

УДК 677.494.6

**ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ  
К ПРОЦЕССУ ФОРМОВАНИЯ ВОЛОКОН  
И СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЕЙ**

*И.Н. СЕРЯКОВ, К.А. ПОЛЯКОВ, А.Е. ПОЛЯКОВ, Н.К. ПАВЛОВ*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)  
E-mail: office@msta.ac.ru

*Для построения привода в режиме постоянной скорости авторами предложена структурная схема канала управления экструдера и проанализированы качественные показатели САР, характеризующие динамические свойства канала управления экструдера.*

*For a driver construction in the condition of a constant speed the authors offer*

*the block diagramme of an extruding machine control path, and the qualitative indices of SAR defining dynamic properties of an extruding machine control path are analysed.*

**Ключевые слова:** формирование волокон и синтетических нитей, экструдер, схема канала управления, качественные показатели САР, шнек, расплав.

Производство нетканых материалов представляет собой объединение в один производственный цикл процессов формирования нитей, холстоформирования и скрепления. На современном рынке одно из лидирующих мест по производству машин фильерного способа производства нетканых материалов занимает фирма Reifenhäuser GmbH & Co.KG. Схема производства нетканых материалов фильерным способом на оборудовании фирмы Reifenhäuser GmbH & Co.KG Reicofil представлена на рис. 1.

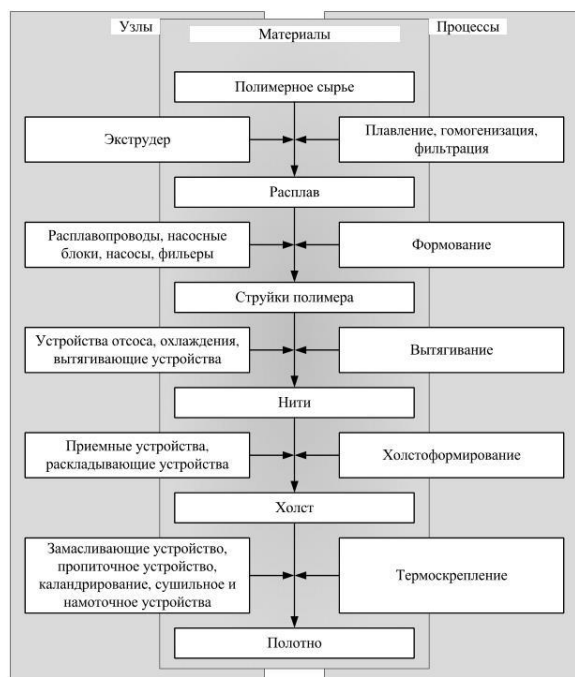


Рис. 1

Экструдерный способ получения качественного расплава является одним из новых и прогрессивных способов. Отличительной чертой плавильных устройств экструдерного типа является их универсальность в отношении переработки различных полимеров, быстрый переход от минимальной производительности к макси-

мальной, достигающей порой 6-10-кватратного значения, и практически неограниченная плавильная способность по вязкости. Вследствие плавления полимера между цилиндром и вращающимся шнеком расплав получается хорошо гомогенизированным, при этом заметно снижается количество наплывов и обрывность элементарных волокон. Положительным качеством экструдерного способа плавления является возможность вводить красители одновременно с полимером, благодаря чему процессы окраски и плавления совпадают. Вследствие того, что полимер в экструдере находится всего несколько минут, прирост низкомолекулярных соединений НМС незначителен (примерно 0,6...0,7%). Таким образом, волокно с экструдерных плавильных устройств получается с количеством НМС не менее 2%, что исключает последующие отделочные операции. На рис. 2 представлена схема экструдера.

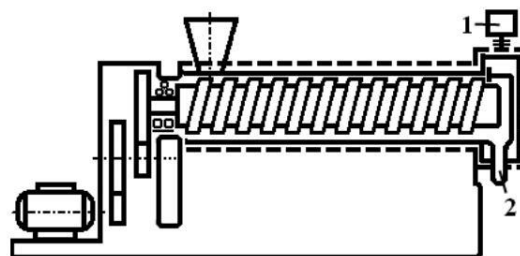


Рис. 2

Давление расплава в головке измеряется датчиком давления 1. В результате трения между поверхностями шнека и цилиндра, а также за счет подвода тепла от нагревателей полимер по мере своего продвижения к головке плавится, сжимается и превращается постепенно в расплавленную массу, которая, пройдя головку, выдавливается в расплавопровод 2.

При движении массы полимера в экструдере важную роль играет трение между

полимерным материалом и шнеком, материалом и цилиндром как средство, создающее условие для перемещения полимера по каналу шнека. Материал, загруженный в экструдер, будет вначале перемещаться в виде гранул твердого тела, затем смеси твердого тела с расплавом (полурасплав) и, наконец, в виде расплава. Длина шнека делится на основные зоны переработки, к которым относятся зона питания (загрузочная), зона сжатия (превращения) и зона дозирования (нагнетания).

Экструдер получает тепло за счет превращения механической энергии в тепловую и за счет внешнего обогрева. При этом используется высокотемпературный теплоноситель или электрический ток. Экструдер работает при политропном режиме, то есть подводом и отводом тепловой энергии.

Для описания поведения экструдера в динамических режимах воспользуемся результатами исследований, полученными в [1]. Для изучения динамики течения расплава в канале шнека экструдера рассматриваются уравнения движения и энергии применительно к расплаву полимера, текущему в прямоугольном канале шнека экструдера. В качестве модели расплава принимается однофазная химически однородная изотропная вязкая несжимаемая ньютоновская жидкость. При такой модели удастся сделать независимым уравнение движения от уравнения энергии и получить для зоны канала следующее уравнение динамики:

$$\delta Q(P) = K_1 \delta n(p) - K_2 \frac{\delta}{\delta z} \delta P(z;p),$$

где  $\delta Q(p)$ ;  $\delta n(p)$ ;  $\delta P(z;p)$  – изображения по Лапласу соответственно относительного приращения производительности, частоты вращения шнека и градиента давления расплава в рассматриваемой зоне канала;  $z$  – координата вдоль оси канала;  $K_1$ ,  $K_2$  – конструктивные коэффициенты экструдера.

Полученное уравнение свидетельствует о том, что те участки канала шнека экструдера, в которых находится расплав, с динамической точки зрения могут рассмат-

риваться как безынерционные звенья.

В [1] показано, что с некоторыми допущениями, хорошо согласующимися с экспериментальными данными, уравнение динамики для трехзонного экструдера может быть записано следующим образом:

$$\delta P(p) = W_1 \delta n(p) - W_2 \delta Q(p). \quad (1)$$

Уравнение (1) включает в себя выходную величину  $\delta P(p)$  и поэтому оно может рассматриваться как общее уравнение динамики экструдера по давлению расплава, а входящие в него функции  $W_1(p)$  и  $W_2(p)$  – как частичные передаточные функции соответственно по частоте вращения и производительности экструдера. Приведенные выше соображения дают основание рассматривать экструдер как объект управления, одной из регулируемых величин которого является относительное приращение давления расплава на выходе из третьей зоны. Регулирующей величиной при этом будет относительное приращение частоты вращения шнека, а возмущением – относительное изменение отбора расплава. Уравнение (1) устанавливает общую связь в динамических режимах между относительным приращением основных параметров процесса: производительностью и давлением расплава на выходе из экструдера и переменной процесса – частотой вращения шнека. Это уравнение является линейным относительно всех возмущающих функций, входящих в него, что, в свою очередь, позволяет применить принцип суперпозиции при изучении действия на экструдер нескольких возмущений одновременно.

Полученное уравнение динамики, помимо общей оценки экструдера как объекта управления, позволяет осуществить экспериментальный подход к изучению динамических свойств экструдера по производительности и давлению расплава на выходе.

Система электропривода играет существенную роль в обеспечении эффективной работы экструдера. Изменения частоты вращения, а также температуры исходного сырья и расплава сказываются на произво-

дительности и экономичности экструдера, равномерности физико-химических свойств и качестве конечного продукта переработки – расплава полимера.

Изучение систем электроприводов отечественного производства и ряда зарубежных фирм позволяет установить, что на машинах и агрегатах для производства синтетических волокон применяются, как правило, регулируемые электроприводы постоянного или переменного тока.

Анализ работы экструдеров в производстве синтетических волокон, а также режимов формирования волокон согласно технологическим регламентам позволяет сформулировать основные требования, предъявляемые к электроприводу:

1) диапазон изменения частоты вращения шнека должен быть ориентировочно равен диапазону изменения производительности экструдера;

2) пуск двигателя должен быть плавным и продолжаться 1...3 мин во избежание резкого нарушения температурного режима зон нагрева;

3) электропривод должен обеспечивать работу экструдера в двух основных режимах: в режиме стабилизации частоты вращения шнека и в режиме стабилизации давления в головке экструдера. В первом случае во всем диапазоне изменения производительности необходимо автоматически поддерживать постоянной частоту вращения шнека с отклонением, равным 1...2%, во втором – система автоматического регулирования (САР) давления должна быть устойчивой во всех режимах и ограничивать имеющие место пульсации – давления расплава в головке экструдера в установившемся режиме в пределах  $\pm(0,2...0,6)$  МПа. Регулятор давления должен осуществлять (ПИД)-закон регулирования. Переход с одного режима на другой должен осуществляться без толчков частоты вращения шнека;

4) необходимо предусмотреть возможность ограничения максимальной частоты вращения шнека на любом уровне в диапазоне от нуля до номинального значения;

5) в случае аварийного возрастания

давления расплава, удерживающегося свыше 1...20 с, должна снизиться частота вращения привода, а затем произойти его остановка.

В процессе работы экструдера на машине для формирования синтетических волокон, когда расплав от него подается на несколько рабочих мест, самым важным с технологической точки зрения является поддержание давления расплава на входе в дозирующие насосы не ниже заданного уровня, обеспечивающего хорошее заполнение насосов расплавом. При этом незначительные колебания давления расплава не влияют на процесс, так как дозирующие насосы эти колебания не пропускают.

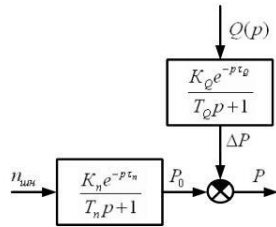
Из сказанного следует, что основным режимом работы привода экструдера является режим постоянной скорости. Практически построение привода для данного режима сводится к разработке оптимальной САР частоты вращения шнека. Таким образом, основным режимом работы электропривода становится режим регулирования давления расплава в головке экструдера, а режим постоянной частоты вращения необходим только при запуске и останове. Использование электропривода по системе тиристорный преобразователь частоты – асинхронный двигатель позволяет наиболее рациональным образом решить комплекс вопросов, связанных с надежностью, быстродействием, точностью регулирования, снижением потерь исходного сырья, увеличением коэффициента полезного времени и уменьшением количества отходов. Кроме того, применение микропроцессорных регуляторов давления позволяет эффективно снизить колебания давления расплава, в результате чего значительно повышается стабильность процесса формирования волокон и нитей.

Приближенно уравнение динамики экструдера представлено в виде:

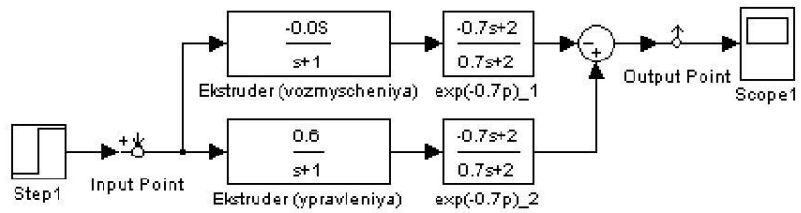
$$P(p) = \frac{K_n e^{-p\tau_n}}{pT_n + 1} n_{\text{шн}}(p) + \frac{K_Q e^{-p\tau_Q}}{T_Q p + 1}, \quad (2)$$

где  $K_n = 0,6 \frac{\text{МПа}}{\%/\text{мин}^{-1}}$  – коэффициент усиления

по каналу управления;  $K_Q = 0,0362 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}^2 \cdot \text{мин}^{-1}}$  – коэффициент усиления по каналу возмущения;  $T_n = T_Q = 1\text{с}$ ;  $T_n = T_Q = 5\text{с}$  – постоянные времени экструдера по каналу управления и возмущения;  $\tau_n \approx \tau_Q = 0,7\text{с}$  – время запаздывания каналов управления и возмущения;



а)



б)

Рис. 3

Анализ переходной характеристики (рис. 4) экструдера показал, что параметры управления (2) в зависимости от режима работы изменяются в широких пределах. Устойчивость САУ определялась при более неблагоприятном сочетании указанных выше параметров. Если при указанном со-

$n_{\text{шн}}$  – частота вращения шнека экструдера.

Структурная схема моделирования канала управления экструдера представлена на рис. 3 (а – упрощенная схема; б – схема в среде MatLab).

четании параметров система устойчива, то при меньших значениях  $K_n$ ,  $K_Q$ ,  $\tau_n/T_n$ ,  $\tau_Q/T_Q$  она будет заведомо устойчивой, что и подтверждают расчеты, проведенные с использованием приложения Simulink математической среды MatLab.

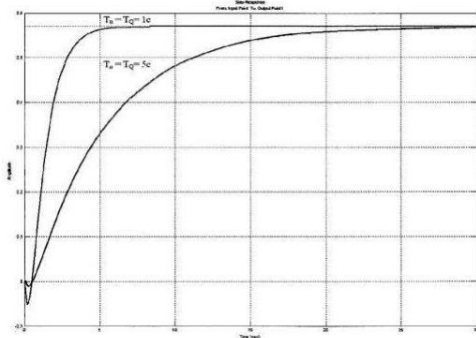


Рис. 4

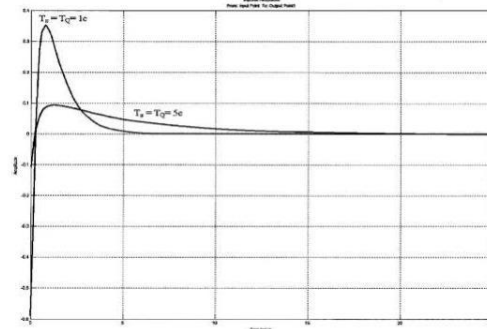


Рис. 5

Импульсная переходная функция (рис. 5) характеризует динамические свойства системы на воздействие в виде дельта-функции при нулевых начальных условиях. Функция выражает установившийся процесс в системе при любом воздействии в том случае, когда с течением времени свободные колебания затухают.

## ВЫВОДЫ

1. Получено приближенное уравнение динамики экструдера.

2. Определены качественные показатели САУ, характеризующие динамические свойства канала управления экструдера.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смагоринский А.Б. Исследование работы экструдера для капронового волокна как объекта управления: Дис....канд. техн. наук. – М.: ВНИИЛ-Текмаш, 1972.

Рекомендована кафедрой электротехники. Поступила 09.04.10.