



ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ГРУППОВОГО УПАКОВЫВАНИЯ С УЧЕТОМ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УПАКОВОЧНЫХ ЕДИНИЦ

А.Н. ГАВВА, В.В. ХАЛАЙДЖИ, С.В. ТОКАРЧУК

Выполнен анализ видов силового действия на упаковочную единицу со стороны рабочих органов машин группового упаковывания. Разработаны математические модели перемещения упаковочных единиц с учетом их структурно механических характеристик. Приведено методику определения реологических параметров упаковочных единиц.

RESEARCH OF OPERATIONS OF GROUP PACKING TAKING INTO ACCOUNT STRUCTURALLY-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF PACKINGS

A.N. Gavva, V.V. Khalaydzhi, S.V. Tokarchuk

Was executed the analysis of types of the power operating on the cased unit from the side of workings organs of machines for the group packing. The mathematical models of moving of packing units are developed taking into account their structurally-mechanical descriptions. Was considered the method of decision of rheological parameters of packing units.

Технологическая схема, вид и тип рабочих органов машин группового упаковывания во многом зависят от структурно-механических характеристик упаковочных единиц. Потребительские упаковки с продукцией, в зависимости от деформационных характеристик, условно разделяют на жесткие, полужесткие и мягкие. Деформационные характеристики упаковочных единиц зависят от вида упаковочного материала, конструкции упаковки и вида продукции (жидкая, сыпучая, вязкая, штучная), которая размещена в таре.

Во время переработки потребительских упаковок в линиях группового упаковывания упаковки, по большей части, находятся на несущих плоскостях, которые и определяют их положение в пространстве. По расположению в пространстве можно выделить горизонтальные и наклонные несущие плоскости, а по кинематическим свойствам – подвижные, неподвижные и циклично движущиеся. В некоторых машинах расположение несущих плоскостей или их кинематические свойства могут изменяться в различных комбинациях, что вызывает соответствующее изменение положения упаковок.

Ко всем несущим плоскостям предъявляется ряд основных требований: достаточная прочность для конкретного типа упаковки; обеспечение надежного контакта с упаковкой; стойкость к изнашиванию и при необходимости минимальное сопротивление перемещению упаковки.

Если упаковка расположена неподвижно относительно несущей плоскости, то ее силовое взаимодействие с несущей плоскостью имеет характер контактного давления, распределенного по опорной поверхности. При перемещении упаковки по

несущей плоскости к контактному давлению добавляются силы фрикционного взаимодействия между опорной поверхностью упаковки и несущей плоскостью. Во время переходных режимов движения к перечисленному силовому действию на упаковку добавляются силы инерции.

Операции перестройки движения упаковок из ряда в ряд, ориентирования, перегрузки, подачи упаковок в транспортную тару осуществляются с помощью различных по конструктивному исполнению активных и пассивных рабочих органов. К наиболее распространенным активным рабочим органам можно отнести сталкиватели; приводные створки, отсекатели, подъёмно-опускные платформы (столы), поворотные кассеты и платформы.

К пассивным рабочим органам относят различного типа направляющие, ограничительные стенки и т.п.

Достаточно часто во время перемещения упаковок в линиях группового упаковывания на них действуют одновременно активные и пассивные рабочие органы. Перемещение упаковок достаточно часто сопровождается ударным взаимодействием с конструктивными элементами машин группового упаковывания.

Учет всех перечисленных видов силового взаимодействия упаковки с рабочими органами дает возможность осуществлять управление процессами перемещения упаковки в линиях группового упаковывания. При этом силовое взаимодействие является основной причиной появления нежелательных упругих или вязко-пластичных деформаций упаковки.

Таким образом, взаимодействие упаковок с конструктивными элементами машин группового упаковывания, должно обеспечивать наилучший эффект управления движением упаковки при одновременном сведении к минимуму опасности ее повреждения и деформирования.

Характерные виды взаимодействия упаковки с конструктивными элементами машины достаточно полно оцениваются: контактным давлением; силами и моментами сил трения скольжения; силами трения качения по роликовой поверхности; критериями устойчивости упаковок на несущих плоскостях; параметрами ударного воздействия на упаковки [1].

При математическом моделировании перемещения структурных элементов групповой упаковки по несущим плоскостям – независимо от того, из каких упаковок они сформированы (жесткие, полужесткие или мягкие), – условно предполагают, что упаковки являются абсолютно твердыми телами.

Такое предположение, особенно для мягких упаковок с жидкой или сыпучей продукцией, приводит к существенным погрешностям во время определения часовых, кинематических и силовых параметров. При проектировании высокопроизводительных упаковочных машин неточности в длительности выполнения операций, позиционировании упаковок приводят к уменьшению фактической производительности машины и качества выполнения операций.

А поэтому целью приведенных исследований является установление влияния структурно-механических характеристик упаковочных единиц на часовые, кинематические и силовые параметры операций перемещения структурных элементов групповой упаковки. В ходе предварительно проведенных исследований установлено, что полужесткие и мягкие упаковки с сыпучей или жидкой продукцией можно представить в виде упругого, упруго-пластичного и пластичного тела [2].

Учет структурно механических характеристик упаковочных единиц даст возможность с достаточно высокой точностью прогнозировать как позиционирование упаковок, так и длительность выполнения операции. Для высокопроизводительных машин группового упаковывания, наряду с ограничением нагрузки на упаковки,

позиционирование относительно рабочих органов и длительность выполнения операций являются важнейшими параметрами.

Расчетно-графические модели, при условии учета упруго-пластичных характеристик, будут иметь несколько другой вид (в сравнении с абсолютно жестким телом). В первом приближении это двух массовая дискретная система [3]. Ведомой массой по большей части считают массу груза, который перемещается, а ведущей – приведенную массу подвижных элементов привода и толкателя (рис. 1).

Ввиду существенной разницы в значениях жесткости упругих элементов привода и упаковки, можно предположить, что ведущая и ведомая массы системы во время их общего движения соединены упругими связями и демпфером, которые характеризуют структурно-механические характеристики упаковочных единиц.

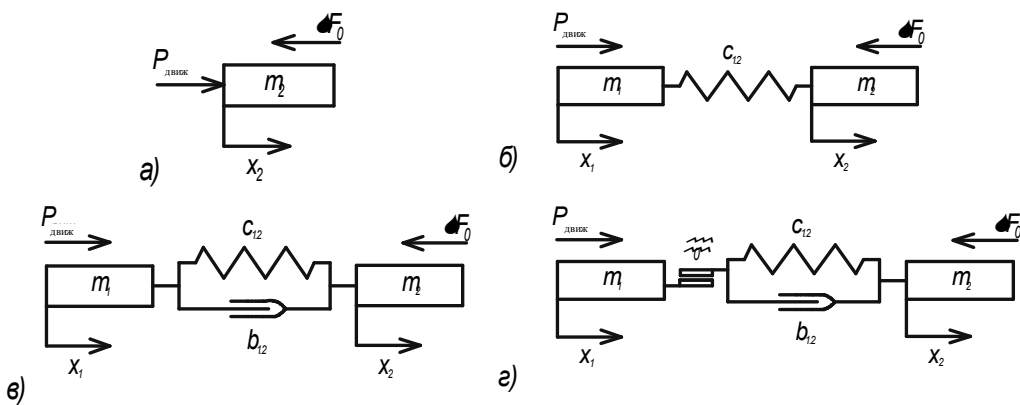


Рис.1. Расчетно-графические схемы механизма сталкивания потребительских упаковок с учетом их структурно-механических характеристик: абсолютно жесткое тело (а), упругое тело (б), упруго-пластичное тело (в), пластичное тело (г)

Известно, что упругая сила определяется произведением деформации $x_1 - x_2$ и коэффициента c_{12} жесткости.

Для многих упаковочных материалов, а тем более для соответствующей конструкции потребительской упаковки с продукцией значения c_{12} можно определить только экспериментально. Как отмечает автор научной работы [4], значения модуля упругости E , от которого функционально зависит c_{12} , можно определить в достаточно приближенном варианте. В упругих звеньях в результате перемещения сыпучей, жидкой, вязкой продукции вместе с материалом упаковки возникают сопротивления $b_{12}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)$, пропорциональные относительной скорости. В случае использования мягкой упаковки, в которую упаковывают сыпучую, жидкую, вязкую продукцию, пластическую деформацию уместно представлять через тело Сен-Венана (сухое трение) η_0 , которое пропорционально пределу текучести G_T потребительской упаковки.

Для нахождения реологичных коэффициентов c_{12} и b_{12} можно, в соответствующем приближении, использовать экспериментальные данные уплотнения упаковочной единицы.

Исследование уплотнения упаковочной единицы можно характеризовать как одностороннее деформирование вязкоупругой дисперсной системы. Методика

определения реологических коэффициентов c_{12} и b_{12} для вязкоупругой дисперсной системы приведена в работе [5]. В соответствии с данной методикой в виде реологической модели вязкоупругих дисперсных систем принято тело Кельвина-Фойгта, деформирование которого описывается уравнением:

$$\tau = c' \cdot \varepsilon + b' \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

где τ – напряжение деформирования системы, Па;

ε – относительная деформация, $\varepsilon = \Delta/a$;

a – начальная длина упаковочной единицы;

Δa – величина деформирования упаковки во время приложения к ней нагрузки.

Приняв начальные условия: $t=0$, $\varepsilon(t)=0$ решение уравнения (1) будет иметь вид:

$$\varepsilon(t) = \frac{\tau}{c'} \left(1 - e^{-\frac{c'}{b'} t} \right) \quad (2)$$

Во время проведения экспериментальных исследований определяют длительность t , величину относительной деформации $\varepsilon(t)$ упаковочной единицы. В связи с тем, что скорость деформирования уменьшается, то относительная

деформация ε асимптотически приближается к значению $\frac{\tau}{c'}$ через некоторый

промежуток времени. Из-за того, что исследования проводятся при заданном значении τ то $c' = \frac{\tau}{\varepsilon(t)}$. Подставив исходные данные и значения c' в уравнение (2)

можно определить величину b' . Для определения параметров c и b при учете деформирования в абсолютных величинах можно использовать выражение $c = c' \cdot a$; $b = b' \cdot a$.

Перемещение ведущей массы осуществляется под действием движущей силы $P_{\text{движ}}$, которая создается приводом. В качестве сопротивления перемещению упаковок выступает совокупность сил трения $\sum F_0$ опорной поверхности упаковки по несущим поверхностям рабочих органов устройства перемещения. Силы трения $\sum F_0$ также зависят от многих факторов: стабильности значений коэффициентов трения; относительной скорости перемещения опорной поверхности упаковки по несущим плоскостям рабочих поверхностей устройства; центрирования упаковки относительно поверхностей контакта с рабочими органами.

Для установления влияния структурно-механических характеристик упаковочных единиц на параметры операций перемещения вначале рассмотрим частично упрощенные модели.

Для этого допустим:

- движущая сила $P_{\text{движ}}$ является величиной постоянной и достаточной для перемещения упаковок;

- перемещение упаковок осуществляется по одной неподвижной плоскости и сила трения $\sum F_0$ определяется как $m \cdot g \cdot f_0$ (m – масса структурного элемента

групповой упаковки; f_0 – коэффициент трения опорной поверхности упаковки по несущей поверхности);

- коэффициенты жесткости c_{12} и демпфирования b_{12} – величины постоянные;
- для двумассовых моделей движение первой массы m_1 обеспечивается приводом с постоянной скоростью $\dot{x}_1 = V_0$, тогда $x_1 = V_0 \cdot t$;

- перемещение упаковок стеллажом осуществляется на расстояние l ;
- в начале перемещения зазор между толкателем и упаковками отсутствует.

Перемещение упаковок стеллажом по неподвижной плоскости представлено совокупностью двух характерных этапов:

- перемещение упаковок стеллажом на расстояние l ;
- перемещение упаковок по неподвижной плоскости под действием остаточной кинетической энергии.

Движение упаковок на соответствующих этапах описывается нелинейными дифференциальными уравнениями.

В соответствии с приведенными уравнениями, точность позиционирования определяется перемещением упаковки на II этапе, потому что I этап характеризуется точностью позиционирования толкателя и в этой задаче принято его перемещение на расстояние l (рис.2).

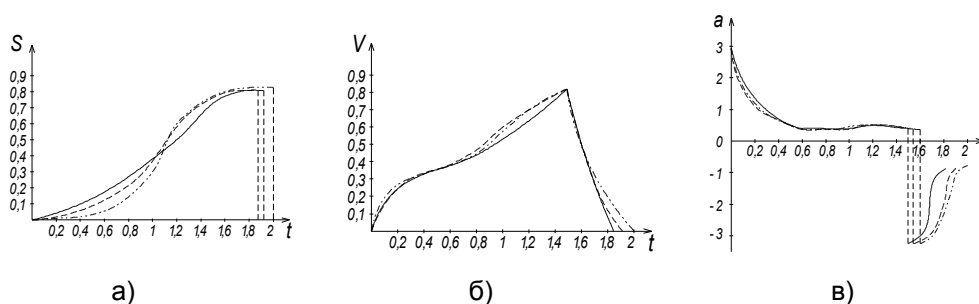


Рис. 2. Графики изменения перемещения (а), скорости (б) и ускорения (в) движения груза по неподвижной плоскости.

Составляющие уравнений, которые характеризуют деформационные свойства упаковок на II этапе их движения, способствуют увеличению пути движения до остановки упаковки. Однако такой вывод неоднозначен, потому что параметры c_{12} , b_{12} могут увеличивать или уменьшать значение \dot{x}_2 в момент, когда упаковка переместится на расстояние l .

Для определения точного значения перемещения упаковки толкателем нужно выполнить расчеты приведенных уравнений при реальных значениях c_{12} и b_{12} . Длительность технологического процесса T_m также зависит от значений c_{12} и b_{12} .

Значительно более сложные будут уравнения для анализа в том случае, когда сила сопротивления зависит от позиционирования упаковки на несущих поверхностях подающего и магистрального конвейеров, а также от относительной

скорости проскальзывания опорной поверхности упаковки по несущим поверхностям конвейеров.

Типичным примером такой ситуации может быть перемещение упаковок с подающего на магистральный конвейер, несущие поверхности которых двигаются одновременно и параллельно [6]. Уравнения, которые описывают движение упаковок в таких перегрузочных устройствах с учетом структурно-механических характеристик упаковки также являются нелинейными дифференциальными.

В уравнениях принято обозначение: V_1, V_2 – скорость перемещения несущей поверхности относительно подающего и магистральных конвейеров; f_1, f_2 – коэффициенты трения скольжения опорной поверхности упаковки по направляющим плоскостям относительно подающего и магистральных конвейеров; V_0 – скорость перемещения рабочего органа сталкивающего устройства.

Полученные уравнения можно решить лишь числовыми методами (рис.3). Для определения влияния в количественном и качественном значении структурно-механических характеристик упаковок на параметры операций их перемещения нужно выполнить машинный многофакторный эксперимент.

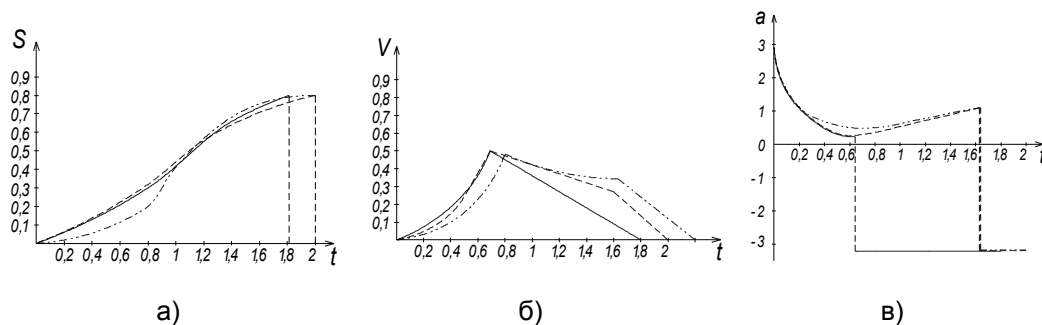


Рис. 3. Графики изменения перемещения (а), скорости (б) и ускорения (в) при переходе груза с конвейера на конвейер.

Полученные таким образом уравнения регрессии дадут возможность установить пути обеспечения необходимой точности позиционирования и уменьшения длительности технологической операции.

Выводы. В результате выполненных исследований получены математические модели, которые описывают движение упаковок по несущим поверхностям во время их перемещения сталкивателем с учетом структурно-механических характеристик потребительских упаковок, заполненных продукцией. Такие модели дадут возможность с высокой точностью определять временные, геометрические и кинематические параметры перемещения упаковочных единиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.И. Обладнання для групового пакування – К.: ІАЦ «Упаковка», 2007. - 136 с.
2. Ефремов Н.Ф., Корнилов И.К., Лебедев Ю.М. Испытание и надежность упаковки - М.: МГУП, 2004. - 112 с.
3. Данилевский В.А. Картонная и бумажная тара. – М.: Лесная промышленность, 1979. - 216 с.

4. Моделювання процесів пакування / Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін. – Вінниця: Нова книга, 2004. - 272 с.
5. Гуць В.С., Полевода Ю.А., Коваль О.А. Визначення структурно-механічних характеристик в'язкопружних дисперсних систем // Упаковка. – 2011. – № 1. – с. 35 – 40.
6. Гавва О.М., Халайджі В.В., Волчко А.І. Диференціація операцій групового пакування // Упаковка. – 2009. - № 6. – С. 35–40.

А.Н. Гавва, доктор технических наук
В.В. Халайджи, ИАЦ “Упаковка”, г. Киев
С.В. Токарчук, кандидат технических наук, tollserg@ukr.net
Национальный университет пищевых технологий,
ул. Владимирская 68, г. Киев, Украина 01601