РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ОБУВИ

Ст.пр.Н.А.Ниязова

Ташкентский институт

текстильной и легкой промышленности

Аннотация: В статье разработана математическая модель объекта технологического процесса производства обуви на основе уравнений динамики тепловых процессов, протекающих в системе «стенка цилиндра – термоэластопласт – шнек». При построении модели учтены основные закономерности теплообмена между конструктивными элементами оборудования и перерабатываемым материалом, а также влияние внешних и внутренних тепловых воздействий на температурный режим процесса. Разработанная модель описывает динамическое изменение температуры стенки цилиндра, термоэластопласта и шнека во времени и позволяет исследовать взаимосвязь между технологическими параметрами процесса и тепловым состоянием системы.

Ключевые слова: Математическая модель ,структурная схема, динамики тепловых процессов, термоэластопласт, регуляторы, тепловая энергия, тепловые процессы, физический процесс, уравнение динамики, полимер.

Annotation: The article develops a mathematical model of the technological process object for footwear production based on the dynamics equations of thermal processes occurring in the "cylinder wall - thermoelastic plastic - screw" system. When constructing the model, the main patterns of heat exchange between the structural elements of the equipment and the processed material, as well as the influence of external and internal thermal influences on the temperature regime of the process, were taken into account. The developed model describes the dynamic change in the temperature of the cylinder wall,

thermoelastic plastic, and screw over time and allows for the study of the relationship between the process's technological parameters and the system's thermal state.

Ключевые слова: Математическая модель ,структурная схема, динамики тепловых процессов, термоэластопласт, регуляторы, тепловая энергия, тепловые процессы, физический процесс, уравнение динамики, полимер.

Keywords: Mathematical model, structural diagram, dynamics of thermal processes, thermoelastic plastic, regulators, thermal energy, thermal processes, physical process, dynamics equation, polymer.

В производстве деталей и узлов низа и верха обуви, а также обувных колодок из полимерных материалов широко используют литьевые агрегаты и автоматы. Полимерный материал вначале пластифицируется в обогреваемом цилиндре и затем впрыскивается в замкнутую охлаждаемую (для термопластов) или обогреваемую (для реактопластов) пресс-форму, в которой деталь (или изделие) затвердевает. Температура цилиндра и пресс-формы регулируется и изменяется в зависимости от свойств полимерного материала. Наибольшее распространение получил метод литья полимерных материалов под давлением.

Температура по ходу движения термоэластопласта для качественного ведения процесса формования деталей низа обуви определяется технологическим регламентом термообработки термоэластопласта в экструдере. Прежде всего, необходимо плавное нарастание температур вдоль экструдера, не допустим перегрев полимера, при котором может произойти разрушение молекулярной структуры эксгрудата (явление деструкции).

Желаемое распределение температурного поля в термоэластопласте вдоль экструдера не всегда удается обеспечивать и тем более поддерживать стабильно по целому ряду причин. Во-первых, из-за сложности тепловых явлений в экструдере, которые сопровождаются изменением агрегатного состояния термоэластопласта, его теплофизических (удельная теплоемкость) и реологических (вязкость)

характеристик, а также из-за тепловых взаимовлияний между тепловыми зонами и отдельными элементами экструдера (стенкой, полимером и червяком). Во-вторых, тепловая энергия поступает в термоэластопласт не только от нагревателей, но и выделяется внутри термоэластопласта в результате внутреннего трения, причем в зависимости от реологического состояния термоэластопласта внутреннее тепловыделение не одинаково. Поэтому уже по этой причине для изучения динамики тепловых процессов в экструдере требуется математическое моделирование процесса, тем более что число нагревателей фиксированное и, следовательно, возможности формирования температурных полей ограничены вообще и с точки зрения исключения явления деструкции в частности.

Сложность тепловых явлений в экструдере и наличие возмущений процесса термообработки полимера, с одной стороны, и высокие требования к качеству формуемых деталей — с другой, определило необходимость использования регуляторов с целью стабилизации температуры полимера на выходе из экструдера в целом [2].

Работа регуляторов оказывает влияние на все режимы работы экструдеров, в том числе и на динамику тепловых процессов в экструдере. С учетом изложенного задачи моделирования тепловых процессов в экструдере как таковом и моделирования тепловых процессов в нем при работе совместно с регуляторами являются весьма важными.

При описании математической модели процессов, протекающих в экструдере, необходимо рассматривать данный процесс как совокупность тепловых процессов, происходящих в термоэластопласте, стенке гильзы экструдера и в шнеке. По характеру физических процессов, протекающих на каждом участке червяка, его разделяют на три физические зоны: зона загрузки — участок, в котором материал движется в виде нерасплавленного сухого спрессованного стержня; переходная зона — участок, в котором на поверхности контакта материала с гильзой образуется, за счет плавления материала, пленка расплава, высота которой постепенно

увеличивается и далее почти полностью происходит плавление материала; зона дозирования — участок, в котором материал движется в вязкотекучем состоянии. Поэтому рассмотрим каждый процесс в отдельной зоне экструдера.

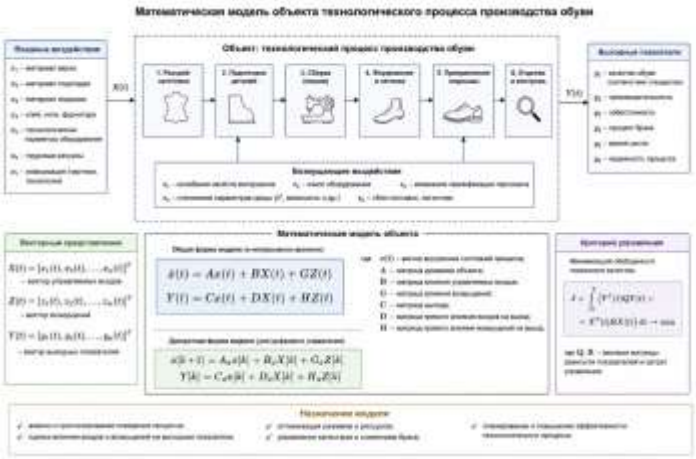

Рисунок 1. Математическая модель обьекта технологического процесса производства обуви.

Рассмотрение задачи регулирования тепловых режимов в экструдере начинается с составления уравнений элементов агрегата. Динамики нагрева термоэластопласта в каждой зоне экструдера описывается уравнением вида [2]:

$$(\Delta T_{пл.i}\, p+1)\Delta T_{пл.ср.i} = k_{ст.пл.i}\Delta T_{ст.ср.i} + k_{шн.пл.i}\Delta T_{шн.ср.i} + \\ + k_{вх.пл.i}\Delta n + k_{вх.i}\Delta T_{пл.вх.i} - k_{pi}\Delta G, \quad (1.1)$$

где $T_{ст.ср.}$ - осредненная температура стенки гильзы экструдера; $T_{пл.ср.}$ - осредненная температура полимера; $T_{пл.шн.}$ - осредненная температура поверхности шнека; $T_{шн.ср.}$ - осредненная температура шнека; $T_{пл.вх.}$ - температура полимера на входе в i-ю тепловую зону.

$$T_{пли} = \frac{\rho_i c_i S_i L_i}{L_i k_{тп.ст.i} + L_i k_{тп.шн.i} + 2(c_i G)^0}, \quad (1.2)$$

где p_i - плотность полимера; c_i - удельная теплоемкость полимера; S_i - площадь поперечного сечения экструдера, заполненного полимером; L_i - длина i-й тепловой

зоны; G - массовый расход полимера; $k_{тп.ст.i}$ - коэффициент теплопередачи через стенки экструдера.

$$k_{ст.пл.i} = \frac{L_i k_{тп.ст.i}}{L_i k_{тп.ст.i} + L_i k_{тп.шн.i} + 2(c_i G)^0}, \qquad (1.3)$$

где $k_{тп.шн.i}$ - коэффициент теплопередачи через шнек экструдера:

Коэффициенты влияния полимера, шнека, стенок на теплопередачу:

$$k_{шн.пл.i} = \frac{L_i k_{тп.шн.i}}{L_i k_{тп.ст.i} + L_i k_{тп.шн.i} + 2(c_i G)^0}, \qquad (1.4)$$

$$k_{в.i} = \frac{L_i k_{вн.i}}{L_i k_{тп.ст.i} + L_i k_{тп.шн.i} + 2(c_i G)^0}, \quad (1.5)$$

$$k_{вх.пл.i} = \frac{2(c_i G)^0}{L_i k_{тп.ст.i} + L_i k_{тп.шн.i} + 2(c_i G)^0}, \qquad (1.6)$$

$$k_{pi} = \frac{2c_i \left(T_{пл.ср.i} - T_{пл.вх.i}\right)^0}{L_i k_{тп.ст.i} + L_i k_{тп.шн.i} + 2(c_i G)^0}, \qquad (1.7)$$

При построении математической модели тепловых процессов в стенке гильзы экструдера будем считать, что на тепловое состояние стенки оказывают влияние нагреватели, расположенные на внешней поверхности гильзы экструдера, термоэластопласт, перемещающийся внутри экструдера, а также тепловое состояние стенок соседних зон.

Необходимо также учесть следующее обстоятельство. Обычно в тепловых объектах имеют место эффекты, близкие к эффектам запаздывания. Однако если при рассмотрении теплообмена между стенкой и термоэластопластом, термоэластопластом и шнеком тепловые процессы возможны в двух направлениях, то в случае теплообмена между нагревателями и стенкой тепловые процессы распространяются в одном направлении – от нагревателя к стенке и поэтому эффект чистого запаздывания выражается более четко. В связи с этим в уравнение динамики

тепловых процессов следует ввести функцию запаздывания. Тогда с учетом изложенного уравнение динамики тепловых процессов в стенке гильзы экструдера имеет вид [2]:

$$(\Delta T_{ст.i}\, p + 1)\Delta T_{ст.ср.i} = k_{н.ст.i} e^{-\tau_{ст.i} з} \Delta J_i + k_{пл.ср.i} \Delta T_{пл.ср.i}, \quad (1.8)$$

где $T_{сті}$ - постоянная времени объекта; $k_{н.ст.i}$ - коэффициент передачи объекта на участке «нагреватель - стенка», принимаем $k_{н.ст.i} = 1$; p - оператор Лапласа.

При построении математической модели тепловых процессов, протекающих в шнеке экструдера в пределах одной тепловой зоны, следует иметь в виду, что нагревание и охлаждение происходят в зависимости от изменения температуры термоэластопласта, перемещающегося в канале шнека. Кроме того, на тепловые процессы в шнеке в пределах тепловой зоны оказывают влияние тепловые процессы, протекающие в соседних зонах.

Уравнение динамики тепловых процессов в шнеке будет иметь вид [2]:

$$(\Delta T_{шн.i}\, p + 1)\Delta T_{шн.ср.i} = k_{пл.шн.i} \Delta T_{пл.ср.i} + k_{шн.i-1,i} \Delta T_{шн.ср.i-1} + k_{шн.i+1,i} \Delta T_{шн.ср.i+1}, \quad (1.9)$$

где $T_{шн.i}$ - постоянная времени объекта; $k_{пл.шн.i}$ - коэффициент передачи между полимером и шнеком; $k_{шн.i-1,i}$ - коэффициент передачи между участками шнека предыдущей и данной тепловых зон (для первой тепловой зоны этот коэффициент равен нулю); $k_{шн.i+1,i}$ - коэффициент передачи между участками шнека последующей и данной тепловых зон; p - оператор Лапласа.

На основании уравнений динамики тепловых процессов для стенки, термоэластопласта и шнека можно составить математическую модель тепловой зоны, а затем математическую модель всего экструдера как систему моделей тепловых зон.

Объединив уравнения, описывающие динамику тепловых процессов в стенке, термоэластопласте и шнеке для некоторой i-ой тепловой зоны, получим модель тепловой зоны:

$$\begin{cases} (\Delta T_{ст.i}\,p+1)\Delta T_{ст.ср.i} = k_{н.ст.i}e^{-\tau_{ст.i}\cdot 3}\Delta J_i + k_{пл.ср.i}\Delta T_{пл.ср.i}, \\ (\Delta T_{пл.i}\,p+1)\Delta T_{пл.ср.i} = k_{ст.пл.i}\Delta T_{ст.ср.i} + k_{шн.пл.i}\Delta T_{шн.ср.i} + k_{вi}\Delta n + k_{вхi}\Delta T_{пл.вх.i} - k_{рi}\Delta G, \\ (\Delta T_{шн.i}\,p+1)\Delta T_{шн.ср.i} = k_{пл.шн.i}\Delta T_{пл.ср.i} + k_{шн.i-1,i}\Delta T_{шн.ср.i-1} + k_{шн.i+1,i}\Delta T_{шн.ср.i+1}. \end{cases} \quad (1.10)$$

При дальнейшем упрощении, с учетом опытных данных, полученных при анализе работы экструдера ШР-20, имеющем три однотипные тепловые зоны, получаем математическую модель системы автоматического регулирования температуры в тепловой зоне экструдера [2]:

$$(T_{ст.i}\,p+1)\Delta T_{ст.ср.} = k_{н.ст.}e^{-\tau_{ст}p}\Delta J + F'(t), \quad (1.11)$$

где $T_{ст}$ - постоянная времени объекта; $k_{н.ср.}$ - коэффициент передачи объекта (нагреватель-стенка); $\Delta T_{ст.ср.}$ - отклонение средней температуры стенки в тепловой зоне; ΔJ - изменение значения силы тока на выходе регулятора; $\tau_{ст}$ - время чистого запаздывания; F'(t) - суммарное возмущение, действующее на объект (возмущение по расходу, текущие возмущения, возмущение, эквивалентное неточности математической модели системы автоматического регулирования).

Таким образом, передаточная функция объекта управления (тепловой зоны) будет иметь вид:

$$W_{оу}(p) = \frac{k_{н.ст.}e^{-\tau_{ст}p}}{(T_{ст}p+1)} \quad (1.12)$$

Выполним аппроксимирующую замену, используя выражения (1.13), и получим приближенное выражение передаточной функции объекта регулирования (1.14):

$$e^{-\tau_{ст.}p} = \frac{1}{\tau_{ст}p+1} \quad (1.13)$$

$$W_{oy}(p)=\frac{k_{н.ст.}e^{-\tau_{ст}p}}{(T_{ст}p+1)}=\frac{k_{н.ст.}}{(T_{ст}p+1)(\tau_{ст}p+1)} \qquad (1.14)$$

Исходя из передаточной функции объекта регулирования, можно сказать, что необходим регулятор с ПД или ПИД законом регулирования для уменьшения инерционности системы (т.к. необходима дифференциальная составляющая для уменьшения инерционности). Лучше использовать регулятор с ПИД законом регулирования, т.к. он обеспечивает лучшую точность за счет появления апериодической составляющей.

Уточнение закона регулирования и определение оптимальных параметров настройки регулятора будут произведены в процессе расчета системы автоматического управления.

Заключение.

В данном исследовании разработана математическая модель объекта технологического процесса производства обуви. Модель построена на основе динамических уравнений, описывающих процессы теплообмена, протекающие в системе "стенка цилиндра - термоэластопласт - шнек." В модели учтены внешние и внутренние тепловые воздействия, закономерности теплопередачи между конструктивными элементами и обрабатываемым материалом. В результате получено математическое выражение, позволяющее определить изменение температуры стенки цилиндра, термоэластопласта и шнека во времени. Разработанная модель служит теоретической основой для анализа влияния технологических параметров на тепловое состояние системы, оптимизации процесса и создания систем автоматического управления. Это способствует повышению качества продукции и энергоэффективности при производстве обуви.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1.Технический паспорт литьевого агрегата марки Svit U 102.

2.АСУП в текстильной и легкой промышленности: учебн. для вузов / под общ. ред. В.А. Климова. – Москва.

3. O‘quv ustaxonasi va axboroto‘lchov asboblari.X.B. Mirzaaxmedova .Учебн. для вузов.2023г

4.Конспект лекций по курсу "Автоматизация технологических процессов в легкой промышленности". -2023г