DOI: 10.18411/vntr2024-174-1

УДК 62-503.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИСКРЕТНОГО ПРОТЯГИВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО МАТЕРИАЛА

© Юрий Михайлович Замурагин, Константин Борисович Саламандра
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия
yury.zamuragin@yandex.ru, ksalamandra@yandex.ru

Аннотация. *Рассматриваются процессы дискретной протяжки двух ленточных материалов и синхронизации их положений при автоматической сборке. Предложена математическая модель этих процессов и разработан закон автоматического регулирования, позволяющий обеспечить высокое качество сборки и требуемое относительное положение лент материалов.*
Ключевые слова: *управление, автоматическая сборка, алгоритм управления, следящая измерительная система, упаковочная машина, сервопривод, мехатронная система*.

MODELING THE DISCRETE PULLING PROCESS OF TAPE MATERIAL

© Yury Zamuragin, Konstantin Salamandra
Mechanical Engineering Research Institute the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
yury.zamuragin@yandex.ru, ksalamandra@yandex.ru

Abstract. *The process of discrete feeding of tape materials during automatic assembly is being considered. A mathematical model of the process has been proposed, using which a control law for automatic regulation was selected through numerical simulation, allowing to ensure high quality assembly and the required relative position of the assembly components relative to each other.*
Keywords: *automatic assembly, control algorithm, tracking measuring system, packaging machine, servo drive, mechatronic system.*

1. Введение. Автоматические линии (АЛ) представляют собой несколько различных машин, каждая из которых выполняет определенную технологическую операцию, согласованных управлением транспортной системой перемещения обрабатываемых материалов между машинами [1]. АЛ нашли широкое применение в современной промышленности благодаря их возможности обеспечить высокую производительность и качество продукции при уменьшении затрат. АЛ являются технически сложными системами, для эффективной работы которых необходимо отслеживать множество параметров и управлять ими. Для этой цели в АЛ широко используются системы автоматического регулирования (САР) [2]. Например, для синхронизации положений двух видов материалов при сборке изделия на АЛ, о которой пойдет речь в настоящей статье.

2. Мехатронная система перемещения ленточных материалов. На рис. 1 представлен пример АЛ для фасовки и упаковки, используемой в пищевой и фармацевтической промышленности [3, 4].

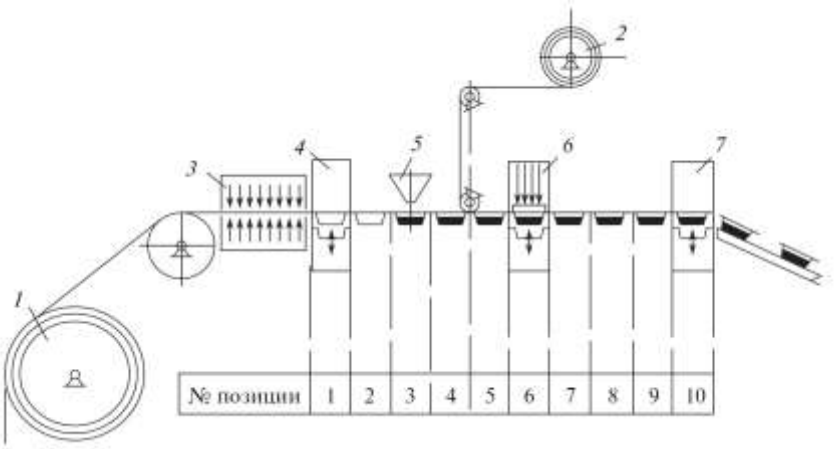


Рис. 1. Технологическая схема автоматической линии.

Работает линия следующим образом: лента термопластичного полимерного материала *1* поступает в нагреватель *3*, где под контролем терморегулятора переходит из твердого состояния в высокопластичное. Далее она поступает на первую силовую станцию *4*, где сжатым воздухом осуществляется формование контейнеров. Отформованные контейнеры с помощью дозатора *5* заполняются продуктом, закрываются покровным материалом *2* с напечатанными этикетками и поступают на вторую силовую станцию *6*, на которой осуществляется соединение ленты с контейнерами и ленты с этикетками. После чего заполненные и герметичные контейнеры поступают на третью силовую станцию *7*, оснащенную штампом для вырубки отдельных контейнеров или их блоков.
Схема транспортной системы АЛ для перемещения лент материалов, размещенная между станциями *6* и *7* (рис. 1) представлена на рис. 2.

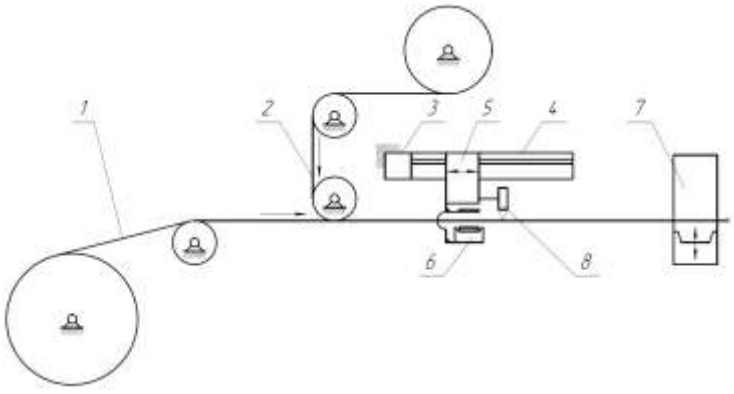


Рис. 2. Схема транспортной системы автоматической линии.

Сервомотор *3*, оснащенный датчиком угла поворота вала и цифровым преобразователем (энкодер) и соединенный с модулем линейного перемещения *4*, перемещает каретку *5* с

установленным на ней захватом *6*. При перемещении каретки вправо ленты с контейнерами *1* и ленты с этикетками *2*, зажатые захватом *6*, перемещаются вместе с кареткой *5*. При возврате каретки *5* в исходное положение ленты неподвижно удерживаются силовой станцией вырубки *7*, при этом захват *6* отпускается, а фотоэлектрический датчик *8* срабатывает при обнаружении фотометок, напечатанных на покровном материале с тем же шагом, что и этикетки. Движение каретки выполняется по трапециевидному закону изменения скорости для недопущения рывков в моменты начала и конца движения. Это позволяет не расплескать расфасованный продукт в еще не запечатанных контейнерах.

3. Постановка задачи. Задача настоящей статьи заключается в разработке метода синхронизации и стабилизации положений лент с этикетками и контейнерами на основе использования средств САР с учетом конструктивных особенностей и принципа работы АЛ. Для решения поставленной задачи требуется разработка адекватной математической модели [5] процесса перемещения лент на АЛ и синтез параметров управления этим процессом.

4. Математическая модель. Исходя из схемы расположения фотометок (рис. 3) и принципа работы привода протягивания, можно записать соотношение между положением B датчика относительно фотометки на шагах i и (i+1):

$$B_{i+1} = B_i + f_i - A \qquad (1)$$

где f_i – величина перемещения ленты за один цикл, A – шаг печати этикетки. Здесь и далее под положением B датчика понимается значение абсолютной координаты метки, считываемое при срабатывании фотодатчика.

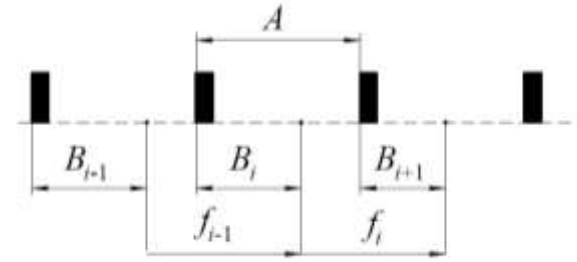


Рис. 3. Схема расположения фотометок.

Важным требованием, предъявляемым к готовой продукции АЛ заключается в необходимости обеспечить заданное расположение этикетки относительно контейнера, которое допускает незначительные отклонения δ, не превышающее 1,5 мм. Из уравнения (1) очевидно, что это требование будет выполняться в случае, если перемещение f ленты будет в точности равно шагу печати этикетки A. Но из-за особенностей процесса печати этикетки, шаг печати A не является постоянной величиной [6]. Закон управления должен обеспечить стабилизацию шага перемещения лент, т.е. быстрый и плавный переход к необходимому значению f перемещения материала из некоторого начального f_0.

В процессе работы АЛ периодически производится замена израсходованного рулона покровного материала на новый, в результате которого происходит смещение этикетки относительно контура контейнера, связанное с погрешностями наклейки оператором АЛ ленты нового рулона к остатку израсходованного рулона. Таким образом, склейка приводит к резкому изменению положения фотометки B_i на некоторую величину s, и в систему

регулирования перемещения лент вводится возмущение. Для купирования этого возмущения и вывода положения этикетки в заданную позицию относительно контейнера необходимо использовать САР с обратной связью.

С учетом сказанного, задача автоматического регулирования данной системы сводится к выбору закона изменения величины перемещения ленты f, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к описываемому процессу. К этим требованиям относятся:

1) положение фотометки B_i относительно датчика должно попадать в область допустимых значений δ около заданного положения B_0;
2) изменение шага f должно учитывать зазоры между контейнером и инструментами станций сварки w_w и вырубки w_c (рис. 4).

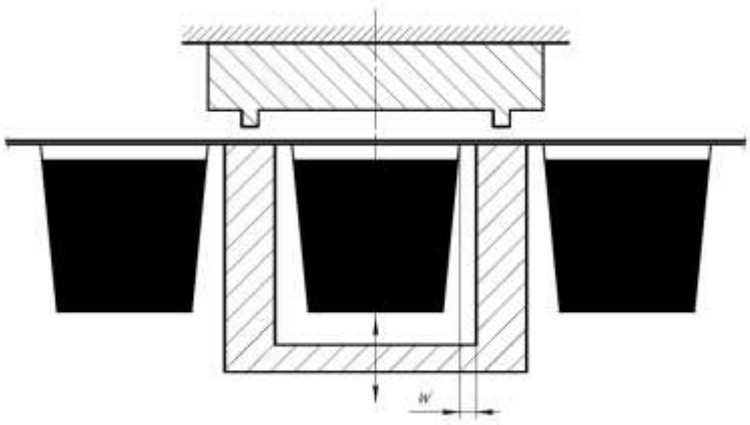


Рис. 4. Зазоры между контейнерами и инструментом.

Указанные требования можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} &1)\ |x_i| < \delta; && x_i = B_i - B_0 \\ &2)\ |p_i^1| < w_w; && p_i^1 = \sum_{j=0}^{m/2-1} f_{i-j} - mA/2 \\ &3)\ |p_i^2| < w_c; && p_i^2 = \sum_{j=0}^{m-1} f_{i-j} - mA \end{aligned} \qquad (2)$$

где m – количество перемещений от станции формовки до станции вырубки (рис. 1).

Входным параметром регулятора является положение датчика относительно фотометки B_i. Исходя из принципа работы привода протягивания (1) и требований, предъявляемых к процессу (2), был выбран дискретный аналог ПИ регулятора. Наличие П регулятора обеспечивает скорость переходного процесса, а И регулятор позволяет избежать статической ошибки после окончания регулирования [2]. Таким образом, закон изменения величины f перемещения ленты принимает следующий вид:

$$f_i = f_{i-1} - T_0 \cdot \mathrm{sign}(x_i) \cdot \min(|x_i|, w_w/2) - T_1 \cdot \mathrm{sign}(\Delta x_i) \cdot \min(|\Delta x_i|, w_w/2) \qquad (3)$$

Вклад переменных x_i и Δx_i ограничивается величиной $w_w/2$. Это обуславливается принципом работы АЛ и формой инструмента на станциях сварки и вырубки. Ограничения,

накладываемые на изменение шага f позволяют избежать ситуации чрезмерного изменения величины шага f, приводящего к аварии, т.е. попаданию контейнера на кромку инструмента (рис. 4).

С помощью численного анализа с применением ПК MATLAB получена область допустимых значений коэффициентов T_0 и T_1, показанная на рис. 5. Для различных пар коэффициентов моделировались реализации при различных видах возмущения (стабилизация шага и склейка). Пары коэффициентов, которые дают устойчивое решение и возврат к требуемым значениям за $5m$ шагов относятся к области допустимых параметров.

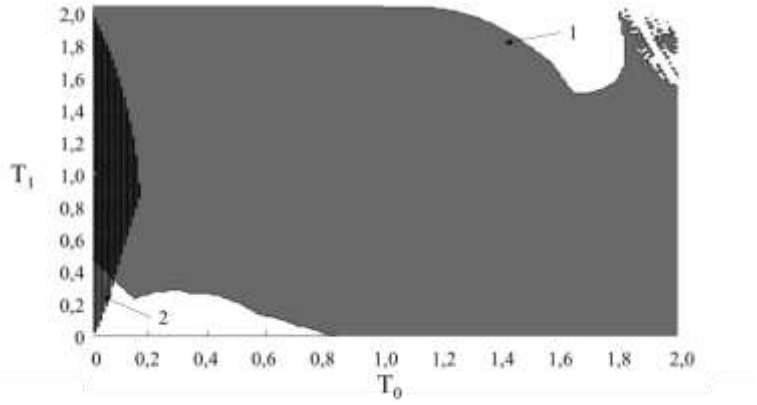
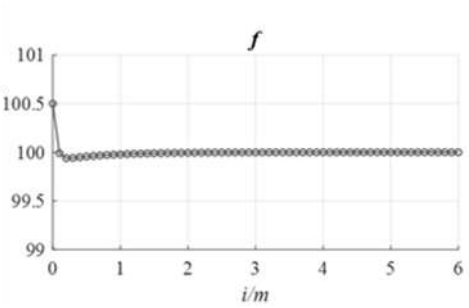


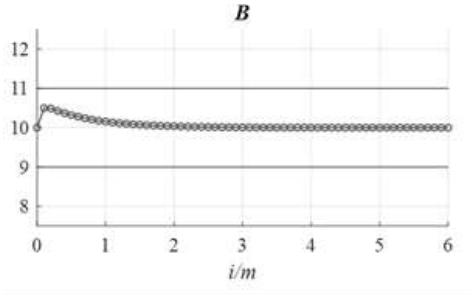
Рис. 5. Область допустимых параметров: 1 – для стабилизации шага; 2 – для склейки.

Из рис. 5 видно, что существует набор значений T_0 и T_1, при которых требования (2) выполняются при обоих видах возмущения. На рис. 6 показана реализация работы системы при следующих параметрах:

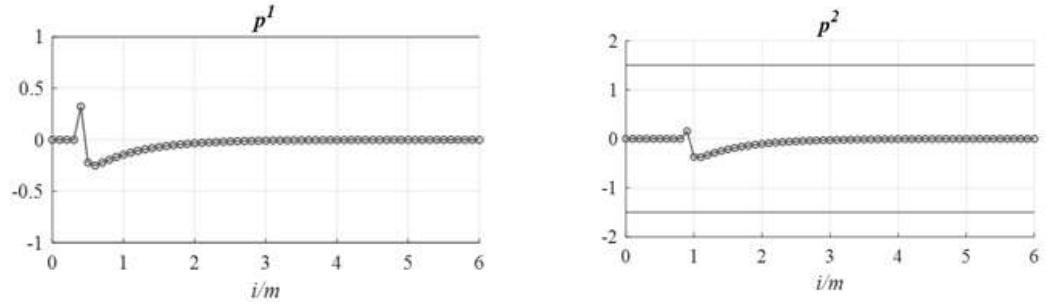
$$m=10;\ A=100;\ \ T_0=0{,}12;\ T_1=0{,}90;\ w_w=1{,}0;$$
$$w_c=1{,}5;\ \delta=1{,}0;\ B_0=10;\ \ f_0=100{,}5;\ s=0; \qquad (4)$$



а



б

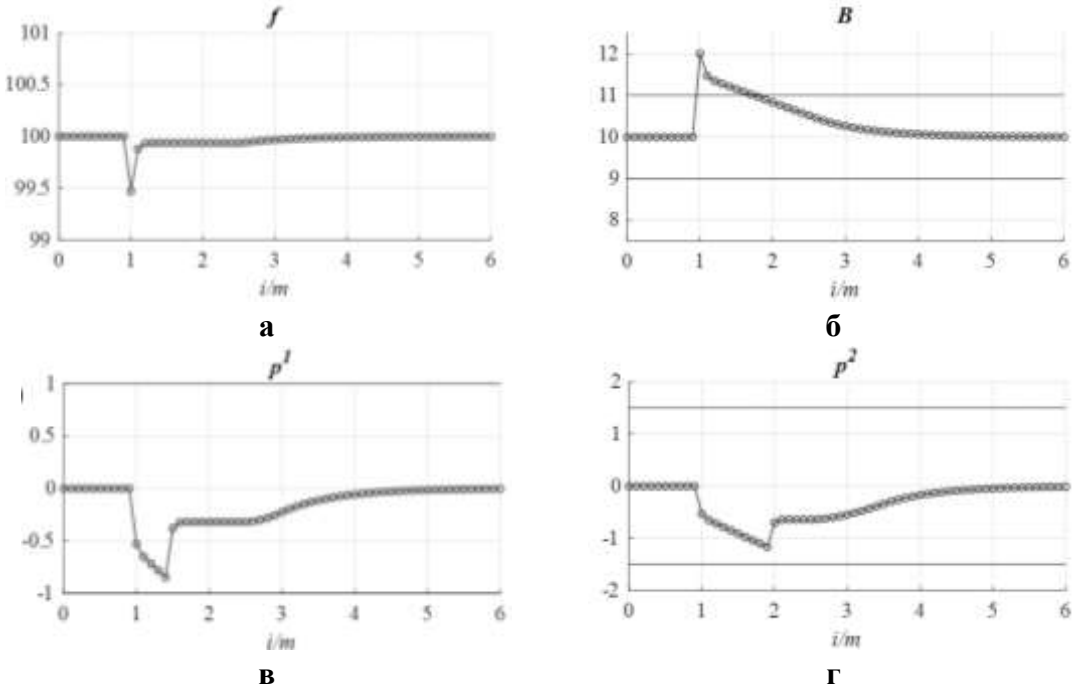


в г

Рис. 6. Численное моделирование работы системы при стабилизации шага: а) величина перемещения; б) положение датчика относительно метки; в) положение относительно инструмента сварки; г) положение относительно инструмента вырубки.

Моделирование работы системы, приведенное на рис. 6, показывает, что при начальном перемещении f_0 = 100,5 система управления за небольшой промежуток времени (2m шагов) выходит на значение перемещения равное A (рис. 6а) и положение датчика относительно фотометки принимает требуемое значение B_0 (рис. 6б). За время стабилизации контейнер отклоняется в допустимых пределах (рис. 6в, рис. 6г), что не приводит к авариям в процессе работы. Далее, на рис. 7 показана реализация работы системы при следующих параметрах:

$$m = 10;\ A = 100;\ \ T_0 = 0{,}12;\ T_1 = 0{,}90;\ w_w = 1{,}0;\ w_c = 1{,}5;$$
$$\delta = 1{,}0;\ B_0 = 10;\ \ f_0 = 100;\ s = 2 \text{ при } i = m \qquad (5)$$



а б

в г

Рис. 7. Численное моделирование работы системы при наличии склейки: а) величина перемещения; б) положение датчика относительно метки; в) положение относительно инструмента сварки; г) положение относительно инструмента вырубки.

Моделирование работы созданной системы, представленное на рис. 7, показывает, что при наличии склейки $s = 2$ система управления за $3m$ шагов выходит на требуемое значение положения датчика относительно фотометки B_0 (рис. 7б). Таким образом, этикетка выводится в требуемую позицию относительно контура контейнера за указанное число шагов. При этом, за время возврата положения датчика B к требуемому значению B_0, положение контейнера относительно инструмента находится в допустимых пределах (рис. 7в, рис. 7г).

5. Заключение. Разработана математическая модель, описывающая поведение системы перемещения материалов на автоматической линии, работающей в дискретном режиме. В основу модели положен ПИ-регулятор, с использованием которого предложен метод управления перемещением лент, удовлетворяющий требованиям качества изготавливаемой продукции и конструктивным ограничениям. На основе предложенного метода планируется разработать алгоритм управления перемещением и подтвердить его работоспособность в ходе экспериментальных исследований на образце автоматической линии для фасовки и упаковки.

Список литературы

1. Волчкевич Л.И. и др. Автоматы и автоматические линии. Ч. I. Основы проектирования. Учеб. Пособие для вузов/ Под ред. Шаумяна Г.А.. - М.: «Высш. школа», 1976. - 230 с.
2. Бесеркский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1972. - 768 с.
3. Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес, К. Б. Саламандра, Г. К. Корендясев Некоторые проблемы создания современных автоматических линий на примере линии упаковки типа "формовка-фасовка-укупорка-вырубка" // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2013. – № 3. – С. 71-79.
4. Замурагин Ю.М., Саламандра Б.Л., Саламандра К.Б. Применение алгоритмов стабилизации положения при автоматической сборке// XXXIV Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2022): Сборник трудов конференции (Москва, 07 ноября - 09 ноября 2022). - М: Изд-во ИМАШ РАН, 2022. – С. 164-169.
5. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
6. Полянский Н. Н. Основы полиграфического производства. Учебник для студентов полиграфических специальностей высших учебных заведений. – М: «Книга», 1991, 351 с.

References

1. Volchkevich L.I. et al Machines and automatic lines. Part 1. Basics of design. Vysh. shk. Publ, Moscow, 1976. - 230 p. (in Russian)
2. Beserkskiy V.A., Popov Ye. P. Automatic Control Systems Theory. - M.: Nauka Publ., 1972. - 768 p. (in Russian)
3. Salamandra B.L., Tyves L.I., Salamandra K.B. et al. Some problems of creating modern automatic lines on the example of the line package of "forming-filling-corking-felling" type. in Mechanical Engineering and Automation Problems, 2013. - no. 3. - P. 71–79. (In Russian).

4. Yu. M. Zamuragin, B.L. Salamandra, K.B. Salamandra Application of position stabilization algorithms in automatic assembly in XXXIV Proceedings of International Conference of Young Scientists and Students “Topical Problems of Mechanical Engineering” ToPME 2022: Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, 2022), P. 164-169. (in Russian).
5. Samarskiy A.A., Mikhaylov A.P. Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples. - M.: Fizmatlit publ., 2001. - 320 p. (in Russian).
6. Polyanskiy N.N. Fundamentals of printing production. – Moscow: Kniga Publ., 1991. (in Russian).

Дата поступления: 27 августа 2024 г.