внутри цилиндра и головки экструдера, определенная на основании уравнения материального баланса при выносе полимера, скорость провода, кабеля,  $D, d, D_u, D_w$  – соответственно диаметр провода, кабеля по изоляции, диаметр заготовки, диаметры цилиндра и шнека экструдера,  $c_w = c_u = c_z = c_m$ .

Мощность нагрева равна:

$$P_n = P_{nn} + P_{n(u+w+z)} [\text{Вт}], \quad (2)$$

где  $P_{nn}, P_{n(u+w+z)}$  – мощности нагрева полимера и цилиндра со шнеком и головкой.

После преобразования (1) получено:

$$\Delta T = P_n \frac{\eta \cdot t_n}{c_n \cdot m_n} + P_{\partial} \frac{(L_w + l_z)(D_u^2 - D_w^2)}{c_n \cdot m_n (D^2 - d^2) \cdot v_k} - \frac{c_m \cdot (T_u \cdot m_u + T_w \cdot m_w + T_z \cdot m_z)}{c_n \cdot m_n} [\text{град}]. \quad (3)$$

В (3) параметры  $T_u, T_w, T_z, m_u, m_w, m_z$  нельзя измерить. Из уравнения (2) аналитически находим мощность нагрева полимера  $P_{nn}$ , которую также нельзя измерить:

$$P_{nn} = P_n - P_{n(u+w+z)}. \quad (4)$$

Сравнивая (2) и (3) находим температуру расплава полимера:

$$\Delta T = P_n \frac{\eta \cdot t_n}{c_n \cdot m_n} + P_\partial \frac{(L_w + l_z)(D_u^2 - D_w^2)}{c_n \cdot m_n (D^2 - d^2) \cdot v_k} - P_{n(u+w+z)} \frac{\eta \cdot t_{n(u+w+z)}}{c_n \cdot m_n}, \quad (5)$$

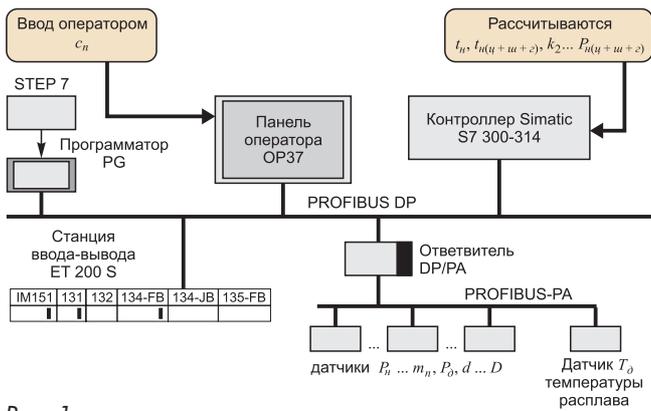


Рис. 1

$$\text{где } \frac{c_n \cdot (T_u \cdot m_u + T_{ui} \cdot m_{ui} + T_z \cdot m_z)}{c_n \cdot m_n} = P_{n(u+u+z)} \frac{\eta \cdot t_{n(u+u+z)}}{c_n \cdot m_n} [\text{Дж}], \quad (6)$$

где  $t_{n(u+u+z)}$  – время нагрева цилиндра, шнека и головки без полимера.

В уравнении (5) мощности  $P_n$  и  $P_{n(u+u+z)}$  вычисляются, а значения времени  $t_n$  и  $t_{n(u+u+z)}$  определяются при разогреве экструдера до установленных технологических значений температур.

Расшифруем значения виртуальных температур в левой части равенства (6). Можно представить:

$$P_{n(u+u+z)} \frac{\eta \cdot t_{n(u+u+z)}}{c_n \cdot m_n} = c_m \left[ \sum_{i=1}^{i=n} (T_{ui} \cdot m_{ui}) + \sum_{i=1}^{i=n} (T_{ui} \cdot m_{ui}) + \sum_{i=1}^{i=p} T_{zi} \cdot m_{zi} \right] \cdot (7)$$

где  $T_{ui}$ ,  $T_{ui}$ ,  $T_{zi}$ ,  $m_{ui}$ ,  $m_{ui}$ ,  $m_{zi}$  – температуры и массы зон цилиндра, шнека и головки экструдера, которые реально измеряются;  $n$ ,  $p$  – число зон цилиндра, шнека и головки.

Из (6) и (7) находим:

$$\sum_{i=1}^{i=n} T_{ui} \cdot m_{ui} \cdot (8)$$

По (8) можно построить распределение температур по шнеку экструдера.

На базе формулы (5-8) разработана программа косвенного вычисления температуры расплава полимера при экструзии, предназначенная для вычисления температуры расплава полимера на экструдерах по данным от сенсоров на базе отдельно устанавливаемого контроллера. Область ее применения: производство проводов (кабелей, труб, листов и т.п.) из полимеров.

На рис. 1 представлена функциональная схема вычислителя температуры расплава, выполненного на базе отдельного контроллера.

**Кижяев Станислав Алексеевич** – главный электроник ЗАО "Самарская кабельная компания".  
 Контактный телефон (846) 2-282-455.  
 E-mail: kijaev@samaracable.ru

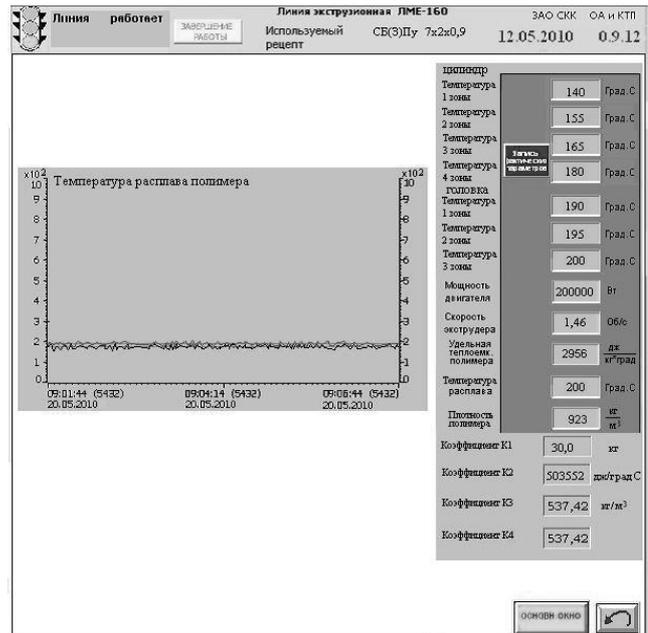


Рис. 2

На рис. 2 показаны графики температур расплава, построенные без/с применением датчика расплава для прессы ЛМЕ-160 и коэффициента адаптации, погрешность расчета которого составила  $\leq 3,2 \%$ , что вполне приемлемо по условиям технологии.

Таким образом, предложенный метод измерения позволяет получить значительный экономический эффект особенно при изучении и моделировании ТП при отсутствии датчиков прямого измерения требуемых параметров.

Экономический эффект заключается в повышении качества проектирования АСУТП, уменьшении времени проектирования и повышении производительности за счет уменьшения времени на простой оборудования:

- время на проектирование, моделирование и доводку сокращается на 28...31%,
- время простоя технологического оборудования, необходимое для проведения экспериментов, составило  $\leq 12...15 \%$  от требуемого ранее.

**Список литературы**

1. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д., Крыжановская Ю.В. Технические свойства полимерных материалов. С.-Петербург : Профессия, 2005.
2. Леонов В.М., Пешков И.Б., Рязанов И.Б., Холодный С.Д. Основы кабельной техники. М.: АCADEMIA. 2006.
3. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижяев С.А. Автоматизация и наладка кабельного оборудования. Самара. ИЦ Книга, 2001.
4. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижяев С.А. Способ контроля температуры расплава пластикутов и система ее измерения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 6.