

УДК 664:(62-5)

## РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СБОРКИ В АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ УПАКОВКИ ТИПА: ФОРМОВКА-ФАСОВКА УКУПОРКА-ВЫРУБКА

© Борис Львович Саламандра, Леонид Иосифович Тывес,  
Константин Борисович Саламандра, Георгий Константинович Корендясев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

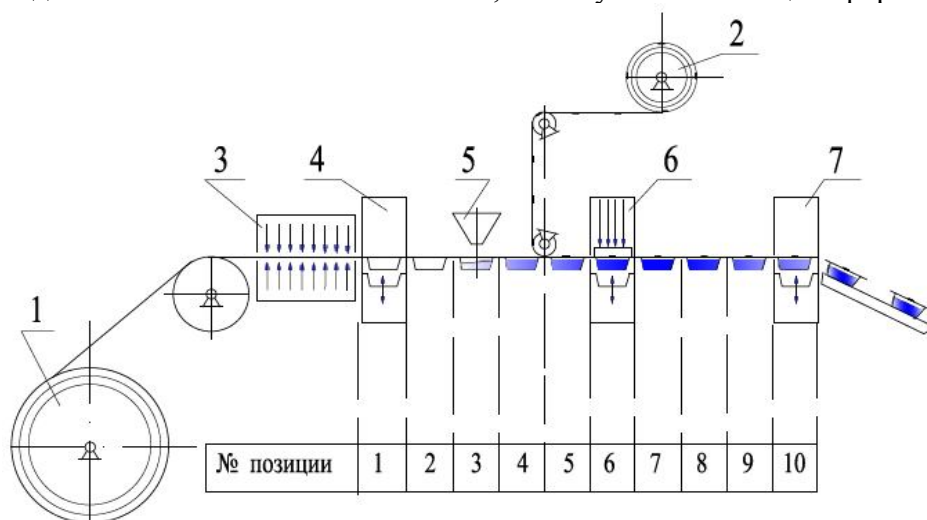
[info@recuper.ru](mailto:info@recuper.ru)

**Аннотация.** На примере автоматической линии упаковки пищевых продуктов рассматривается задача автоматической сборки компонентов, расположенных на отдельных ленточных носителях. Описываются способы решения этой задачи и даются их теоретические и экспериментальные обоснования. Особое внимание уделено анализу способа автоматической сборки, базирующегося на управляемом изменении шага подачи ленточных носителей, как наименее чувствительного к механическим свойствам ленточных носителей. Особенности реализации этого способа оцениваются с помощью имитационной модели.

**Ключевые слова.** автоматическая линия упаковки пищевых продуктов, автоматическая сборка, покровный материал, этикетка, отформованная емкость, имитационная модель.

В разработках автоматических линий (АЛ) всё шире применяется новая элементная база в области приводов, систем управления с программируемыми контроллерами, датчиков физических, в том числе, механических величин, и т.д. Эта элементная база определяет мехатронную структуру АЛ. Она выводит на более высокий научно-технический уровень создаваемое оборудование, повышая его надежность и существенно (в 1,5-2 раза) уменьшая стоимость. Примером такой АЛ является автоматическая линия для фасовки и упаковки продуктов питания [1].

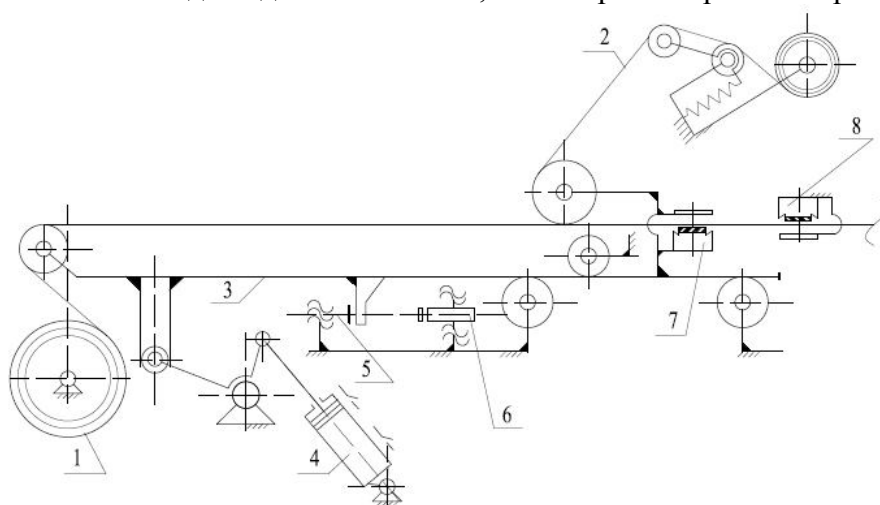
**Технологическая схема линии** приведена на рис.1. Корпусной материал (термопластичный полимер – полистирол, полипропилен и т.п.) проходит через нагреватель, где доводится до высокопластичного состояния, и поступает на станцию формовки ёмкостей.



**Рис.1.** Технологическая схема линии: 1 – рулон корпусного материала; 2 – рулон покровного материала с этикеткой и меткой; 3 – нагрев; 4 – формовка ёмкостей; 5 – дозирование продукта; 6 – термосварка лент корпусного и покровного материалов; 7 – вырубка.

Далее, с помощью объёмного дозатора ёмкости заполняются продуктом, накрываются покровным материалом (алюминиевой фольгой, микспапом, полимерной плёнкой) с напечатанной этикеткой с одной стороны и слоем термолака с другой и поступают на станцию герметизации ёмкостей путём термосварки корпусного и покровного материалов. Затем лента с заполненными и запечатанными ёмкостями поступает на станцию, оснащённую штампом для вырубki отдельных ёмкостей. размотки полимерной ленты, ролик размотки покровного материала и подвижный захват ленты, и неподвижного захвата, установленного на станине. При перемещении стола вправо обе ленты, зажатые подвижным захватом, перемещаются вместе со столом. При обратном ходе транспортера подвижный захват отпускается, лента зажимается неподвижным захватом, а ролик производят размотку рулонов корпусного и покровного материалов. Привод транспортера осуществляется пневмоцилиндром через синусный механизм и имеет регулируемые упоры, определяющие шаг перемещения стола.

На рис.2 представлена типовая схема транспортной системы автоматической линии. Транспортер выполнен в виде подвижного стола, на котором закреплены ролик



**Рис.2.** Транспортная система автоматической линии: 1 – лента корпусного материала; 2 – лента покровного материала; 3 – стол подвижный; 4 – пневмоцилиндр с датчиками положения; 5 – упор; 6 – гидродемпфер-упор; 7 – подвижный захват лент; 8 – неподвижный захват лент.

Рассматриваемая АЛ относится к классу высокопроизводительных машин-автоматов. Она работает в старт-стопном режиме с циклом  $2,5 \pm 5$  сек.; при этом  $0,8 \pm 1$  сек. тратится на перемещение ленты на заданный шаг, а остальное время – на выполнение технологических операций. Программы управления механизмами технологических станций фиксируют с помощью датчиков конечных положений их исполнительных звеньев времена выполнения отдельных переходов. По ним головной программой обрабатываются и анализируются результаты выполнения каждой упомянутой технологической операции, и, в случае отсутствия сбоев по времени и положениям, запускаются очередные элементы цикла. Кроме того, головная программа подключает подпрограммы срабатывания дополнительных механизмов, устанавливаемых на линии для решения задач, связанных с требованиями к выпускаемой продукции.

Одной из таких задач является стабилизация положения этикетки относительно отформованной ёмкости, обусловленная требованиями к товарному виду продукции. Её можно отнести к задачам автоматической сборки. В данном случае специфика задачи сборки определена условием совмещения положений компонентов сборки, расположенных на отдельных ленточных носителях: отформованных ёмкостей в ленте корпусного материала с этикетками (и метками) на ленте покровного материала. Суть проблемы – в невозможности обеспечить равенство шагов между ёмкостями, формируемыми в процессе работы линии в ленте корпусного материала, и шагов между этикетками, нанесенными заранее в типографии на ленту покровного материала. Действительно (см. рис 2), оба рулона разматываются одним

приводом, с каждого рулона сматывается одинаковая длина лент, равная шагу движения стола. При сколь угодно точной настройке шага движения стола (т.е. шага по ёмкостям) невозможно добиться его идеального равенства шагу печати этикеток на покровном материале. В результате имеющееся рассогласование будет накапливаться от цикла к циклу, приводя к постепенному смещению этикетки относительно ёмкости.

Когда смещение этикетки относительно ёмкости достигает некоторого предельного значения, что на АЛ фиксируется оптическим датчиком, необходимо произвести автоматическую коррекцию: либо изменяя шаг между этикетками с меткой на покровном материале при фиксированном шаге между формуемыми ёмкостями в ленте корпусного материала, либо, наоборот, подстраивая шаг между формуемыми ёмкостями в ленте корпусного материала под постоянный шаг между метками на ленте покровного. В первом случае постоянный шаг между ёмкостями гарантирует постоянство относительных положений технологических станций, что является существенным преимуществом. Широкому распространению этого варианта автоматической коррекции также способствовали физико-механические свойства алюминиевой фольги, только которая до недавнего времени использовалась в качестве покровного материала.

### Способ совмещения положений компонентов сборки путём пластической деформации покровного материала

В основе этого способа лежит зависимость деформации ленты от прилагаемой нагрузки. Ленту (в частности, фольгу) вытягивают, доводя ее до состояния пластической деформации. Примерный вид диаграммы растяжения образца представлен на рис.3. Здесь:  $G$  – нагрузка в Н;  $\Delta$  – деформация образца в мм;  $\Delta_1$  – максимальное удлинение образца под нагрузкой пластической деформации  $G_t$ ;  $\Delta_2$  – остаточная деформация образца после снятия нагрузки.

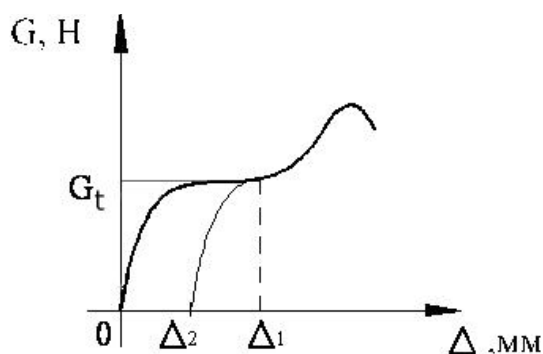


Рис.3. Диаграмма растяжения и сброса нагрузки алюминиевой фольги.

Проведенные с помощью катетометра КМ-6 с ценой деления 0,01 мм испытания образцов фольги толщиной 0,05 мм, шириной 20 мм, длиной между захватами 80 мм и базой измерений 50 мм показали: величина  $G_t$  меняется в пределах 136Н – 145Н, при этом деформации были в пределах  $0,76 \text{ мм} < \Delta_2 < 1,7 \text{ мм}$  и  $0,93 \text{ мм} < \Delta_1 < 1,85 \text{ мм}$ .

Эти результаты дают возможность в каждом случае рассчитать величину усилия, необходимого для пластической вытяжки ленты фольги шириной  $B$ :  $G_t = (B/20)G_t$ .

В связи с тем, что дозировать нагрузку гораздо сложнее, чем ограничивать перемещение, в устройствах синхронизации полученное значение  $G_t$  используют как нижний предел требуемого усилия, а величину деформации  $\delta = (\Delta_1/50)L$ , где  $L$  – длина растягиваемого участка фольги – как верхний предел деформации под нагрузкой. Сказанное позволяет построить механизм вытяжки, который по сигналу оптического датчика растягивает зажатый с двух сторон участок покровного материала длиной  $L$  нагрузкой, существенно превышающей величину  $G_t$ , в пределах

$$[(\Delta_1 - \Delta_2)/50] L < \Delta < (\Delta_1/50)L.$$

Поскольку фольгу можно только растянуть, шаг между формами устанавливают несколько большим, чем шаг печати этикеток на фольге.

**Спектр покровных материалов** в настоящее время существенно расширился. Наряду с традиционной алюминиевой фольгой используются фольгированные полимерные и бумажные материалы. Результаты экспериментального определения механических свойств новых часто применяемых покровных материалов приведены в табл.1. Испытания проводились на стандартных образцах также с помощью катетометра КМ-6 с ценой деления 0,01мм. К образцу прикладывалась статическая нагрузка  $G$  и измерялась его деформация  $\Delta_1$ . Периодически нагрузка сбрасывалась (устранялась упругая деформация) и измерялась остаточная деформация  $\Delta_2$ . Затем нагрузка  $G$  увеличивалась и процедура повторялась вплоть до разрушения образца. Последние измерения приведены в табл.1.

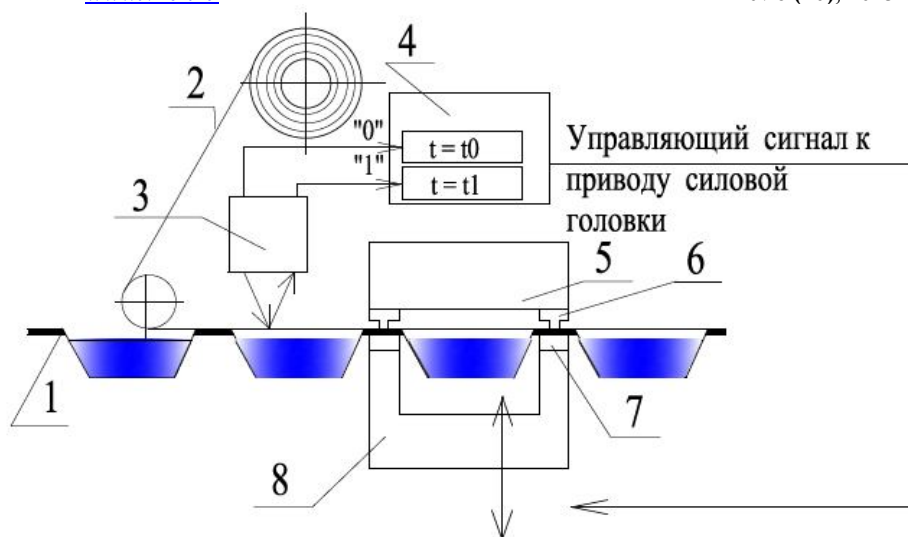
Таблица 1

Наимен. материала	Сечение образца, мм <sup>2</sup>	База измерения, мм	Разрушающая нагрузка Н.	Ост. деф. мм	Упр. деф. мм	Примечание. Неразрушающая статическая нагрузка
Алюпэт	15x0.04	52,0	49,53	7,43	1,57	При нагрузке ~30Н остат. деформация 0,2мм
ПЭТ	16.7x0.03	48,61	44,70	4,61	1	При нагрузке ~30Н остат. деформация 0,1мм
Микспап	16.7x0.05	48,30	59,53	0,17	0,39	При нагрузке ~50Н остат. деформация 0,04мм

Как показывает анализ экспериментальных данных, достаточно высокий процент остаточных деформаций имеет алюпэт, что позволяет использовать на АЛ описанный выше способ пластической деформации покровного материала. Что касается плёнки ПЭТ, то, как показали эксперименты, имеет место нелинейная упругая характеристика: при нагрузках на образцы меньше 4,7Н не удалось определить деформацию образцов. При увеличении нагрузок на короткое время наблюдалась значительная упругая деформация, однако остаточная деформация практически равнялась нулю. С увеличением времени выдержки образца под нагрузкой от нескольких минут до нескольких часов имеет место текучесть и соответственно все увеличивающаяся остаточная деформация. Таким образом, рассмотренный выше способ сборки путём пластической деформации покровного материала в этом случае неприменим. Этот способ также неприменим для покровного материала Микспап, представляющего собой фольгированную бумагу. Микспап обладает более высокой прочностью, но практически не имеет ни упругих, ни остаточных деформаций.

**Способ изменения глубины сварочного шва для компенсационного смещения ленты покровного материала** разработан именно для таких материалов как Микспап. Данный способ [2] основан на том, что при усилии в одну тонну, развиваемом силовой станцией, и температуре  $180^{\circ}\text{C} \pm 200^{\circ}\text{C}$  глубина  $h$  вдавливания узкого ( $1 \div 1,5\text{мм}$ ) контура концентратора и, соответственно, покровного материала в ленту корпусного материала существенно зависит от длительности сварки.

Экспериментальные исследования показали, что при одних и тех же температуре и силе сжатия изменение шага меток на покровной ленте составит  $0,2 \div 0,3\text{мм}$ , если время выдержки изменить с 0,8сек. до 1,5сек. Это позволяет построить систему автоматического регулирования рис.4.



**Рис.4.** Схема системы управления длительностью процесса сварки: 1 – корпусной материал; 2 – покровный материал; 3 – оптический датчик; 4 – контроллер; 5 – нагреватель; 6 – концентратор горячий; 7 – концентратор холодный; 8 – подъёмный стол станции сварки.

Здесь время выдержки  $t_0$  («длинная» сварка) или  $t_1$  («короткая») устанавливается управляющей программой в зависимости от показаний «0» или «1» оптического датчика. Если датчик фиксирует фон и расположен перед меткой на покровной ленте, то будет установлена «длинная» сварка с временем  $t_0 \gg t_1$ . Глубина шага увеличится, а шаг  $S_{t_0}$  по меткам после сварки станет меньше. В результате при «длинной» сварке с каждым циклом метка будет приближаться к датчику. Когда метка достигнет датчика, сигнал датчика изменится на «1» - включится «короткая» сварка с выдержкой  $t_1$ , шаг по меткам после сварки станет больше, а метка под датчиком с каждым «коротким» циклом будет смещаться в противоположную сторону – в сторону фона. Таким образом передний фронт метки удерживается в районе датчика, стабилизируя положение этикетки на ёмкости с точностью  $0,2 \pm 0,3$ мм.

Данный способ успешно работает, когда  $S_{t_0} < S < S_{t_1}$ , где  $S$  – шаг движения стола. Поскольку  $(S_{t_1} - S_{t_0}) = 0,2 \pm 0,3$ мм, шаг  $S$  стола необходимо выставлять с высокой точностью ( $0,03 \pm 0,05$ мм). Отметим, способ не требует создания какого-либо дополнительного специального механизма. К недостатку можно отнести необходимость в повышенных температурах и увеличении длительности времени сварки.

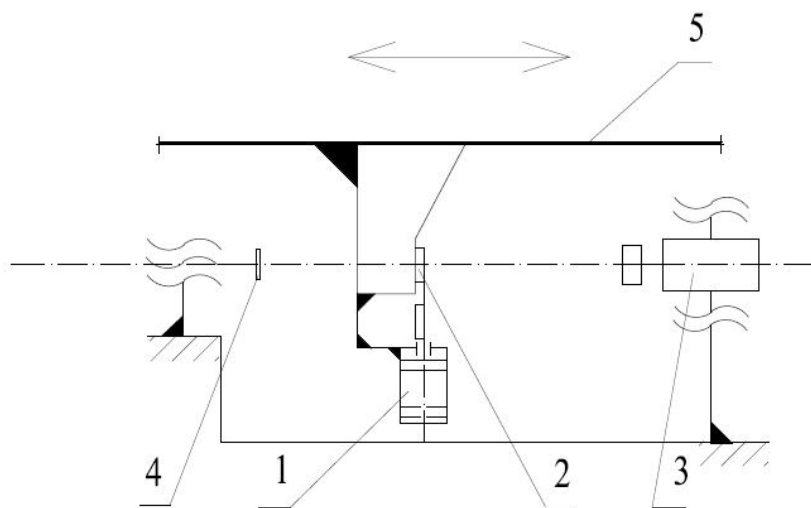
Расширение спектра используемых покровных материалов и требование повышения производительности АЛ приводят к необходимости рассмотрения варианта автоматической коррекции смещения этикетки относительно ёмкости с управляемым (изменяемым) шагом между ёмкостями.

**Способ совмещения положений этикетки на покровной ленте с ёмкостями в корпусной ленте путём управления шагом подачи стола** практически не зависит от физико-механических свойств покровного материала и в этом смысле претендует на универсальность. Конкурентоспособность способа определяется также простотой и низкой стоимостью его аппаратной реализации. Этим условиям удовлетворяет следующая система двухпозиционного регулирования.

В привод стола встраивается дополнительный пневмоцилиндр (рис.5), который по сигналу «1» от оптического датчика метки вставляет при выполнении следующего шага в межпупорное пространство калиброванную (толщиной  $D$ ) пластину. В результате шаг между формируемыми ёмкостями уменьшается на величину  $D$ , то есть становится «малым» и равным  $S$ . По сигналу «0» от оптического датчика метки пластина убирается из межпупорного пространства и шаг становится «большим», равным  $S+D$ . Необходимое условие настройки упоров состоит в том, чтобы при известной толщине  $D$  пластины «малый» шаг стола, а,



следовательно, и шаг протяжки покровного материала, был меньше шага метки на покровном материале, а «большой» шаг – больше:  $S < S_M < S + D$ . Однако переменный шаг стола – это переменный шаг между формируемыми ёмкостями в корпусном материале и, как следствие, переменные расстояния между ёмкостью в позиции формовки до ёмкостей в позициях сварки и вырубки.



**Рис.5.** Механизм изменения шага подачи стола: 1 – пневмоцилиндр; 2 – калиброванная пластина (толщина  $D$ ); 3 – гидродемпфер-упор; 4 – упор; 5 – стол подвижный.

Самый дорогой способ избежать неприятностей из-за непопадания ёмкостей на позициях сварки и вырубки в специальные окна этих технологических устройств – оснастить технологические станции сварки и вырубки шаговыми двигателями продольного смещения головок вдоль линии, подстраивая их положение под приходящие ёмкости [3], а самый, казалось бы, дешёвый – заплатаить увеличенными расстояниями между ёмкостями. Однако для того, чтобы сделать его действительно дешёвым необходимо решить задачу минимизации этих расстояний. Иными словами, определить диапазоны отклонений положений ёмкостей в позициях сварки и вырубки в переходных и периодических режимах в функции параметров системы:  $N_d$ ,  $N_c$  и  $N_b$  – номера позиций датчика, сварки и вырубки соответственно (рис.1,б);  $D$ ;  $k$  – коэффициент расположения метки ( $0 < k < 10$ ). Безразмерная величина  $k$  характеризует относительное положение шага метки на покровном материале между большим и малым шагом стола независимо от величины  $D$  так, что шаг метки  $S_M$  на покровном материале связан с малым шагом  $S$  стола соотношением  $S_M = S + 0,1kD$ . Малый шаг  $S$  стола считается известным, так как он определяется длиной собственно ёмкости и минимально необходимого по технологическим и конструктивным решениям расстояния между ёмкостями.

Для решения задачи рассмотрена детерминированная дискретная имитационная модель [4]. В программу введены базовые точки начала отсчетов отклонений метки в позиции установки датчика ( $\Delta X_d$ ) и ёмкостей в позициях сварки ( $\Delta X_c$ ) и вырубки ( $\Delta X_b$ ). Это – точки на расстояниях от оси станции формовки до середин ёмкостей на позициях установки фотодатчика и станций сварки и вырубки, которые имели бы место при работе линии с постоянным средним шагом  $(S + D/2)$ :

$$X_d = N_d(S + D/2) \text{ для } \Delta X_d; X_c = N_c(S + D/2) \text{ для } \Delta X_c; X_b = N_b(S + D/2) \text{ для } \Delta X_b.$$

Работа имитационной модели требует задания конкретного распределения больших (1) и малых (0) шагов (расстояний между ёмкостями в ленте) вдоль линии в качестве начального. Три типа распределения шагов вдоль линии: все шаги малые  $\{0,0,0,\dots,0\}$ ; все шаги большие  $\{1,1,1,\dots,1\}$  и попеременные шаги  $\{1,0,1,0,\dots,1\}$ , приняты за основные в задачах исследования переходных процессов. Для определенности покровный материал с метками в начале каждого эксперимента устанавливается так, чтобы метка совпала с серединой формы,

находящейся в позиции установки фотодатчика. Тогда начальное отклонение метки от оси фотодатчика  $(\Delta X_d)_0 = D((Y_d)_0 - 0,5 N_d)$ , где  $(Y_d)_0$  – число больших шагов от станции формовки до позиции установки фотодатчика.

Выполнение большого или малого шага имитационной модели на  $i$ -ом цикле определяется знаком отклонения  $(\Delta X_d)_{i-1}$ , ( $i=1,2,\dots$ ): при отрицательном или равным нулю значении  $(\Delta X_d)_{i-1}$  последующий шаг стола будет большим, при положительном – малым. Смещения метки относительно датчика на  $i$ -ом цикле движения при этом будут:

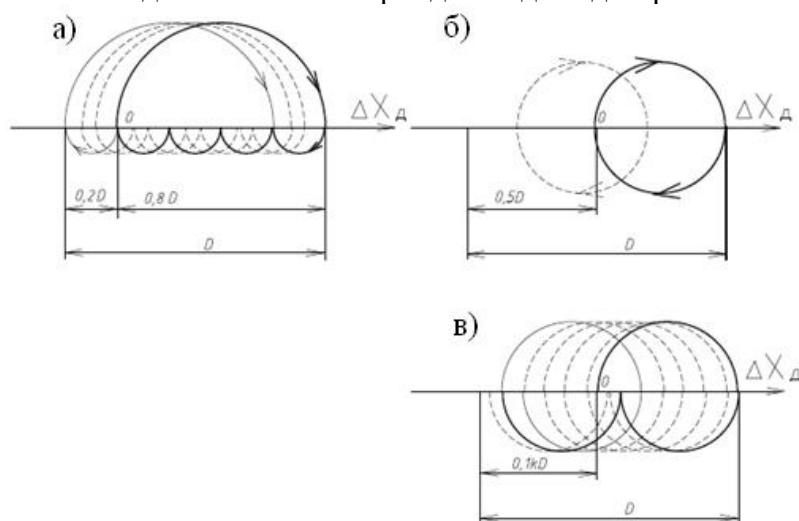
$$\begin{aligned} (\Delta X_d)_i &= (\Delta X_d)_{i-1} + 0,1(10 - k)D \text{ при } (\Delta X_d)_{i-1} \leq 0, \\ (\Delta X_d)_i &= (\Delta X_d)_{i-1} - 0,1kD \text{ при } (\Delta X_d)_{i-1} > 0. \end{aligned}$$

Что касается ёмкостей, то их смещения относительно начал отсчетов на позициях сварки  $(\Delta X_c)_i$  и вырубки  $(\Delta X_b)_i$  определяются на каждом  $i$ -ом цикле движения количеством  $(Y_c)_i$  больших шагов (больших расстояний между ёмкостями) от станции формовки до станции сварки и количеством  $(Y_b)_i$  больших шагов от станции формовки до станции вырубки:

$$(\Delta X_c)_i = SN_c + D(Y_c)_i - X_c; \quad (\Delta X_b)_i = SN_b + D(Y_b)_i - X_b.$$

На каждом цикле положение метки на покровном материале в позиции сварки со сдвигом на постоянную величину  $(N_c - N_d)(0,1k - 0,5)D$  повторяет смещение метки в позиции датчика  $(\Delta X_d)_i$ .

Первая серия компьютерных экспериментов проводилась при фиксированных параметрах:  $N_d = 6$ ;  $N_c = 7$ ;  $N_b = 12$ ;  $D = 0,5\text{мм}$ ;  $S = 99\text{мм}$ ;  $k = 2$ . Результаты моделирования с различными упомянутыми выше начальными распределениями шагов показали, что при разной длительности переходного процесса (соответственно, 16, 23 и 14 циклов) во всех случаях имеет место выход на периодический режим с периодом  $n = 5$  циклов. Диаграмма дискретного изменения отклонений  $(\Delta X_d)_i$  метки от датчика в зависимости от номера цикла в периодическом режиме представлена на рис.6,а. Как видим, имеют место два периодических режима с одним и тем же периодом. Сдвиг диаграммы зависит от



**Рис.6.** Диаграмма дискретного изменения расстояний  $\Delta X_d$  от датчика до метки от цикла к циклу: а – при  $k=2$ ; б – при  $k=5$ ; в – при  $4,5 < k < 5$ .

начальных значений  $\Delta X_d$  при выходе на периодический режим и вызван особенностями определения «нулевого значения» параметра  $\Delta X_d$  в компьютере. «Чистого нуля» нет, есть малые величины порядка десять в минус восьмой степени. При различных начальных распределениях шагов переходный процесс приводит к приближению  $\Delta X_d$  к нулевому значению - точке смены управления – с разных сторон. Если малая величина  $\Delta X_d$  положительная, то переключения управления на большой шаг не произойдет и только на следующем цикле движения значение  $\Delta X_d$  станет отрицательным, произойдет переключение управления и величина  $\Delta X_d$  станет расти. Если же близкая к нулю величина  $\Delta X_d$

отрицательная, то переключение управления на большой шаг произойдет сразу, без дальнейшего углубления  $\Delta X_d$  в область отрицательных значений.

Амплитуда колебаний положений метки  $\Delta X_d$  в периодическом режиме не превышает половины значения  $D$ , а среднее значение - его четверти. Соответственно, имеют место те же колебания метки (и этикетки) со смещенным на  $-0,15$  мм средним значением в позиции сварки. Отклонения ёмкостей  $(\Delta X_c)_i$  и  $(\Delta X_b)_i$  относительно базовых точек лежат в диапазонах  $-0,75 \div -1,25$  мм на позиции сварки и  $-1,5 \div -2$  мм на вырубке.

Вид дискретных переходов при  $k = 5$  и остальных неизменных параметрах показан на рис.6,б. Здесь система при любых начальных распределениях шагов выходит на периодический режим с периодом  $n = 2$ , причём в случае попеременного начального распределения шагов система выходит на периодический режим сразу, без переходного процесса. В периодическом режиме отклонения ёмкостей  $(\Delta X_c)_i$  относительно базовой точки на позиции сварки лежат в пределах  $\pm 0,25$  мм, а на вырубке колебания  $(\Delta X_b)_i$  равны нулю. Последнее объясняется тем, что при четной позиции технологической станции число больших шагов до неё от цикла к циклу не меняется.

В таблице 2 приведены результаты моделирования процесса сборки на АЛ при различных  $k$  в пределах  $4 \leq k \leq 6$  для линии с увеличенными числами позиций сварки и вырубки, когда  $N_c = 16$  и  $N_b = 22$ . Все остальные параметры остались без изменений. В этом случае при одном и том же попеременном начальном распределении шагов реализуются короткие монотонные переходные процессы с выходом на установившиеся периодические или квазипериодические режимы (рис.6,в).

Таблица 2

	$k = 4$	$k = 5$	$k = 5,25$	$k = 5,5$	$k = 6$
$\Delta X_c$ , мм	$-1 \div -0,5$	0	$0 \div 0,5$	$0 \div 0,5$	$0,5 \div 1$
$\Delta X_b$ , мм	$-1,5 \div -1$	0	$0 \div 0,5$	$0,5 \div 1$	$1 \div 1,5$

Анализируя результаты имитационного моделирования, можно сделать следующие выводы:

1. Из любых начальных условий система выходит на установившийся периодический или квазипериодический режим с некоторым периодом  $n$  циклов, зависящем от относительного положения шага метки на покровном материале между большим и малым шагом стола, то есть от коэффициента расположения метки  $k$ .

2. Получаемые установившиеся режимы симметричны относительно  $k = 5$  (см. табл. 2): при  $k = 5$  отклонения ёмкостей в позициях сварки и вырубки минимальны, а при  $k = 4$  и  $k = 6$  – одинаковы с точностью до знака.

3. В установившихся режимах переменная составляющая отклонений метки и, соответственно, этикетки в позиции сварки (сборки) не зависит от позиции установки фотодатчика и не превышает величины  $D$  разности большого и малого шагов. Постоянная составляющая отклонений метки в позиции сварки зависит от параметров настройки и позиции установки датчика и может быть скомпенсирована смещением датчика.

4. В установившихся режимах переменная составляющая отклонений ёмкостей на технологических позициях сварки и вырубки не превышают величины  $D$  при любом значении  $k$ . На эту величину должны быть увеличены зазоры в инструментах технологических станций. Постоянная составляющая этих отклонений зависит от значения  $k$  и номера технологической позиции. Она может быть скомпенсирована смещением технологических станций сварки и вырубки.

Одна из задач, требующих решения при использовании этого способа стабилизации положения этикетки на ёмкости заключается в том, что значение  $k$  заранее неизвестно, так как оно является функцией конкретной настройки линии. Однако значение  $k$  можно определить экспериментально. Достаточно запустить автоматическую линию на холостом ходу (без формовки ёмкостей). Далее, при выходе на периодический режим на числе  $Q$



циклов подсчитать число  $M$  больших шагов. Тогда коэффициент расположения метки  $k$  будет

$$k = 10MQ^{-1}. \quad (1)$$

Формула (1) позволяет приближенно рассчитать необходимые смещения технологических станций:  $\Delta X = ND(0,1k - 0,5)$ . Кроме того, в АЛ с ЧПУ привода перемещения стола на основе (1) нетрудно создать систему автоматической настройки на желаемое значение  $k$  при уменьшенной, например, величине  $D$ .

Другая важная задача: поиск способов исключения переходных режимов. Один из них, как следует из вышесказанного, связан с запуском системы на холостом ходу до выхода на периодический режим и последующим включением рабочих режимов. Этот способ требует затрат материалов, корпусного и покровного. Представляется перспективным способ, связанный с такой настройкой системы, при которой коэффициент метки  $k = 5 \pm \nu$ , где  $\nu < 0,5$ . В этом случае, как показали опыты с имитационной моделью (см. табл.2), не только реализуется возможность существенного уменьшения диапазона положений форм на позициях сварки и вырубки, но и не требуется знания начальных условий, соответствующих периодическому режиму движения модели.

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику Лаборатории исследования полей деформации ИМАШ РАН Кондратьеву Анатолию Дмитриевичу за помощь в определении физико-механических свойств покровных материалов.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.*

*Проекты №13-08-01235 А и № 13-08-90419 Укр\_ф\_а*

### Список литературы

1. Корендяев А.И. Фасовочно-упаковочная автоматическая линия – для малых форм хозяйствования. Наука – производству, 1998, №10 (12), с. 22 – 28.
2. Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Способ коррекции относительного положения корпусного и покровного материалов в автоматических упаковочных машинах и устройство для его осуществления. Патент №2256590. Б.И. №20, 2005.
3. Yoshiyuki Hayasaka et al. "Device for enabling registry of operations in an apparatus for continuously forming containers filled with material". Патент США № 4,349,997. 21 сентября 1982г.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – Искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418с.