

УДК 664:(625)

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ КОМПОНЕНТОВ, РАЗМЕЩЕННЫХ НА ДВУХ ЛЕНТОЧНЫХ НОСИТЕЛЯХ

© Борис Львович Саламандра, Галина Николаевна Орлова

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

[salamandra@imash.ru](mailto:salamandra@imash.ru)

*Аннотация.* Задача выбора способа совмещения элементов сборки, размещенных на ленточных носителях, особенно актуальна для автоматических линий типа «Form-fill-seal», где необходимо обеспечить совмещение этикетки, напечатанной на покровной ленте, с емкостью, отформованной в корпусной ленте. Как правило, на этих линиях при пневмоприводе механизма протяжки лент стабилизация положения этикетки относительно емкости обеспечивается путем построения системы двухпозиционного автоматического регулирования по сигналу фотодатчика, отслеживающего положение метки, нанесенной на покровную ленту с шагом печати этикеток. В статье проанализированы различные способы стабилизации в зависимости от того, какой параметр системы выбран в качестве параметра регулирования. Приведены примеры неустойчивости системы, приводящие к аварии. Показано, что при использовании регулируемого электропривода лент, отслеживающего с помощью фотодатчика положение меток, этикетка будет устойчиво находиться на отформованной емкости даже при изменении механической характеристики лент и параметров технологического процесса.

*Ключевые слова:* автоматическая сборка, стабилизация положения этикетки, автоматические линии, Form-Fill-Seal, автоматическое регулирование, механическая характеристика, пластичность, упругость, изменение шага протяжки.

## ANALYSIS THE DIFFERENT WAYS HOW TO AUTOMATIC ASSEMBLY THE COMPONENTS DISTRIBUTED ON TWO TAPE CARRIERS

© Boris Salamandra, Galina Orlova

IMASH RAN, Moscow, Russia

[salamandra@imash.ru](mailto:salamandra@imash.ru)

*Abstract.* The task of selecting the method of combining assembly elements placed on tape carriers is especially important for automatic lines of the "Form-fill-seal" type, where it is necessary to combine the label printed on the cover tape with a container molded in the plastic tape. As a rule, on these lines with the pneumatic drive of the tapes pulling mechanism, the position of the label relative to the capacity is stabilized by building a two-position automatic control system by the signal of a photosensor that tracks the position of the label applied to the cover tape with the label printing step. The article analyzes various stabilization methods, depending on which parameter of the system is chosen as the control parameter. Examples of instability of the system leading to an accident are given. It is shown that when using an adjustable electric tape drive that monitors the position of marks using a photosensor, the label will be stable on the molded container even if the mechanical characteristics of the tapes and process parameters change.

*Keywords:* automatic assembly, stabilization of the label position, automatic lines, Form-Fill-Seal, automatic control, mechanical characteristic, plasticity, elasticity, changing the step of the tapes shift.

В работе [1] на примере высокопроизводительной линии фасовки и упаковки продуктов [2, 3] рассмотрены варианты решения задачи стабилизации положения этикетки, напечатанной на покровном материале, относительно отформованной емкости на корпусном материале. На таких линиях за период цикла  $2,5 \div 5$  с параллельно выполняется 5 технологических операций (рис. 1), а именно: размотка корпусного 1 и покровного 2 материалов от одного привода; нагрев корпусного материала в нагревателе 3; формовка емкости в силовой головке 4; дозирование продукта в отформованные емкости с помощью дозатора 5; сварка корпусного и покровного материалов в силовой головке 6 и вырубка готовых запечатанных емкостей в штамповой головке 7.

Типовая схема привода (рис. 2) размотки лент 1 и 2 содержит приводной пневмоцилиндр 4, который через синусный механизм (обеспечение плавности разгона, чтобы не выплеснуть продукт) за время  $0,6 \div 0,8$  сек. перемещает подвижный стол 3 от упора 5 до упора – демпфера 6 (обеспечение плавности торможения). Стол 3 несет подвижные захваты 7, которые зажимают ленты с заполненными жидким продуктом емкостями и протягивают их при перемещении вправо на шаг  $L$ , определяемый расстоянием между упорами 5 и 6. На обратном ходе стола 3 подвижный захват 7 открыт, производится размотка рулонов лент 1 и 2, удерживаемых неподвижными захватами 8.

Очевидно, что для постоянного положения этикетки на отформованной емкости шаг ленты  $L$  должен быть равен шагу между этикетками после сварки. Проблема заключается в том, что невозможно идеально обеспечить это равенство путем регулировки расстояния между упорами 5 и 6. Длина шага  $L$  между этикетками после сварки определяется шагом печати  $S$ , который сам по себе может отличаться от рулона к рулону, а также многими неизвестными параметрами. Среди этих параметров наиболее существенными являются упругая деформация  $U$  покровной ленты от усилия натяжения лентопротяжного механизма и изменение  $H$  шага между метками при сварке (кромка верхнего горячего концентратора “затягивает” покровную ленту в корпусной материал на различную глубину в зависимости от температуры, времени сварки и давления). На точность настройки упоров существенно влияют деформации стойки, несущей упоры 5 и 6, от усилия, развиваемого цилиндром 4. Имеющаяся всегда погрешность  $\Delta$  регулировки приводит к смещению этикетки относительно емкости на величину  $\Delta$  за цикл. При непрерывной работе линии этикетка “ползет” относительно емкости. Если  $\Delta > 0$ , то этикетка смещается вправо, если  $\Delta < 0$ , то влево.

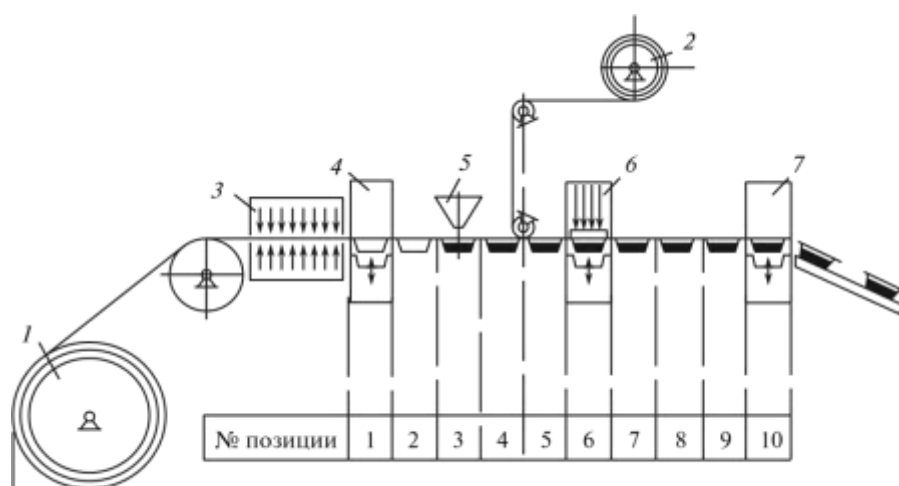


Рис. 1

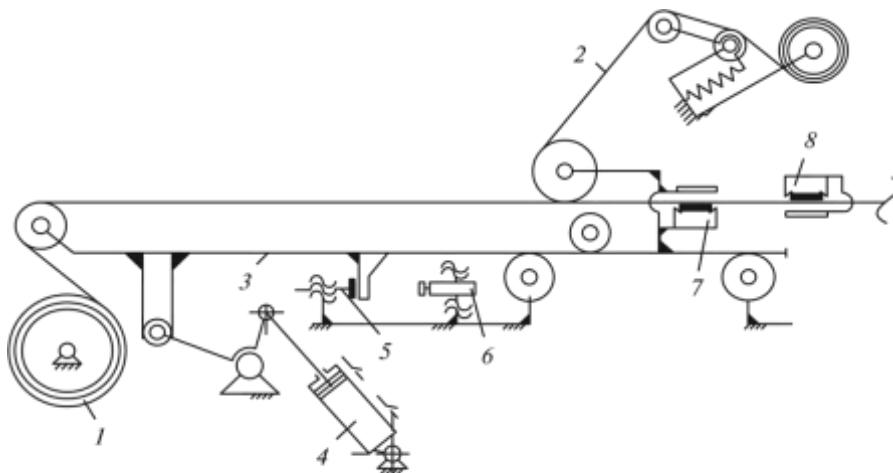


Рис. 2

Для стабилизации положения этикетки, т.е. для устранения этого смещения, как правило, привод лент оснащают оптическим датчиком, отслеживающим положение этикетки (точнее метки на покровном материале), и системой двухпозиционного автоматического регулирования. При этом в качестве параметра регулирования выбирают тот, который наиболее сильно влияет на соотношение длин шагов корпусного и покровного материалов. Для обеспечения устойчивости системы регулирования остальные параметры в процессе работы системы должны быть неизменными. В общем случае шаг  $L$  протяжки лент определяется суммой

$$L = S - H + U + \Delta.$$

В зависимости от того, какой из этих параметров используют в качестве параметра регулирования, различают следующие способы стабилизации положения этикетки на отформованных емкостях:

1. Способ “ $S$ ” – способ стабилизации путем пластической деформации покровного материала, т.е. преднамеренным увеличением шага  $S$  печати этикетки на одном или нескольких последовательных циклах работы линии. Для реализации этого способа механизм протяжки ленты оснащают специальным устройством, которое позволяет по сигналу от системы управления зажать участок покровного материала и вытянуть его, доведя до пластического состояния. Примеры таких устройств приведены в [4, 5]. Наиболее часто используемый материал покровной ленты – алюминиевая фольга. Пластическая деформация –  $0,5 \div 0,7$  мм на длине  $\approx 65$  мм.

2. Способ “ $H$ ” – способ стабилизации путем изменения глубины сварочного шва [6]. Экспериментально установлено, что при усилии сжатия в 1,1 т, развиваемом силовой головкой, и температуре  $180 \div 200^\circ\text{C}$  глубина вдавливания узкого ( $1 \div 1,5$  мм) контура концентратора и, соответственно, покровного материала в корпусной материал существенно изменяется в зависимости от длительности сварки. В частности, при таких условиях изменение длины покровного материала составит  $0,2 \div 0,3$  мм, если время сварки изменить с 0,8 до 1,5 с. Пример использования материала ленты – микспап (фольгированная бумага), который по своей механической характеристике практически не имеет упругой и пластической деформаций. Этот способ не требует специального механизма, но приводит к увеличению времени сварки.

3. Способ “ $U$ ” – способ стабилизации путем изменения упругой деформации покровного материала. Для этого в систему протяжки покровного материала встраивают механизм изменения натяжения ленты, а материал ленты (например, ПЭТ) имеет достаточно широкий ( $0,3 \div 0,4$  мм на 100 мм длины) диапазон упругих деформаций.

4. Наконец, способ “ $\Delta$ ” – это способ стабилизации положения этикетки путем управления шагом подачи обеих лент [7]. Для реализации этого способа между упорами 5 и 6

дополнительно к толщине ведомого зуба стола от своего привода может вводиться шуп, как правило, толщиной  $\Delta = 0,4 \pm 0,5$  мм. В результате в зависимости от показаний фотодатчика система управления реализует либо шаг  $L$ , либо  $L - \Delta$ . Этот способ можно реализовать для любых покровных материалов, претендуя в этом плане на универсальность.

Видим, что выбор способа стабилизации определяется, в первую очередь, свойствами покровного материала (точнее его механической характеристикой), однако общим для всех способов является тот факт, что за счет изменения параметра регулирования  $\Pi$  (здесь под  $\Pi$  понимается любой параметр из ряда  $S, H, U, \Delta$ ) формируется “большой” ( $L^+$ ) или “малый” ( $L^-$ ) шаг протяжки, который назначается системой управления в зависимости от показаний фотодатчика. Если фотодатчик отслеживает передний фронт метки, то при регистрации датчиком фона перед меткой формируется сигнал “0”, и система управления устанавливает “большой” шаг  $L^+$ . В результате покровный материал смещается вправо, приближая с каждым циклом метку к фотодатчику. Как только датчик зарегистрирует метку, будет сформирован сигнал “1”, и система управления установит “малый” шаг  $L^-$ . Покровный материал при этом начнет смещаться в противоположную сторону – влево – в сторону фона. Таким образом, система управления всегда удерживает покровную ленту в районе переднего фронта метки, стабилизируя при этом положение этикетки на отформованной емкости.

Важным параметром системы стабилизации является диапазон ( $L^+ - L^-$ ). Для способов “ $S$ ” и “ $U$ ” этот диапазон определяется механической характеристикой покровного материала – зависимостью упругой или пластической деформации ленты от нагрузки. Для способа “ $H$ ” диапазон регулирования определен технологическими особенностями процесса термосварки и временем цикла (разные времена сварки не должны увеличивать время цикла, ухудшать герметичность емкости и легкость ее вскрытия).

Следует отметить, что способы “ $S$ ”, “ $H$ ” и “ $U$ ” стабилизируют этикетку за счет изменения длины покровного материала при постоянном шаге между отформованными емкостями. Поэтому такие системы стабилизации никак не влияют на положение силовых станций. При использовании способа “ $\Delta$ ” шаг между емкостями становится переменным, что вызывает опасность недопустимого смещения емкостей, превышающего технологические зазоры в неподвижных силовых станциях и, как следствие, аварийную ситуацию – замыкание отформованных емкостей. Поэтому величину диапазона, соотношение шагов  $L^+$  и  $L^-$ , а также положение силовых головок рекомендуют определять по результатам имитационного моделирования [5].

Диапазон ( $L^+ - L^-$ ) определяет погрешность стабилизации этикетки. Именно на эту величину может смещаться этикетка относительно емкости. Стремление повысить точность за счет уменьшения ( $L^+ - L^-$ ) ограничено двумя факторами. Первый фактор заключается в том, что чем меньше этот диапазон, тем сложнее отрегулировать упоры стола, определяющие шаг по емкостям. Задача заключается в том, чтобы найти такой фактический шаг  $L_\phi$  стола, чтобы  $L^+ > L_\phi > L^-$ . При этом условии смена  $L^+$  на  $L^-$  приводит к изменению направления движения метки покровного материала относительно датчика. Как правило, эта задача решается экспериментально, непосредственно на линии, итерационно, за несколько приближений. На первой итерации шаг стола назначается, исходя из шага печати этикеток и опыта наладчика по работе с этим материалом ленты на данной линии. Линия запускается на специальном технологическом режиме, при котором формовка емкостей не производится, но станция сварки и система стабилизации работают. Как правило, на первой итерации в диапазон ( $L^+ - L^-$ ) не попадают: при изменении шага направление смещения метки относительно фотодатчика не изменяется. Однако по скорости смещения метки можно рассчитать корректирующую поправку на величину шага протяжки лент. На эту полученную расчетную величину смещают упор  $b$  (рис. 2) и производят вторую итерацию. В конечном итоге через несколько итераций условие  $L^+ > L_\phi > L^-$  достигнуто: система стабилизации работает. На данном технологическом режиме (без формовки емкостей) делают не менее, чем столько циклов, сколько шагов умещается между станцией формовки и вырубкой, запоминая при этом

в памяти контроллера всю текущую последовательность шагов  $L^+$  и  $L^-$ . Далее переходят на другой технологический режим, при котором работает только станция формовки, т.е. формируют емкости, обрабатывая при этом всю ранее запомненную последовательность шагов  $L^+$  и  $L^-$ . По отформованным в этом режиме емкостям устанавливают силовые станции сварки и штампа. Наладка завершена.

Второй, наиболее значимый фактор, ограничивающий уменьшение диапазона ( $L^+ - L^-$ ), заключается в увеличении вероятности потери устойчивости системы стабилизации из-за изменения внешних условий работы линии (колебания толщины корпусной и жесткости покровной ленты от рулона к рулону, температуры внешней среды и т.п.) и действий оператора (корректировка температуры нагревателей, натяжения покровной ленты, интенсивности водяного охлаждения). Здесь под потерей устойчивости понимается нарушение условия  $L^+ > L_{\text{ф}} > L^-$ , в результате чего система стабилизации перестает работать, и этикетка начинает смещаться относительно емкости.

Опыт наладки и эксплуатации линий с различными системами стабилизации показал, что наиболее устойчив к внешним возмущениям способ стабилизации “S” – путем пластической деформации фольги, имеющий максимальный диапазон ( $L^+ - L^-$ ) = 0,5÷0,7. Наиболее “капризный” способ – способ “H” стабилизации путем изменения глубины сварочного шва, имеющий максимальный диапазон ( $L^+ - L^-$ ) = 0,2÷0,3 вследствие ограничений, наложенных технологическим процессом сварки.

Устойчивость способа “Δ” стабилизации путем изменения шага подачи стола даже при достаточно большом диапазоне ( $L^+ - L^-$ ) = 0,4÷0,5 имеет свои особенности, обусловленные тем, что в отличие от других способов шаг между отформованными емкостями является переменным. Обычно при наладке стараются обеспечить равенство количества больших  $L^+$  и малых  $L^-$  шагов за фиксированное, достаточно большое время. В этом случае средний фактический шаг  $L_{\text{ф.ср}} = (L^+ - L^-)/2$  будет равноудален от границ диапазона ( $L^+ - L^-$ ), что обеспечит максимальную устойчивость системы от внешних возмущений. Силовые станции сварки и вырубки устанавливаются по длине непосредственно по емкостям, которые отформованы при работающей системе стабилизации и расположены на ленте с некоторым средним шагом  $L_{\text{ф.ср}}$ . При отсутствии возмущающих факторов  $L_{\text{ф.ср}}$  не изменяется, а емкости в технологических станциях при работе системы стабилизации могут изменять свое положение в направлении движения ленты в пределах ( $L^+ - L^-$ ) = 0,4÷0,5 мм, что меньше, чем технологические зазоры (1÷0,5 мм) в приемных окнах технологических станций.

При действии возмущающих факторов, в частности, при изменении режимов работы линии шаг  $L_{\text{ф.ср}}$  изменяется, что приводит к уменьшению технологических зазоров и, в конечном счете, к аварийной ситуации – замытию емкости. Рассмотрим пример. На нормально работающей линии с системой стабилизации “Δ” оператор решил улучшить герметичность емкости, для чего увеличил температуру сварки. В результате глубина внедрения кромки концентратора в корпусной материал увеличится, а шаг между метками и, соответственно,  $L_{\text{ф.ср}}$  уменьшится. Допустим,  $L_{\text{ф.ср}}$  уменьшится всего лишь на  $\delta = 0,1$  мм. Такое изменение не нарушит условие устойчивости системы стабилизации  $L^+ > (L_{\text{ф.ср}} + 0,1) > L^-$ , поскольку ( $L^+ - L^-$ ) = 0,4÷0,5 мм, но возникнет аварийная ситуация из-за замытия емкостей стенками приемных окон технологических станций. Действительно, на станции сварки, находящейся на  $n = 6$  - й позиции (рис. 1) емкость сместится относительно предыдущего положения на величину  $(n - 1)\delta = 0,5$  мм, а на станции вырубки ( $n = 10$ ) – на величину 0,9 мм. Система стабилизации добавит к этому систематическому смещению еще  $\pm(0,2 \div 0,25)$ ; в результате величина смещения в 1,15 мм превысит технологический зазор в 1 мм, и емкость будет замыта левой стенкой приемного окна станции вырубки. В этом случае необходимо сделать подналадку, скорректировав положение силовых станций сварки и вырубки.

Следует отметить, что способ стабилизации “Δ” лучше работает при больших шагах, поскольку при этом количество  $n$  шагов до станции вырубки минимально. На порционных линиях, где формируются мелкие емкости с малым шагом, значение  $n$  шагов может достигать

30 и более. Поэтому на таких линиях подналадку из-за изменения режимов работы или замены покровного материала приходится производить значительно чаще.

Высокая трудоемкость наладки системы стабилизации этикетки и необходимость в достаточно частой подналадке заставляют искать новые варианты построения схемы привода лент. Одним из таких вариантов является отказ от пневмопривода, работающего по упорам, и переход на управляемый электропривод постоянного тока, выполняющий перемещения лент непосредственно по меткам, нанесенным на покровный материал. Условием удержания этикетки на емкости является равенство перемещения корпусной ленты шагу между метками на покровном материале после сварки. Шаг по меткам после сварки отличается от шага печати меток тем, что в их разности интегрально проявились все фактические свойства покровного материала и влияния на них силовых и тепловых воздействий механизмов линии. Поскольку в предыдущих вариантах пневмопривод по упорам напрямую не связан с шагом по меткам после сварки, все рассмотренные выше системы стабилизации являются аналогом экспериментального решения задачи достижения этого равенства с точностью  $(L^+ - L^-)/2$ . Отсюда следует, что если организовать перемещение лент непосредственно по меткам после сварки, то пропадает необходимость в построении двухпозиционной системы регулирования, а точность положения этикетки на емкости при стабильных параметрах будет определяться только погрешностью считывания границы метки и колебаниями “перебега” электропривода за эту границу.

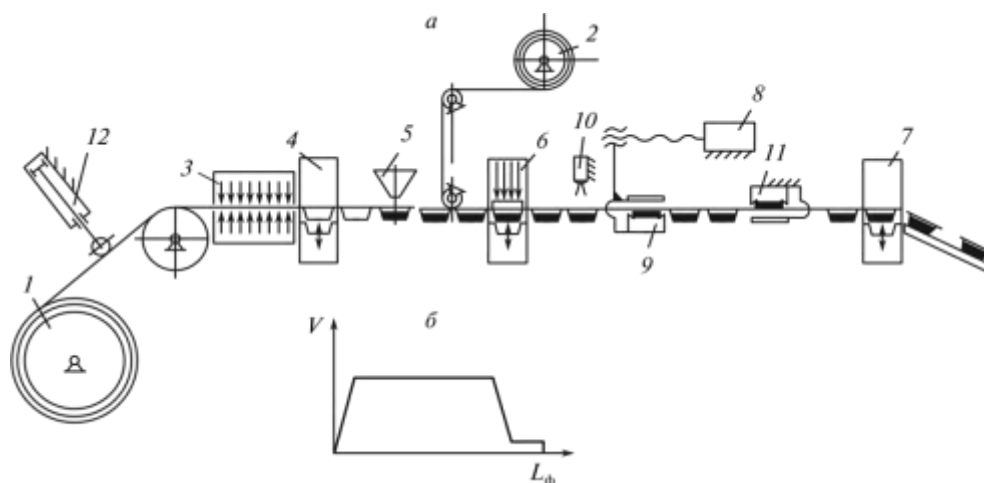


Рис. 3

Схема предлагаемого привода лент показана на рис. 3, а. Она существенно проще, чем схема рис. 2, поскольку плавность разгона и торможения, достигаемая ранее синусным механизмом и гидродемпфером, реализуется соответствующим законом движения электропривода.

Обе сваренные ленты 1 и 2 протягиваются вправо через все рабочие станции: нагреватель 3, формовки 4, дозирования 5, сварки 6 и вырубки 7 с помощью электропривода 8 при зажатом подвижном захвате 9. Электропривод 8 установлен между станциями сварки 6 и вырубки 7. Там же установлен фотодатчик 10. Привод перемещает ленты по трапецеидальному закону (рис. 3, б). В конце хода, перед тем, как датчик 10 зафиксирует границу метки, электропривод переходит на ползучую скорость и останавливается сразу при изменении состояния датчика. Важно отметить, что количество импульсов, поступающих с инкодера двигателя, определяет величину расстояния между метками. В этом плане регулируемый электропривод является и измерительной системой. После остановки двигателя 8 подвижный захват 9 открывается, а неподвижный захват 11 закрывается, фиксируя ленты для выполнения технологических операций на всех силовых станциях. Пока выполняются технологические операции, электропривод возвращается в исходное положение, а пневмопривод 12 разматывает корпусную ленту 1, тем самым устраняя влияние инерционности рулона на следующем шаге.

Очевидно, что при неизменных параметрах процесса шаг формовки емкостей будет совпадать с шагом меток после сварки, и этикетка не будет смещаться относительно емкости. Если же параметры меняются вследствие изменения режимов или свойств покровного материала, то, соответственно, изменится шаг по меткам после сварки. Если бы формовка, сварка и измерительная система были бы на одной позиции, то изменение шага не вызвало бы смещения этикетки относительно емкости. Однако указанные действия производятся на разных позициях, поэтому этикетка сместится. Если, например, измерение шага производится на позиции  $n = 7$  (рис. 1), а шаг увеличился на  $\delta = 0,1$  мм (например, в случае уменьшения оператором температуры сварки), то предыдущие 6 ранее отформованных с малым шагом емкостей будут запечатаны покровным материалом с увеличенным на  $0,1$  мм шагом. С каждым шагом из этих шести этикетка будет смещаться относительно емкости на  $0,1$  мм влево. Через  $(n - 1)$  шагов смещение достигнет  $(n - 1)\delta = 0,6$  мм; далее смещение остается постоянным.

Возможность использования регулируемого электропривода в качестве системы измерения фактического шага между метками позволяет автоматически выявлять подобные ситуации и корректировать положение этикетки на емкости. В рассмотренном выше случае достаточно сместить диапазон измерения шага на  $0,6$  мм, т.е. останавливать перемещение ленты не на переднем фронте метки, а через  $0,6$  мм после ее прохождения. При такой автоматической коррекции этикетка будет находиться на отформованной емкости при любых изменениях свойств покровного материала и параметров технологического процесса, в том числе и при изменении шага печати меток.

Важно отметить, что расстояния между станцией формовки и станциями сварки и штампа должны быть кратны фактическому шагу между емкостями. Изменение этого шага допустимо только в пределах технологического зазора в приемных окнах станций. Поэтому при использовании регулируемого электропривода, измеряющего фактический шаг, можно автоматически определить возникновение аварийной ситуации, угрожающей замытием емкостей, остановить линию и выдать наладчику сообщение на монитор о том, насколько и в какую сторону необходимо сместить станции сварки и вырубки.

### Список литературы

1. Корендясев Г.К., Саламандра Б.Л., Саламандра К.Б., Тывес Л.И. Об одной специфической задаче сборки в автоматических линиях упаковки типа “Формовка – фасовка – укупорка – вырубка” // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2013. - № 2. - С. 84–92.
2. Корендясев А.И. Фасовочно-упаковочная автоматическая линия – для малых форм хозяйствования // Наука – производству. - 1998. - № 10 (12). - С. 22–28.
3. Саламандра Б.Л., Корендясев А.И., Тывес Л.И. Автоматическая упаковочная машина преимущественно для жидких и полужидких продуктов. Патент РФ № 21 38427. Б.И. 1999. № 27.
4. Lichti H., Lempert J. Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von durch Deckfolien abgedeckten Behältern. Патент ФРГ № 3912054 A1. Кл. В65В9/04. 1990.
5. Корендясев Г.К., Саламандра Б.Л., Саламандра К.Б., Тывес Л.И. Задачи и решения при разработке упаковочных автоматических линий типа Form-fill-seal. Ч. 2. Решения задачи сборки на упаковочной автоматической линии // Приводы и компоненты машин. - 2013. - № 1. - С. 5–9.
6. Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Способ коррекции относительного положения корпусного и покровного материалов в автоматических упаковочных машинах и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2256590. Б. И. 2005. № 20.
7. Yoshiyuki Hayasaka et al. Device for enabling registry of operations in an apparatus for continuously forming containers filled with material. Патент США № 4349997.