

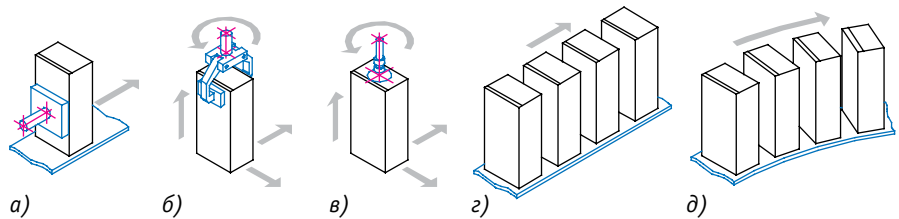
# Вплив динаміки робочих органів пакувальних машин на технологічні параметри процесів пакування

М.А. Масло, к.т.н., О.М. Гавва, д.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

*Підвищення продуктивності пакувального обладнання супроводжується збільшенням швидкостей робочих органів, що в свою чергу призводить до збільшення динамічних навантажень на об'єкти пакування. Визначення максимальної швидкодії робочих органів при обмеженні динамічного впливу на упаковку є актуальним завданням сучасного розвитку пакувального обладнання.*

*В технологіях пакетоформування ці два чинники (стійкість і міцність пакета) поєднують необхідністю забезпечити збереження виробів в умовах виконання операцій з транспортними пакетами за допомогою вилкових навантажувачів, кранів, штабелерів та ін. під час складування, перевалок та транспортування.*

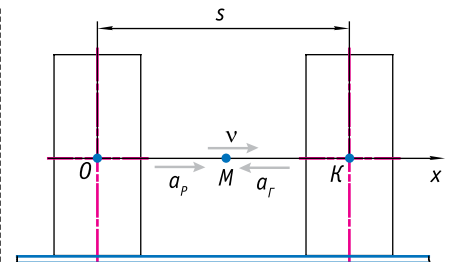
Технологічні процеси виготовлення споживчої упаковки складаються з окремих операцій переміщення об'єктів пакування, складових елементів упаковки і допоміжних пакувальних засобів по внутрішньо-машинних трасах пакувального обладнання [1]. Операції переміщення реалізуються виконавчими механізмами пакувальних машин, які оснащені спеціальними робочими органами. Зі всієї гами робочих органів пакувального обладнання для переміщення упаковки застосовуються три типи робочих органів — зіштовхувачі, захвати і несучі органи конвеєрних систем (рис. 1). За допомогою зіштовхувачів (рис. 1а) реалізуються операції прямолінійного переміщення упаковки по нерухомих несучих поверхнях пакувальних машин. Застосування захватів дає можливість переміщувати упаковку по складних просторових траєкторіях у трьохвимірному просторі з одночасним поворотом упаковок відносно однієї з осей механізму. На практиці застосовуються механічні (рис. 1б) та вакуумні (рис. 1в) захвати. Використання зіштовхувачів і захватів забезпечує переміщення одиничної упаковки та невеликих груп упаковки на порівняно незначні відстані. Для переміщення великих масивів упаковки на значні відстані у пакувальному обладнанні застосовуються спеціальні конвеєрні системи, у яких упаковка



**Рис. 1.** Робочі органи пакувальних машин для переміщення упаковки: зіштовхувачі (а); механічні захвати (б); вакуумні захвати (в); прямолінійні несучі елементи конвеєрних систем (г); просторові несучі органи конвеєрних систем (д)

транспортується рухомими несучими органами. Сучасні несучі органи конвеєрних систем дають змогу переміщувати масиви упаковки як прямолінійно (рис. 1г), так і по складних просторових траєкторіях (рис. 1д). Характерною особливістю робочих органів пакувального обладнання є циклічність їхнього функціонування [1]. Робота сучасної пакувальної машини складається з безперервної послідовності окремих робочих циклів. У кожному циклі окремі робочі органи здійснюють певні переміщення упаковки відповідно до логічної послідовності технологічного процесу пакування. Технологічне переміщення упаковки в процесі реалізації одного циклу складається з руху упаковки з точки  $O$  до точки  $K$  і подальшого вистою упаковки в точці  $K$  (рис. 2).

Таким чином, тривалість одного технологічного циклу переміщення упа-



**Рис. 2.** Схема переміщення упаковки в процесі реалізації одного циклу роботи пакувальної машини

ковки  $t_{\text{цикл}}$  складається з суми часу робочого ходу  $t_{p.x.}$  і часу вистою  $t_{\text{вист.}}$  упаковки. Тобто

$$t_{\text{цикл}} = t_{p.x.} + t_{\text{вист.}} \quad (1)$$

Для забезпечення максимально можливої продуктивності пакувальної машини необхідно мінімізувати тривалість циклу і за мінімальний час перемістити упаковку з точки  $O$  в точку  $K$ , тобто максимально скоротити

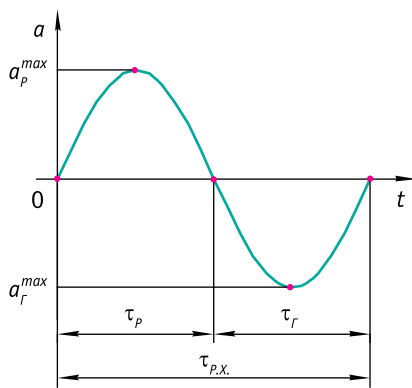


Рис. 3. Синусоїдальний закон руху робочих органів пакувальних машин

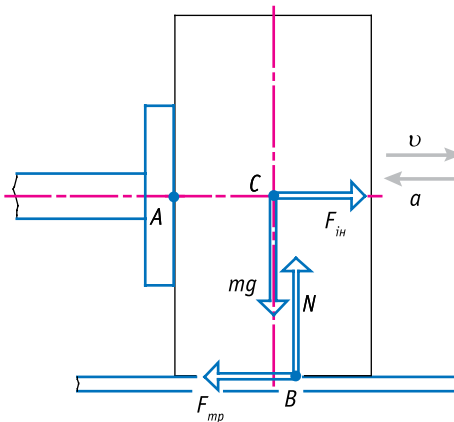


Рис. 4. Схема силового навантаження упаковки під час переміщення її зіштовхувачем на фазі гальмування

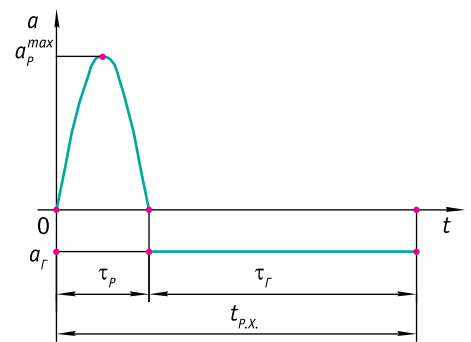


Рис. 5. Закон руху зіштовхувача під час переміщення упаковки

тривалість робочого ходу  $t_{p.x}$ . Найшвидше переміщення упаковки на відстань  $s$  буде реалізовано тоді, коли першу половину шляху, від точки  $O$  до точки  $M$ , упаковка буде рухатися в режимі розгону, а другу половину шляху, від точки  $M$  до точки  $K$ , в режимі гальмування (рис. 2). У такому режимі роботи виконавчого механізму пакувальної машини відсутня фаза руху упаковки зі сталою швидкістю і тривалість робочого ходу  $t_{p.x}$  складається тільки з тривалості фази розгону  $\tau_p$  і тривалості фази гальмування  $\tau_r$

$$t_{p.x} = \tau_p + \tau_r. \quad (2)$$

Однією з найважливіших вимог до режимів роботи виконавчих механізмів пакувальних машин є забезпечення під час переміщення відсутності ударних навантажень на упаковку з боку робочих органів. Цій вимозі повною мірою відповідає, так званий синусоїдальний закон руху робочого органу, при якому на фазі розгону прискорення  $a$  спочатку збільшується від нуля до  $a_p^{max}$  і потім симетрично зменшується від  $a_p^{max}$  до нуля, а на фазі гальмування  $a_r$ , відповідно, спочатку збільшується від нуля до  $a_r^{max}$  і далі зменшується до нуля (рис. 3). Рух робочого органу за таким законом забезпечує плавне переміщення упаковки без ударних навантажень за найкоротший час. Синусоїдальний закон певною мірою є оптимальним законом руху робочих органів пакувальних машин.

При реалізації синусоїдального закону переміщення робочого органу максимальні динамічні навантаження на упаковку виникають у момент досягнення робочим органом максимальних прискорень — на фазі розгону  $a_p^{max}$  і на фазі гальмування  $a_r^{max}$ . Тоді величина максимальних динамічних навантажень на упаковку буде визначатися величиною даламберової сили інерції

$$F_{дин}^{max} = m \cdot a^{max}, \quad (3)$$

де  $m$  — маса упаковки;  $a^{max}$  — максимальне прискорення упаковки на фазі розгону, або на фазі гальмування. Повне навантаження робочого органу на упаковку складатиметься з геометричної суми динамічного і статичного навантажень. До статичних навантажень відносяться, наприклад, сили опору переміщення упаковки. Повне навантаження на упаковку не повинно перевищувати певного граничного навантаження, так як перевищення останнього призводить до незворотніх деформацій упаковки і її руйнування, або втрати регламентованої орієнтації упаковки відносно робочих поверхонь виконавчих механізмів. Тобто, для нормального функціонування механізму в граничному значенні параметрів справедлива рівність

$$F_{дин}^{max} + F_{ст} = F_{гран}, \quad (4)$$

де  $F_{ст}$  — статичне навантаження на упаковку;  $F_{гран}$  — граничне навантаження.

Таким чином, у загальному випадку, максимальне значення прискорення упаковки під час її переміщення робочим органом пакувальної машини визначається залежністю

$$a^{max} = \frac{F_{гран} - F_{ст}}{m}. \quad (5)$$

Якщо переміщення упаковки здійснюється зіштовхувачем, то статичне навантаження на упаковку  $F_{ст}$  визначається силою тертя ковзання  $F_{мп}$  між опорною поверхнею упаковки і несучою площиною виконавчого механізму машини. У цьому випадку максимальне прискорення робочого органу на фазі розгону упаковки становитиме

$$a_{p.x}^{max} = \frac{F_{гран}}{m} - f \cdot g, \quad (6)$$

де  $f$  — коефіцієнт тертя ковзання між опорною поверхнею упаковки і несучою площиною;  $g$  — прискорення вільного падіння,  $g=9,81$  м/с.

На фазі гальмування єдиною гальмівною силою, яка зменшує швидкість упаковки і в кінцевому положенні зупиняє її, є сила тертя  $F_{мп}$ . Силова взаємодія між зіштовхувачем і упаковкою відсутня (рис. 4).

У цьому випадку немає потреби враховувати значення граничної сили  $F_{гран}$  і величина прискорення на фазі гальмування визначиться залежністю

$$a_r = f \cdot g. \quad (7)$$

Із залежності (7) випливає, що у випадку переміщення упаковки зіштов-

хувачем прискорення на фазі гальмування є сталою величиною, значення якої цілком залежить від коефіцієнта тертя  $f$ . Таким чином, процес переміщення упаковки на фазі гальмування є некерованим. Закон руху за умови нерозривності контакту зіштовхувача з упаковкою має вигляд (рис. 5).

Як видно з рис. 5, закон руху зіштовхувача не є оптимальним, адже час фази гальмування  $\tau_r$  значно перевищує час фази розгону  $\tau_p$ . Окрім того, в момент переходу від фази розгону до фази гальмування, а також у момент зупинки, упаковка потрапляє під дію м'якого удару, який характеризується розривами функції прискорення від часу. Для зменшення часу фази гальмування  $\tau_r$  необхідно збільшити прискорення гальмування  $a_r$ . Для цього потрібно збільшити коефіцієнт тертя  $f$ . Тоді зменшиться максимальне прискорення на фазі розгону  $a_p^{max}$  і збільшиться тривалість фази розгону. Також зі збільшенням значення прискорення гальмування зростає дія на упаковку м'якого удару. А отже, отримати оптимальний закон руху під час переміщення упаковки зіштовхувачем неможливо.

Під час переміщення упаковки механічними захватами контакт робочих елементів з упаковкою гарантовано зберігається протягом всього процесу переміщення, тобто упаковка весь час знаходиться у цілком визначеному положенні. Механічні захвати дають змогу реалізувати оптимальний закон руху упаковки і мінімізувати час її переміщення. У захватах упаковка утримується завдяки силі тертя між верхніми робочими елементами і поверхнями граней упаковки. Величина сил тертя пропорційна величинам зусиль  $N$  затискання робочих елементів. При цьому зусилля  $N$  не повинні перевищувати граничних навантажень  $F_{гран}$ . Величина максимальних прискорень під час переміщення упаковки механічними захватами залежить від напрямку руху захватів. При підніманні упаковки, тобто під час вертикального переміщення догори (рис. 6), максимальне прискорення, яке може розвивати механізм захватів, визначається формулою

$$a^{max} = \frac{F_{гран} \cdot f_1}{m} - g, \quad (8)$$

де  $f$  — коефіцієнт тертя ковзання між захватами і гранями упаковки.

Під час переміщення упаковки захватом у горизонтальному, тобто напрямі, поперечному площинам робочих елементів, відбувається перерозподіл сил, що діють на упаковку (рис. 7).

Внаслідок дії сили інерції робочий елемент, у напрямку якого діє ця сила, знаходиться у більш навантаженому стані, ніж протилежний елемент [2]. При цьому величина сили  $N_1$  не повинна перевищувати граничного навантаження  $F_{гран}$ . Відповідно, зусилля  $N_2$  притискання упаковки другим робочим елементом зменшується. Зменшується також сила тертя  $F_{mp2}$ , що за достатньої величини сили інерції може призвести до зміщення упаковки в механічному захваті. Для запобігання зміщенню упаковки необхідно обмежити силу інерції  $F_{ин}$ , тобто обмежити максимальне прискорення  $a^{max}$ . Під час горизонтального переміщення упаковки механічним захватом максимальне прискорення  $a^{max}$  визначається за формулою

$$a^{max} = \frac{F_{гран} (f_1 \cdot b + k) - g \frac{b}{2}}{2 (f_1 \cdot b + k) + c}, \quad (9)$$

де  $b$  — ширина упаковки;  $k$  — ширина робочих елементів механічного захвату;  $c$  — відстань від центра мас упаковки до нижньої кромки робочих елементів.

З формули (9) можна зробити висновок, що розміри упаковки суттєво впливають на величину максимального прискорення під час горизонтального переміщення їх механічними захватами. Зі збільшенням розмірів упаковки величина максимально допустимого прискорення буде зменшуватись.

Під час переміщення упаковки захватом у напрямі, паралельному площинам робочих елементів (рис. 8), можливе розвертання упаковки відносно робочих елементів.

У цьому випадку необхідна фіксація упаковки забезпечується моментами сил тертя на поверхнях контакту граней упаковки з робочими елементами механічного захвату. Сума моментів сил тертя повинна бути не меншою ніж момент, що його створює сила інерції відносно геометричного центру робочих елементів захвату. Тоді максимальне прискорення  $a^{max}$  визначається за формулою

$$a^{max} = \frac{M_{mp}}{m \cdot h}, \quad (10)$$

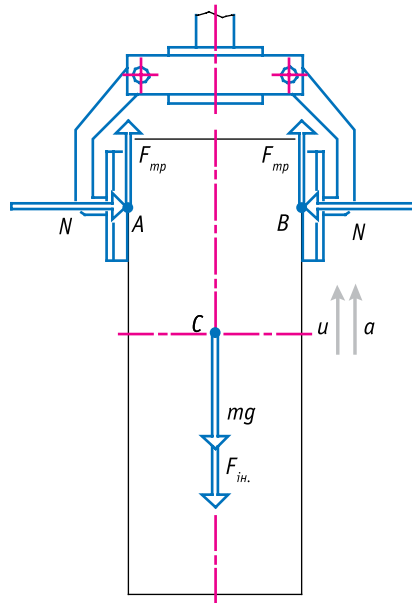


Рис. 6. Схема силового навантаження упаковки при підніманні її механічним захватом

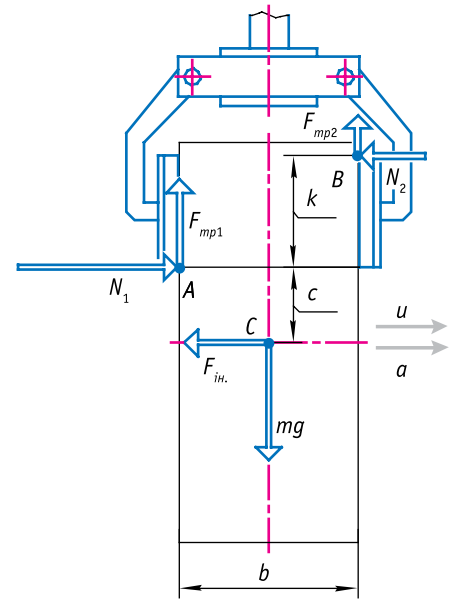


Рис. 7. Схема силового навантаження упаковки під час поперечного переміщення її механічним захватом

де  $M_{тр}$  — сумарний момент сил тертя, що діють на упаковку;  $h$  — відстань від центра мас упаковки до геометричного центра робочих елементів захвата. Під час переміщення упаковки внутрішньо-машинними конвеєрними системами пакувального обладнання, упаковка розміщується на несучих органах цих систем. При нежорсткій конструкції упаковки її навантаження розподіляється по опорній поверхні дна упаковки. При сталій швидкості несучого органу, коли його прискорення дорівнює нулю, навантаження рівномірно розподіляється по площі дна з інтенсивністю  $q$  (рис. 9а). При зміні швидкості, тобто коли упаковка рухається з прискоренням і на упаковку діють сили інерції, відбувається перерозподіл навантаження на дно і в граничному значенні просторова еюра інтенсивності  $q$  набуває форми трикутної призми з максимальною інтенсивністю  $q_{max}$  по ребру упаковки (рис. 9б) [3]. Для забезпечення необхідної стійкості нежорстких упаковок на несучих органах величина максимального

прискорення  $a^{max}$  не повинна перевищувати значень, за яких упаковка втрачає стійкість, тобто починають перекидатися відносно максимально навантаженого ребра. З умови сумарної рівності нулю моментів всіх сил, що діють на упаковку, визначається величина максимального прискорення  $a^{max}$ , при якому забезпечується необхідна статична стійкість нежорсткої упаковки на несучих органах транспортних систем пакувального обладнання

$$a^{max} = \frac{g \cdot b}{6c}. \quad (11)$$

У випадку жорсткої упаковки, що рухається з прискоренням, навантаження на упаковку з боку опорної поверхні несучого органу буде зосереджено в граничному значенні на одному з ребер упаковки (рис. 9в). Тоді максимальне прискорення  $a^{max}$ , при якому забезпечується необхідна статична стійкість жорсткої упаковки, визначиться за формулою

$$a^{max} = \frac{g \cdot b}{2c}. \quad (12)$$

Аналізуючи отримані формули (11) і (12) можна стверджувати, що під час циклічного переміщення упаковки внутрішньо-машинними конвеєрними системами до жорсткої упаковки можна прикладати утрічі більші прискорення, ніж до нежорсткої упаковки.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- у виконавчих механізмах, оснащених зіштовхувачами, отримати оптимальний за швидкістю закон руху упаковки неможливо, так як на фазі гальмування робочий орган не може впливати на кінематичні параметри руху упаковки;
- геометричні розміри і маса упаковки суттєво впливають на технологічні параметри процесів пакування. Зі збільшенням розмірів і маси упаковки зростають динамічні навантаження і падають швидкісні характеристики робочих органів пакувального обладнання. Зменшення розмірів і маси упаковки дають можливість різко збільшити продуктивність пакувальних машин;

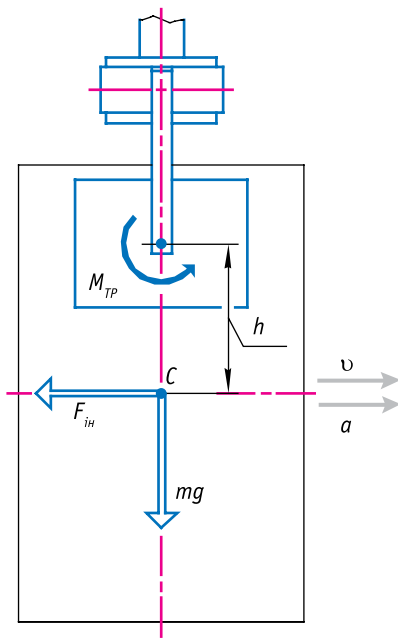


Рис. 8. Схема силового навантаження упаковки під час переміщення її захватом у напрямі, паралельному площинам робочих елементів

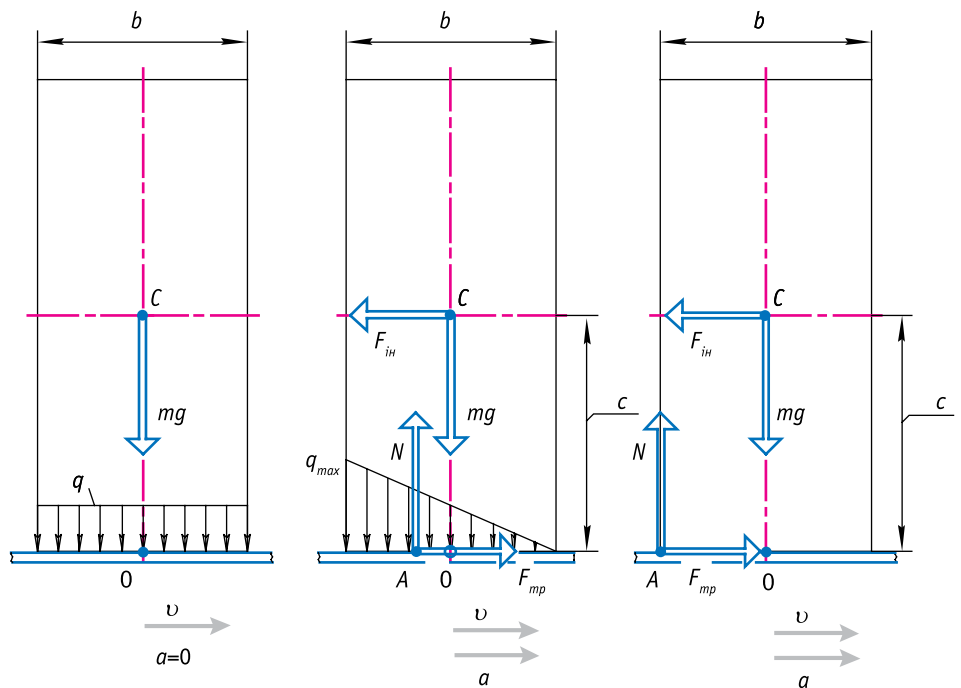


Рис. 9. Схеми силового навантаження упаковки під час переміщення їх несучими органами конвеєрних систем



- для збільшення швидкостей робочих органів і досягнення максимальної продуктивності пакувального обладнання необхідно використовувати жорстку упаковку зі стабільними геометричними розмірами.

### Література

1. Грузозахватные устройства : Справочник / Ю.Т. Козлов, А.М. Обермейстер, Л.П. Протасов и др. — М.: Транспорт, 1980. — 223 с.
2. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.
3. Зенков Р.Л., Івашков І.І., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. — М.: Машиностроение, 1987. — 432 с. ✓

### *Влияние динамики рабочих органов упаковочных машин на технологические параметры процессов упаковывания*

*Н.А. Масло, к.т.н., А.Н. Гавва, д.т.н.*

Для создания современного упаковочного оборудования необходимо решить комплекс вопросов, касающихся повышения его производительности. Вместе с тем повышение производительности приводит к увеличению динамических нагрузок на объекты упаковывания, то есть продукцию и упаковку, что может привести к их порче и разрушению.

В статье авторы проанализировали взаимодействие типовых рабочих органов с упаковкой, установили пути реализации оптимальных законов движения рабочих органов, которые дают возможность получить максимальную производительность упаковочной машины.

*Ключевые слова:* упаковка; рабочий орган; статические и динамические нагрузки; оптимальный закон движения; производительность.

### *Influence the dynamics of the working bodies of packaging machines for packaging process parameters*

*М.А. Maslo, Ph.D., O.M. Gavva, Dr.*

To create a modern packaging equipment necessary to solve the complex issues related to improving productivity. However, improved performance leads to an increase of dynamic loads to the objects of the packaging, ie the product packaging, and which can lead to deterioration and destruction. The authors analyzed the interaction model of working bodies with the packaging, set the optimal ways to implement the laws of motion of the working bodies who make it possible to get the maximum performance of the packaging machine.

*Keywords:* packaging; working body; static and dynamic loads; optimal law of motion; performance.

## Компактное настольное оборудование для изготовления воздушно-пузырчатой пленки

### AIRmove

установите рулон пленки  
включите устройство  
выберите нужный размер пузырьков  
нажмите кнопку запуска  
пленка с воздушными подушками готова



2 рулона пленки  
в комплекте

ФОП Даценко  
тел: 061 222 1779  
факс: 061 218 4224  
[www.packair.com.ua](http://www.packair.com.ua)

Быстро. Просто. Экономно.