

СТРУКТУРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ РАСПЛАВА ПОЛИМЕРА В ЗОНЕ ДОЗИРОВАНИЯ ОДНОЧЕРВЯЧНОГО ЭКСТРУДЕРА

А.С. Нечаев, В.Н. Митрошин

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

Осуществлено структурное моделирование распределенной системы автоматического управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера как объектом с распределенными параметрами при воздействии распределенных возмущающих воздействий. На основании этого синтезирована и отлажена численная модель данной системы, получены ее переходные характеристики.

Ключевые слова: *экструдер, зона дозирования, температура расплава полимера, распределенное управление, моделирование.*

Управление сложными многооперационными процессами в настоящее время вызывает большой интерес специалистов в различных отраслях промышленности. Это, в первую очередь, связано с необходимостью повышения конкурентоспособности изготавливаемой продукции вследствие улучшения ее качества, что непременно ведет к ужесточению требований, предъявляемых к технологическим параметрам производства изделия. Все вышесказанное в полной мере относится к производству токопроводящих кабелей связи.

Важнейшим этапом производства кабелей связи является наложение полимерной изоляции на токопроводящую жилу, которое осуществляется экструзионным методом. Именно в ходе данного процесса формируются основные эксплуатационные показатели кабеля как канала связи.

Процесс изолирования можно представить в виде совокупности различных функциональных участков, таких например, как участок транспортировки гранул полимера до загрузочной зоны экструдера, участок плавления полимера, участок отжига токопроводящей жилы, участок наложения полимерной массы на отожженную жилу, участок охлаждения кабеля и другие. Такая совокупность представляет собой многосвязную систему, направленную на достижение поставленной задачи, а именно получение кабеля связи как продукта высокого качества. Поэтому работа участков должна быть согласованна и оптимизирована по выбранному критерию качества, что невозможно осуществить без помощи систем автоматического управления технологическими параметрами процесса.

Одним из ключевых участков в процессе наложения изоляции является зона дозирования экструдера, на выходе которой расплав полимера должен обладать температурой, заложенной технологическими требованиями. Согласно источникам [1 – 3],

Работа проведена с использованием оборудования ЦКП «Исследование физико-химических свойств веществ и материалов» Самарского государственного технического университета при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Александр Сергеевич Нечаев, аспирант.

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

именно температура расплава полимера на выходе зоны дозирования влияет на формирование диаметра и диэлектрической проницаемости изоляции, а следовательно, и на погонную емкость кабеля, что особенно значимо при изготовлении высокочастотных кабелей.

Для построения оптимальной в некотором смысле системы автоматического управления (САУ) температурой расплава полимера в зоне дозирования необходимо иметь модель данного объекта, отражающую основные особенности реального объекта.

Анализ источников показал, что основными особенностями рассматриваемого объекта являются неравномерное распределение температуры вдоль канала шнека экструдера и наличие внутренних источников тепла, вызванных температурной аномалией вязкости и циркуляционно-поступательным течением расплава в канале. Для учета этих особенностей следует рассматривать данный объект как объект управления с распределенными параметрами (ОРП). Такое представление объекта с учетом некоторых допущений, не искажающих описания поведения объекта, но существенно упрощающих математическую модель, осуществлено авторами в работе [4], в которой найдена передаточная функция $W_p(z, p) = T_p(z, p) / T_u(z, p)$, где $T_p(z, p)$ – температура расплава полимера, $T_u(z, p)$ – температура цилиндра на границе металл/полимер, z – продольная координата канала шнека.

Исходя из физики процесса конвективного нагрева при моделировании САУ температурой расплава необходимо принимать во внимание инерционность процесса передачи тепла от нагревателя к полимеру. С учетом геометрических и теплофизических параметров цилиндра экструдера была получена передаточная функция $W_u(z, p) = T_n(z, p) / T_u(z, p)$ (здесь $T_n(z, p)$ – температура нагревателя), в первом приближении описывающая процесс прохождения теплового потока от нагревателя к расплаву через стенку цилиндра в виде передаточной функции типового апериодического звена первого порядка.

При наложении кабельной изоляции в цеховых условиях нельзя не учитывать влияние на систему различных возмущающих факторов, которые носят случайный характер и могут быть вызваны, например, изменением температуры окружающей среды, изменением марки загружаемого полимера в процессе изолирования и т. п. Данное воздействие ($w_g(z, p)$) также изменяется не только с течением времени, но и имеют пространственную распределенность, которую можно представить в форме произведения двух функций, одна из которых зависит только от времени ($\mathfrak{G}_g(\tau)$), а другая – только от пространственного распределения ($\varphi_g(z)$) [5]. В структурной схеме функцию, зависящую от времени, представим в операторном виде $\mathfrak{G}_g(p)$.

Построение САУ по принципу отклонения между задающим сигналом $U_z(\hat{z}, p)$ и сигналом текущего значения управляемой величины $U_{oc}(\hat{z}, p)$ (сигналом обратной связи) позволяет рассматривать систему как одноконтурную с сосредоточенным регулятором, имеющим передаточную функцию $W_{pez}(p)$. Это справедливо для данного процесса, поскольку задающий сигнал представляет собой сосредоточенное воздействие, а сигнал обратной связи формируется термодатчиком (в большинстве случаев термопарой) и также является сосредоточенной величиной. На выходе регулятора образуется сосредоточенное управляющее воздействие $\mathfrak{G}_y(p)$, которое в произведении с передаточной функцией $\varphi_y(z)$, характеризующей пространственное рас-

пределение управляющего воздействия по всей длине нагревателя, формирует управляющее воздействие $w_y(z, p)$ на рассматриваемый ОРП.

При построении системы управления ОРП необходимо иметь представление об управляемости и наблюдаемости данного объекта [6].

В случае управления температурным полем расплава на выходе зон нагрева данный ОРП является управляемым, поскольку по технологии процесса нагрева полимера в экструдере возможно выбрать такое управляющее воздействие, которое в допустимых пределах способно при наличии внешних возмущений перевести объект из некоторого начального состояния в требуемое конечное.

Что касается условия наблюдаемости, а именно необходимости получения полной информации о функции выхода рассматриваемого объекта, то для нашего случая это представляется выполнимым, т. к. обусловлено наличием циркуляционного течения полимера в канале шнека, что делает расплав однородным по всему сечению, вследствие чего достаточно измерить температуру на выходе зоны нагрева одним датчиком.

Стоит отметить, что большинство экструзионных установок, применяющихся при переработке полимеров, позволяют вести управление двумя последними нагревателями зоны дозирования, однако ввиду сложности настройки одновременно двух регуляторов на практике чаще всего управляют только мощностью последнего нагревателя. В ряде случаев такой подход не позволяет обрабатывать возмущения, действующие на весь процесс нагрева полимера. Регулирование температуры расплава двумя зонами нагрева позволяет сократить ряд таких случаев ввиду увеличения длины канала шнека, где ведется регулирование, а следовательно, и времени регулирования, что позволяет системе успевать отработать влияющие на нее возмущения.

С учетом вышесказанного была построена структурная схема САУ данным ОРП (рис. 1).

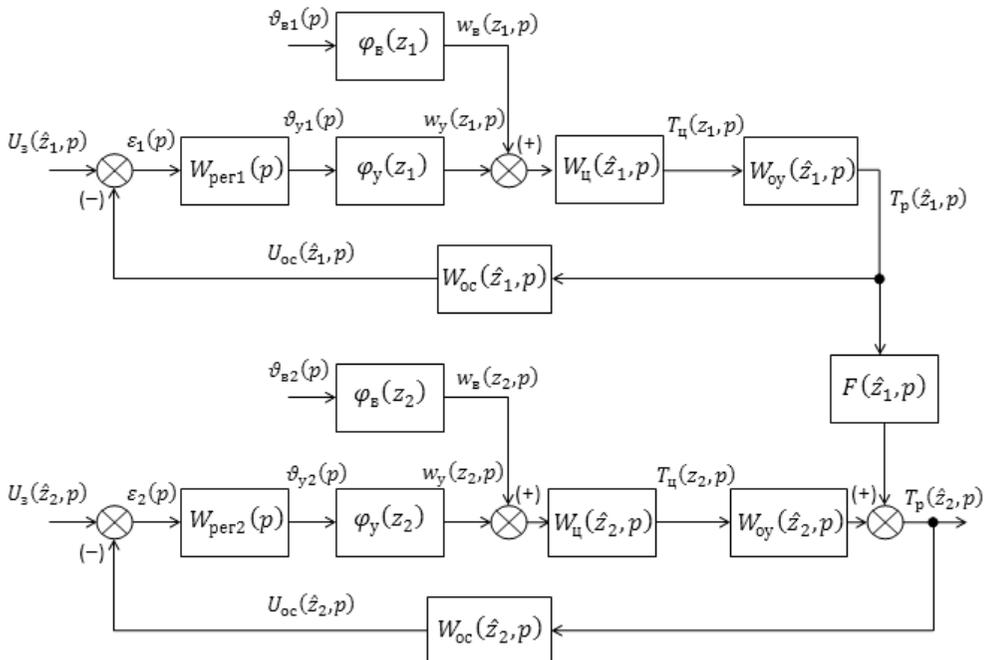


Рис. 1. Структурная схема САУ температурой расплава полимера с регулированием двух зон нагрева

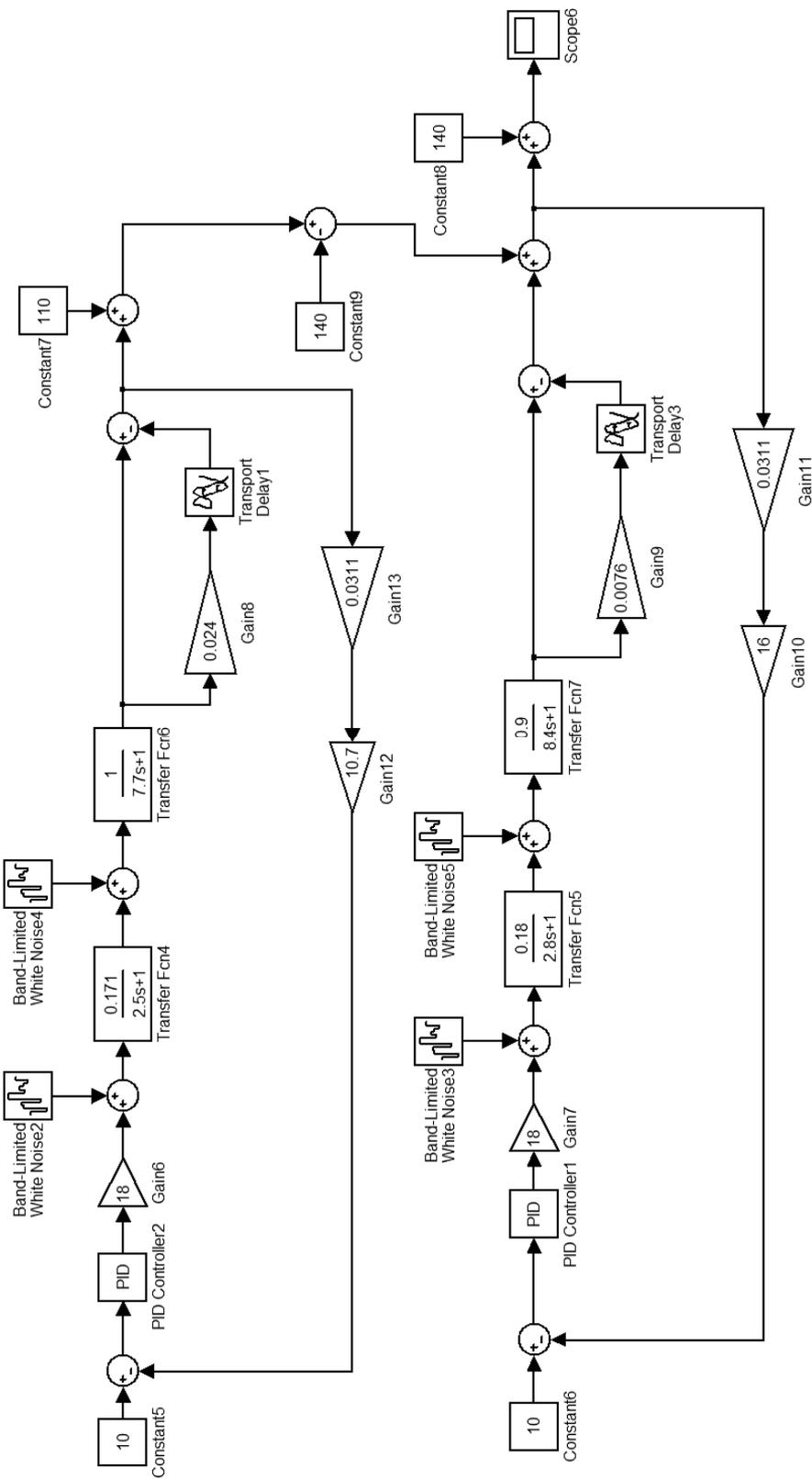


Рис. 2. Модель системы автоматического регулирования температуры расплава полимера с контролем двух последних зон нагрева цилиндра экструдера NOKIA-80

В схеме воздействия и блоки с индексом 1 описывают САУ рассматриваемого ОРП в зоне первого управляемого нагревателя со стороны загрузочной зоны экструдера, воздействия и блоки с индексом 2 – второго нагревателя. Величина $T_c(z, p)$ характеризует изменение температуры цилиндра у границы цилиндр/полимер. Величина $T_p(\hat{z}, p)$ определяет изменение температуры полимера на выходе зоны нагрева какого-либо из нагревателей и является скалярным выходом системы, контролируемым только в одной пространственной точке \hat{z} . Функция $F(\hat{z}_1, p)$ характеризует связь между выходной величиной ОРП первой зоны нагрева и выходной величиной второй зоны нагрева. Данная связь непременно должна входить в замкнутый контур регулирования второго нагревателя, что позволяет компенсировать отклонения выходной величины первого контура и соблюдать физику процесса изолирования методом экструзии.

С помощью полученной структурной схемы было проведено численное моделирование САУ температуры расплава полиэтилена низкой плотности в зоне дозирования одночервячного экструдера марки *NOKIA-80*. Анализ системы был осуществлен с использованием пакета *MatLab Simulink*. Модель данной системы приведена на рис. 2.

Все численные значения параметров ОРП были получены с учетом реологических особенностей расплава полимера, геометрии частей экструдера в зоне дозирования, а также технологических требований, предъявляемых к нагреву полиэтилена. Последние требования позволили задаться граничными и начальными условиями для рассматриваемого ОРП, что принципиально важно для решения данного класса задач.

В качестве распределенных возмущающих внешних воздействий были заданы случайные ступенчатые функции, влияющие соответственно на мощность нагревателей ($w_{в1}$ на рис. 3) и на расплав полимера в зоне нагрева ($w_{в2}$). Представленные возмущающие воздействия моделируют резкие перепады напряжения питания на нагревателе, перепады температуры окружающей среды, изменение характеристик полимера и т. п. Выбор данных функций возмущения мотивирован тем, что худший вариант влияния возмущения на объект при регулировании наблюдается в том случае, когда оно наступает внезапно или за очень короткий промежуток времени. В этом случае система регулирования может не успеть отработать поступившее возмущение.

Для регулирования мощности, подаваемой на нагреватели, в схему были введены ПИД-регуляторы. Параметры ПИД-регуляторов находились с помощью метода CHR (Chien, Hrones и Reswick) исходя из условий максимально быстрого нагрева расплава полимера в первой зоне нагрева с возможностью перерегулирования и быстрого вывода температуры на необходимый уровень без эффекта перерегулирования во второй зоне нагрева. Такой подход позволяет расплаву полимера быстрее достичь необходимой температуры, не вызывая эффекта спекания пластмассы вблизи стенок цилиндра экструдера, а также помогает избежать излишнего разложения порофора при наложении пористой изоляции.

Переходная характеристика данной системы с возмущающими воздействиями приведена на рис. 3. Из рисунка видно, что время переходного процесса данной системы составляет порядка 10 с, а также то, что регуляторы справляются с поданными на объект возмущениями, не допуская изменения температуры расплава полимера на выходе зоны дозирования больше 1°C , что является приемлемым результатом для изолирования высокочастотных кабелей связи.

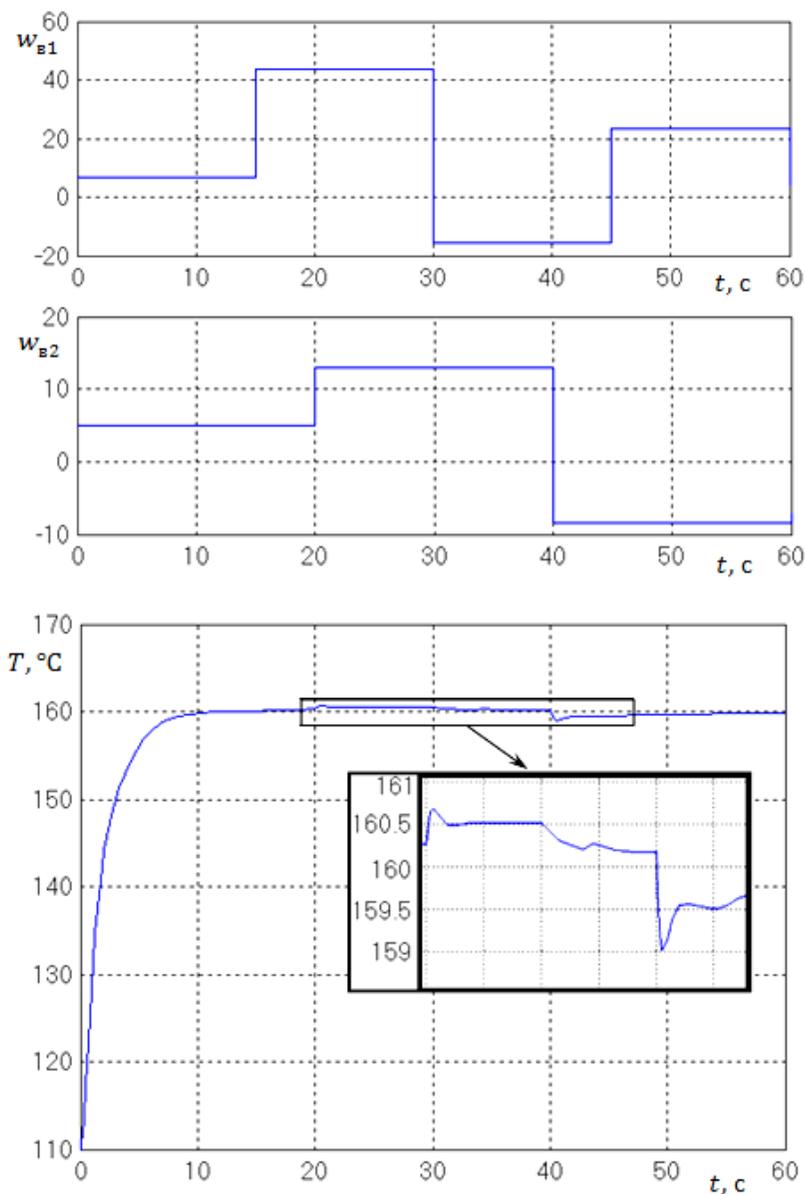


Рис. 3. График переходного процесса полученной системы автоматического регулирования температуры расплава полимера в зоне дозирования при управлении двумя последними зонами нагрева

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гроднев И.И., Фролов П.А. Коаксиальные кабели связи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с.
2. Вишняков Е.М., Хвостов Д.В. Производство кабелей связи и конформные отображения // КАБЕЛЬ-news. – 2010. – № 2. – С. 54-60.
3. Чотковский Б.К., Смородинов Д.А. Математическая модель витой пары радиочастотного кабеля объекта управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физ.-мат. науки. – 2008. – № 1 (16). – С. 113-118.
4. Митрошин В.Н., Нечаев А.С. Математическая модель течения расплава полимера в зоне дозиро-

вания одночервячного экструдера как объекта с распределенными параметрами // Ползуновский вестник. Измерение, контроль, информатизация: проблемы и перспективы технологий разработки и применения. – 2012. – № 3/2. – С. 13-16.

5. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высшая школа, 2003. – 299 с.
6. Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами. – М.: Высшая школа, 2005. – 292 с.

Статья поступила в редакцию 21 января 2013 г

STRUCTURAL AND NUMERICAL MODELING OF DISTRIBUTED CONTROL OF THE POLYMER MELTING TEMPERATURE IN A ZONE OF ONE-WORM EXTRUDER DISPENSING

A.S. Nechaev, V.N. Mitroshin

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

A structural modeling of distributed system that may automatically control the temperature of the polymer melting in the metering zone of one-worm extruder as an object with distributed parameters under the distributed disturbances influence is given in the paper. Based on that a numerical model of the system has been synthesized and debugged, and its transient response is received.

Keywords: *extruder, metering zone, the temperature of the polymer melt, distributed control, modeling.*