

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ІННТТ ім. акад. І.С.Гулога
Кафедра мехатроніки та пультальної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту (декан факультету)
Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)
« 9 » 12 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Андрій КРИВОПЛЯС ВОЛДАТНА
(ім'я та прізвище)
« 9 » 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Дослідження операцій переміщення в'язких
циліндричної форми в пристрої формувальних мас в'язких в'язких

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ММ-2-1М

Скиба Віктор Валентинович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)
(підпис)

Керівник Васильківський Костянтин Вікторович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)
(підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент Юрій ВЕРЕСОЦЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)
(підпис)

Київ - 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННУТТ ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра мехатроніки та мехуальної техніки
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма Прикладна механіка
(код і назва) (назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МІТТ
Андрій КРИВОПЯС-ВОЛОДЗНА

« 1 » 10 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Скиба Віктор Валентнович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження операції переміщення виробів циліндричної форми в процесі формування масивів виробів

керівник роботи Васильковський Костянтин Вікторович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » 10 2024 року № 859-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 02.12.2024р

3. Вихідні дані до роботи 1. Виз досліджень - аналітичні та експериментальні. 2. Вироблення - для формування масивів виробів. 3. Вироби - циліндр у формі циліндра

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Редерот. 2. Ваги. 3. Огляд літературних джерел інформації. 4. Експериментальні дослідження. 5. Висновки. 6. Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу слайди презентації

Зміст.

Реферат.....	4
Вступ.....	6
1. Огляд формуючих приладів для виробів циліндричної форми.....	8
2. Математичне моделювання сил тертя і їх моментів при плоско паралельному русі пляшки по несучій площині.....	16
2.1. Переміщення пляшки при розвороті навкруги упора.....	21
3. Стійкість пляшки на площині конвеєрів і столів-накопичувачів.....	38
4. Експериментальне випробування процесів розформування масивів пляшок.....	48
4.1. Опис експериментальної установки.....	50
4.2. Методика проведення експериментів.....	52
4.3. Виділення істотних чинників процесу розвороту пляшки довкола упору.....	53
4.4. Мінімізація часу розворота пляшок довкола упору методом руху по градієнту.....	58
Висновки.....	62
Список використаної літератури.....	63

Реферат

Мета роботи дослідження операцій переміщення пакувальних одиниць циліндрової форми в пристроях формування масивів виробів машин групової упаковки.

Експериментальні, дослідження проводилися з різними типами найбільш поширених в харчовій промисловості скляних пляшок. Експеримент по визначенню одного виміру часу проводився в наступному порядку:

1. Встановлювалася і фіксувалася обмежуюча напрямна з необхідною величиною зрушення виробу відносно осі.

2. За допомогою варіатора підбиралася необхідна величина швидкості площини розформувача столу, що несла.

3. За допомогою мильного розчину забезпечувався менший коефіцієнт тертя в парі "виріб-площина", а за допомогою установки на упорі гумової смужки завтовшки 1 мм забезпечувався більший.

4. Включалась електрична схема електросекундоміра та привід столу розформувача, після отримання постійного режиму руху площини, що несе, на неї встановлювався відповідний зразок виробу.

Експериментальна установка є столом-конвеєром, який складається з пластинчастих петлевих ланцюгів I, змонтованих на станині, забезпечений упором циліндричних 2 форми, розташованим у вертикальній площині, що обмежує напрямляє 3, лінійкою 4 і двома датчиками 5 і 6, що контролюють розташування пляшки. Привід складався з електродвигуна 7, варіатора-редуктора 8, клинопасової 9 і ланцюгової 10 передач.

Ключові слова: пакування, переміщення, пляшка, удар, орієнтування.

Abstract

The purpose of the work is to study the operations of moving cylindrical packaging units in devices for forming arrays of products of group packaging machines.

Experimental studies were conducted with different types of glass bottles most common in the food industry. An experiment to determine one dimension of time was carried out in the following order:

1. A limiting guide was installed and fixed with the required amount of product displacement relative to the axis.

2. Using a variator, the required speed of the plane of the unroller of the supporting table was selected.

3. Using a soap solution, a lower coefficient of friction was provided in the "product-plane" pair, and a higher one was provided by installing a 1 mm thick rubber strip on the stop.

4. The electrical circuit of the electric stopwatch and the drive of the unroller table were turned on, after obtaining a constant mode of movement of the supporting plane, a corresponding sample of the product was installed on it.

The experimental setup is a table-conveyor, which consists of plate loop chains I mounted on a frame, equipped with a cylindrical stop 2 located in a vertical plane, limiting the guides 3, a ruler 4 and two sensors 5 and 6, which control the location of the bottle. The drive consisted of an electric motor 7, a variator-reducer 8, a V-belt 9 and a chain 10 transmission.

Keywords: packaging, movement, bottle, impact, orientation.

ВСТУП

Основними напрямками в розвитку харчової промисловості залишаються використання прогресивних технологій, розробка схем безвідходних виробництв, що забезпечують їх екологічну чистоту. Головна увага має бути приділена технічному переозброєнню підприємств агропромислового комплексу, яка дозволить скоротити втрати продукції, що переробляється, понизити виробничі витрати і добитися серйозного соціального ефекту.

Останнім часом отримує розвиток комплексний підхід до рішення питань, пов'язаних з функціонуванням транспортно-технологічних систем (ТТС) підприємств з врахуванням інтересів і організаційних етапів руху товару. Дотримання єдності інтересів досягається використанням пакето-піддонної і індустріальної технологій руху товару. Їх впровадження вимагає переходу промисловості і торгівельних підприємств на обмежене число типорозмірів транспортної тари.

Характерним для підприємств харчової промисловості є те, що при відносно непоганому рівні забезпечення технологічним устаткуванням майже повсюдно відсутні машини для виконання операцій укладання (виїмки) фасованої продукції або роздрібної тари в транспортну тару. Це відноситься практично до всіх галузей переробної промисловості. Однією з головних перешкод в дозволі такої невідповідності основного і допоміжного устаткування є слабка теоретична база, яка знаходиться в основі створення останнього. Таке відставання можна пояснити тим, що до останнього часу не вирішувалися питання переходу на уніфіковану транспортну тару або хоч би на обмежене число її типорозмірів. Крім того відзначимо, що обладнання для механізації навантажувально-розвантажувальних робіт з фасованою продукцією необхідно виконувати цілий комплекс операцій, наприклад, розділення потоку виробів, перевантаження їх, формування з виробів масивів заданої розкладки, захвату отриманих масивів і переміщення в транспортну тару, позиціонування транспортної тари, наявність цілого ряду особливостей, зв'язаних з різноманіттям упаковок, фізичними властивостями останніх і ін.,

що вимагає у кожному конкретному випадку поглибленого вивчення робочих операцій, яке повинне дозволити виконати умови збереження готової продукції при задовільній швидкодії і забезпеченні заданої продуктивності. Складність розробки вузлів і механізмів машин укладань полягає в необхідності одночасного дозволу цілого комплексу питань:

- створення міцної, надійної, довговічної і неметалоємної машини, здатної протистояти навантаженням, що виникають в процесі експлуатації;
- надійність виконання операцій машинного укладання харчових продуктів в склотарі, їх групування і транспортування;
- виключення пошкоджень склотарі і втрат нею товарного вигляду;
- забезпечення необхідної продуктивності укладань машині і т.п.

Облік перерахованих питань при проектуванні і створенні укладальних машин укладань можливий лише на основі ретельного дослідження динаміки процесів машинного укладання склотарі в тару-обладнання .

1. Огляд формуючих приладів для виробів циліндричної форми

Аналіз конструктивних вирішень пристроїв для багатошарового укладання готової продукції в тару - обладнання або виїмки з неї показує, що обмежуючи їх пропускну можливість фактором є процеси формування і розформування масивів виробів і супутні їм процеси. Найбільші важливі схеми формування масивів виробів циліндричної форми, що часто зустрічалися, з їх-рядним і шаховим розташуванням в транспортній тарі приведені на рис. 1

До пристроїв для формування масивів пред'являються вимоги по точності позиціонування виробів в них і по витримці тимчасових інтервалів, відведених на їх використання, а в розформованому суттєвим, є відсутність заторів, обмеження розмірів, матеріало- і енергоємності. Порушення в точності позиціонування є наслідком відхилення від номінальних розмірів виробів, що укладаються, неточності виготовлення і монтажу, зносом елементів приводу, наявністю пружних і залишкових деформацій робочих органів і ін.

В табл.1. представлені технологічні схеми формування і розформування масивів (шаруючи) виробів. З них видно, що формування масивів виробів з шаховою або рядною розкладкою може здійснюватись на рухливій або нерухомій площині. У першому випадку воно досягається за рахунок сил тертя виробів з рухливою опорною плоскістю, а також за рахунок вибігання на окремих ділянках переміщення, при цьому вироби можуть здійснювати поступальне і складне переміщення. У зв'язку з цим в технічній і науковій літературі з'явився новий термін "інерційно-фрикційне переміщення виробів". З таким методом формування масивів виробів серйозною перевагою є висока пропускну спроможність при простоті конструктивного рішення. До недоліків його відносяться порушення в позиціонуванні виробів відносно заданого контуру масиву і навіть недовкладання виробів, який може залишитись непоміченим оператором, наявності двох площин тертя в парах, вантажонесучими елементами ланцюгів багато потокових конвеєрів з каркасом формувача, а також вироби з рухливою площиною. Крім того, до закінчення формування всього масиву рухома

площина знаходиться в русі, на вироби розташовані в перших рядах діють значні статичні навантаження, а також виникають динамічні складові, пов'язані з ударами виробів, що знов поступають по сформованій частині масиву. Вищу точність позиціонування виробів і надійність в роботі показують формувачі, в яких утворення масиву виробів здійснюється на нерухомій площині за допомогою зіштовхування окремих рядів. При цьому можуть бути шахова або рядна розкладка виробів. Тут ймовірність досягнення заданого позиціонування виробів значно вище, а недоліком формувачів є відносно мала пропускна спроможність. Для ліквідації останнього недоліку використовуються пристрої, в які утворення масиву здійснюється зіштовхуванням декількох рядів. Знаходять вживання і комбінації з двох вказаних конструкцій, коли на рухливу опорну площину робочим органом подаються ряди виробів. При цьому переміщення рядів досягається за рахунок штовхачів з електромеханічним, гідравлічним або пневматичним приводами. У формувачах із зіштовхуванням рядів підвід виробів що подаються конвеєрами на час виконання робочого і холостого ходів, зазвичай припиняється. Обмеження пропускної спроможності якраз і пов'язана з цими зупинками.

Якщо ряд виробів утворюється на рухливій плоскості і від переміщення стримується при цьому упорами, то після отримання ряду спеціальними механізмами упори відводяться і ряд виробів поступає за рахунок руху опорної плоскості в зону формування шару. При здобутті рядної розкладки відбувається прямий центральний удар між виробами ряду, що підводиться, і тими, які вже увійшли в склад масиву, а при здобутті шахової розкладки має місце косий удар. В разі безперервного формування відбуваються прямі і косі удари. Досягнення заданої швидкодії спричиняє за собою устанавлення відповідних кінематичних параметрів процесів, що визначають характеристики ударної взаємодії. У роботі [5] у припущенні допущень про граничний перехід до нескінченно великих сил, діє безконечний малий час (миттєві сили), і маючи кінцевий імпульс і про те, що при дії миттєвої сили переміщення точки прикладання сили дорівнює нулю, а швидкості змінюються стрибкоподібно, отримані аналітичні моделі , що

описують прямий центральний удар при формуванні масивів на нерухомій і рухливій площині для випадку, коли ведуча маса приводу штовхача рухається з постійною швидкістю. Певні резерви в підвищенні швидкодії для таких систем можуть бути знайдені за рахунок управління кінематичними параметрами переміщення провідної маси. Перевагою є висока пропускна спроможність при відносній плоскості конструктивного рішення.

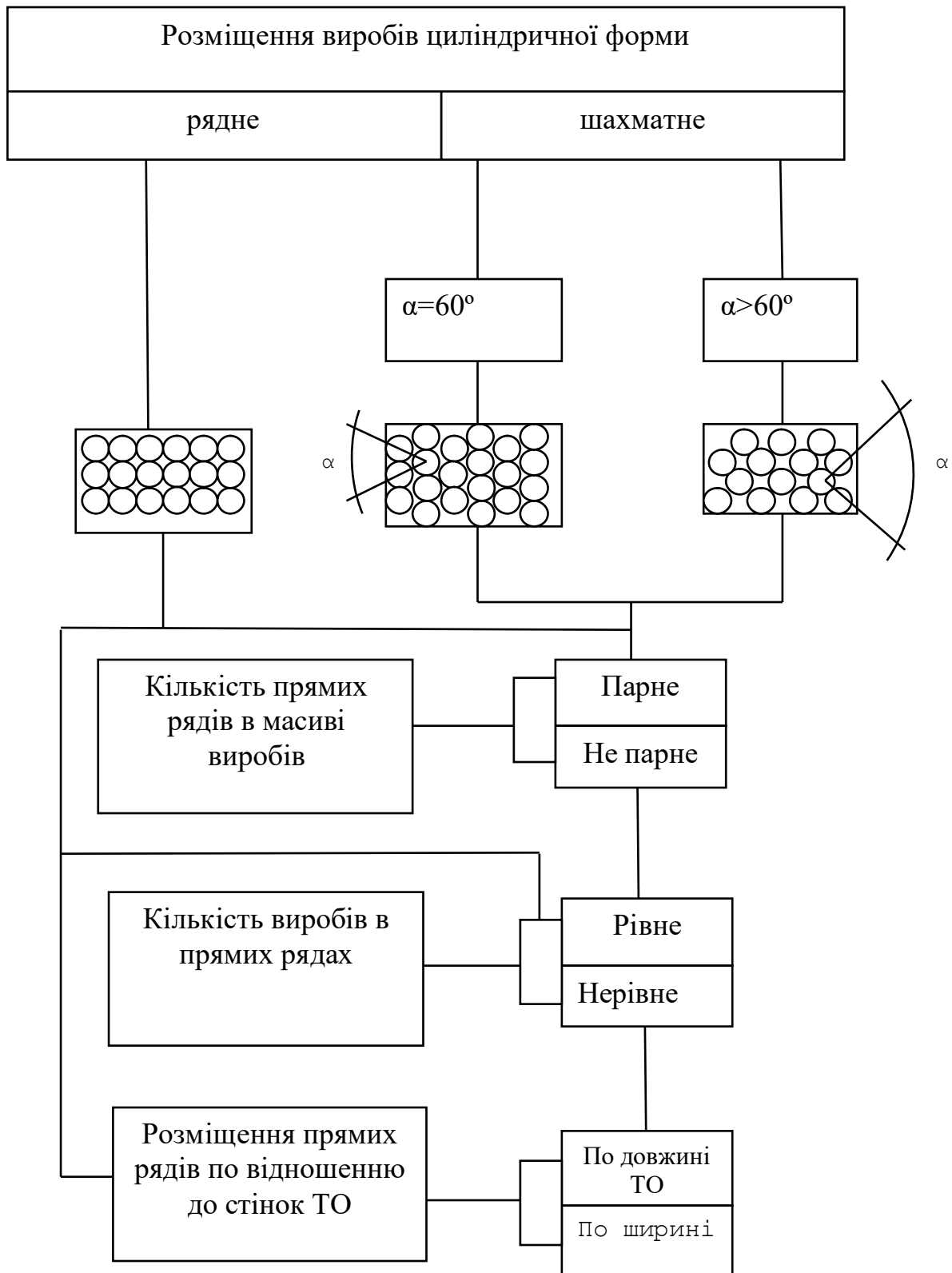
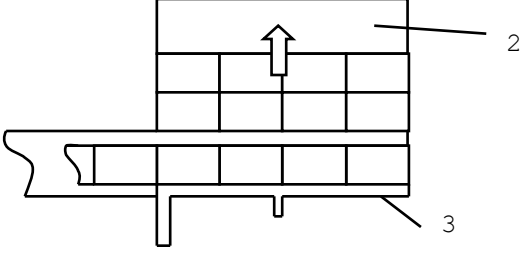
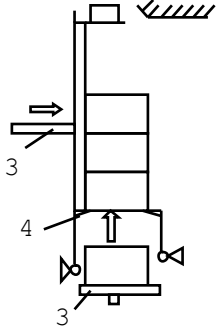
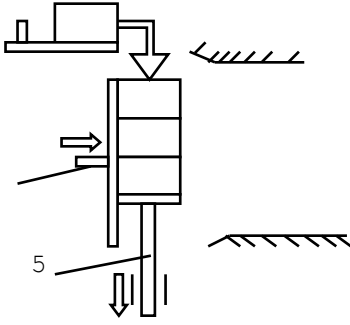
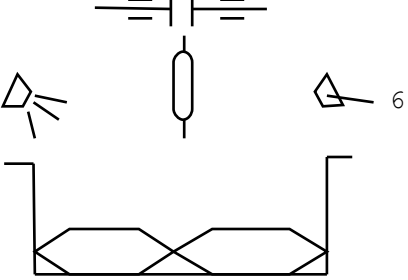
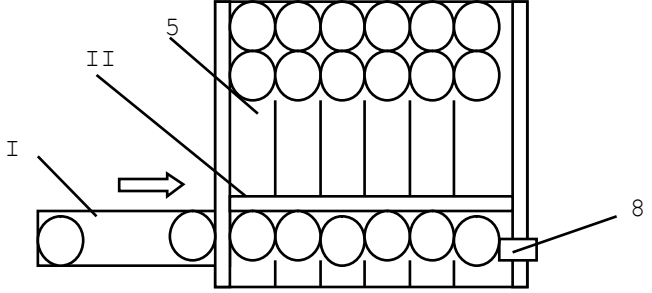
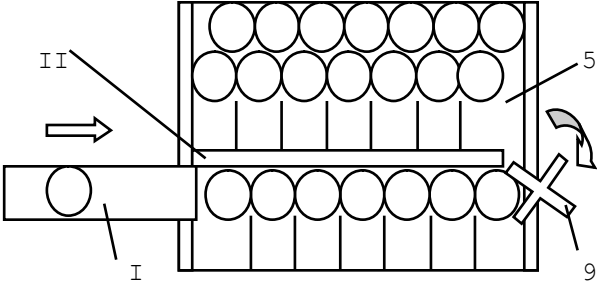
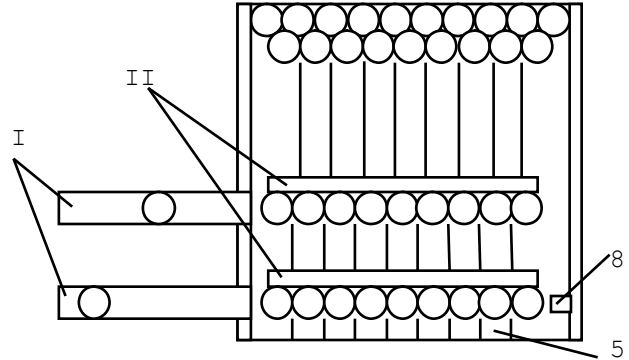
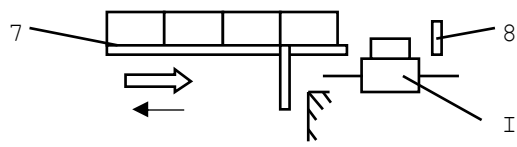
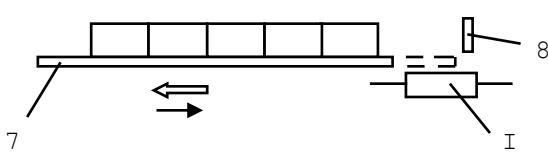


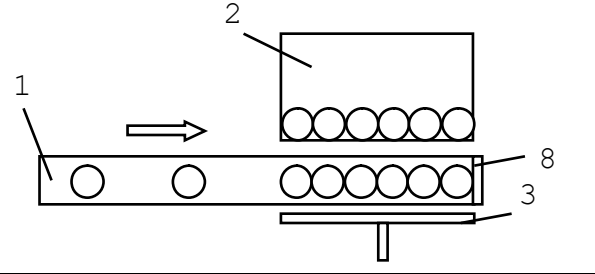
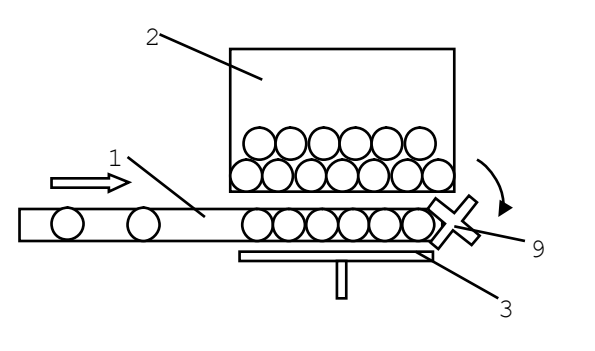
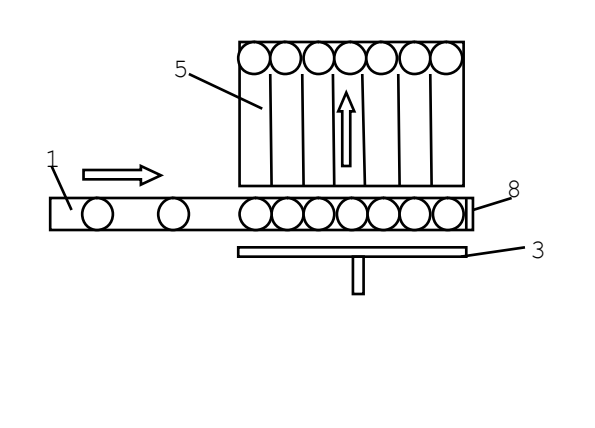
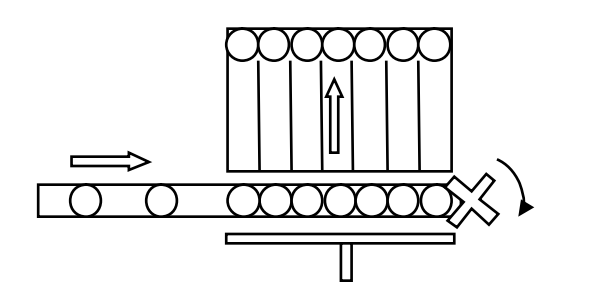
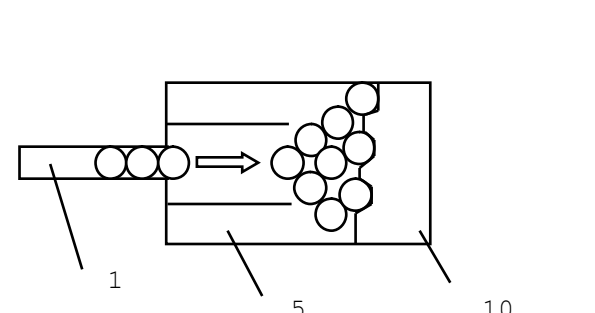
Рис .1.схема формування масиву виробів циліндричної форми з їх рядним та шахматним розміщенням.

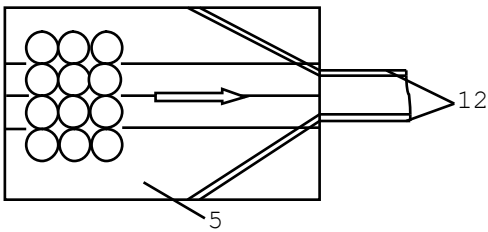
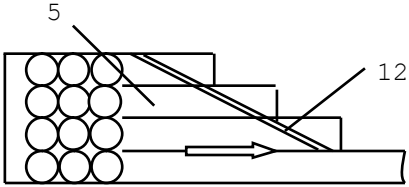
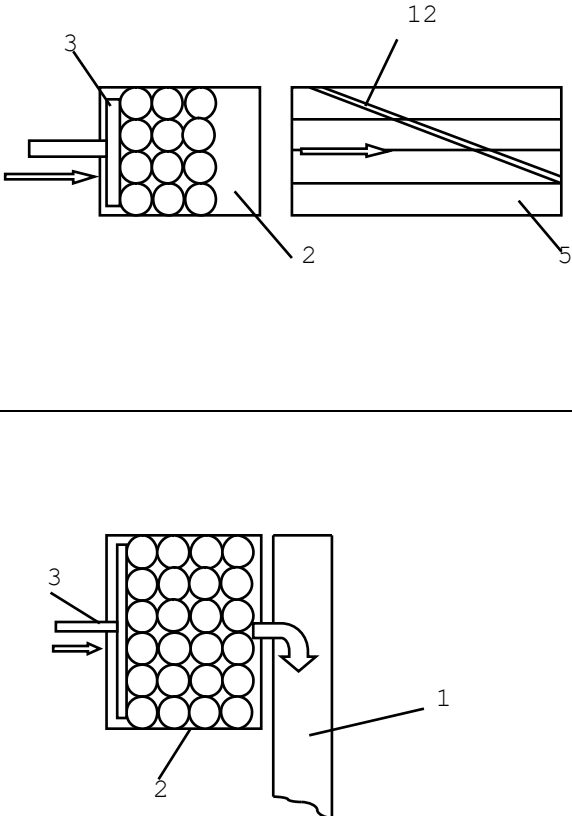
Таблиця 1.1

№П П	Найменування операції	Спосіб виконання операції	Графічне зображення операції
1	2	3	4
1)	Формування слою виробів в горизонтальній площині	Почерговим зіткненням окремих рядів на нерухому площину	
2)	Формування слоїв виробів у вертикальній площині	Почерговим підйомом ряду виробів до утримання його за допомогою упорів	
		Полярним зміщенням виробів на площадку, рухому в вертикальній площині, з наступним ікроковим опусканням на величину висоти виробу	
3)	Формування слою виробів маючих малу масу з фасовкою в м'яжку упаковку		

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
4		Інерційно-фрикційним переміщенням виробів за допомогою напрямної	<p data-bbox="614 297 790 387">З порядним розміщенням виробу</p>  <p data-bbox="614 689 813 835">З шахматним розміщенням виробу при одноструменевій їх подачі</p>  <p data-bbox="614 1093 813 1238">З шахматним розміщенням виробів при двухструменевій їх подачі</p> 
5	Розформування слою виробу	Порядним Переміщенням масиву виробу за рахунок сил інерції	<p data-bbox="614 1507 813 1597">При різкій зупинці рухомої площини</p>  <p data-bbox="614 1731 813 1865">При різкому відведенні рухомої площини</p> 

1	2	3	4	
4	Формування масиву виробу	Почергове зіткнення окремих рядів на нерухому площину	З порядним розміщенням виробів	
		З шахматним розміщенням виробу		
		З порядним розташуванням виробів		
		Почергові зіткнення окремих рядів на рухому площину	З порядним розміщенням виробів	
		З шахматним розміщенням виробів		
		Інерційно-фрикційним переміщенням виробів	З гарантованим шахматним розміщенням виробів	

1	2	3	4
		Інерційно-Фрикційне переміщення Массивів виробів	<p data-bbox="659 271 887 383">З семетрично Розміщеними направляючими</p> 
			<p data-bbox="659 600 879 745">З несиметричним розміщенням направляючих</p> 
		Почерговим або непериваючим зиткненням рядів на конвеєрі	<p data-bbox="659 1420 858 1568">З по рядним и шахматним розміщенням виробів</p> 

Примітка: 1-конвеєр, 2-нерухома площина, 3-штовхач, 4-гребінки, 5-рухомий стіл, 6-сопло, 7-рухома площина, 8-упор, 9-диск поворотний, 10-планка, 11поворотна напрямна, 12-напрямна.

2. Математичне моделювання сил тертя і їх моментів при плоскому паралельному русі пляшки по несучій площині

В умовах машинного формування ряду і шару пляшок найбільш розповсюджений складний плоский рух пляшки на несучій площині. Рішенням задач при цьому ускладнюється тим що величина головного вектора всіх зовнішніх сил тертя F опорної поверхні пляшки по несучій площині, якій одночасно залежить від часу, положення і швидкості точок цього тіла.

Кінцеві формули для визначення F і головного моменту L сил тертя в роботі для більшості випадків рух вантажів по шорсткій поверхні не інтегруючи, що утрудняє їх використання в інженерній практиці. Тому найбільш цілеспрямованим є розробка на базі основних положень математичної теорії тертя спрощені методи розрахунку F і L при складному плоскому переміщенні пляшок. Контакт між опорною поверхнею пляшки і несучою площиною виникає по колу. При визначенні головного моменту і головного вектора сил тертя прийнято в якості припущення, що центр кривизни траєкторії руху геометричного центру опорної поверхні пляшки співпадає з миттєвим центром швидкостей. При складному плоскому русі на елементарній ділянці дуги dl .

(рис. 2.1) опорній поверхні діє нормальна сила

$$dN=qdl \quad (2.1)$$

де q - питома навантаження від дії пляшки на площину, що несе.

Відповідна їй сила тертя:

$$dF=f_1 dN=f_1 qdl \quad (2.2)$$

направлена в сторону, протилежну до вектора швидкості ковзання елементарної ділянки dl по площині, що несе. Елементарний момент тертя від сили df рівний:

$$dL=\rho df \quad (2.3)$$

де ρ - радіус обертання елементарної довжини дуги dl . Радіус обертання по теоремі косинусів з трикутника PCO визначиться наступним рівнянням

$$\rho = \sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta}, \quad (2.4)$$

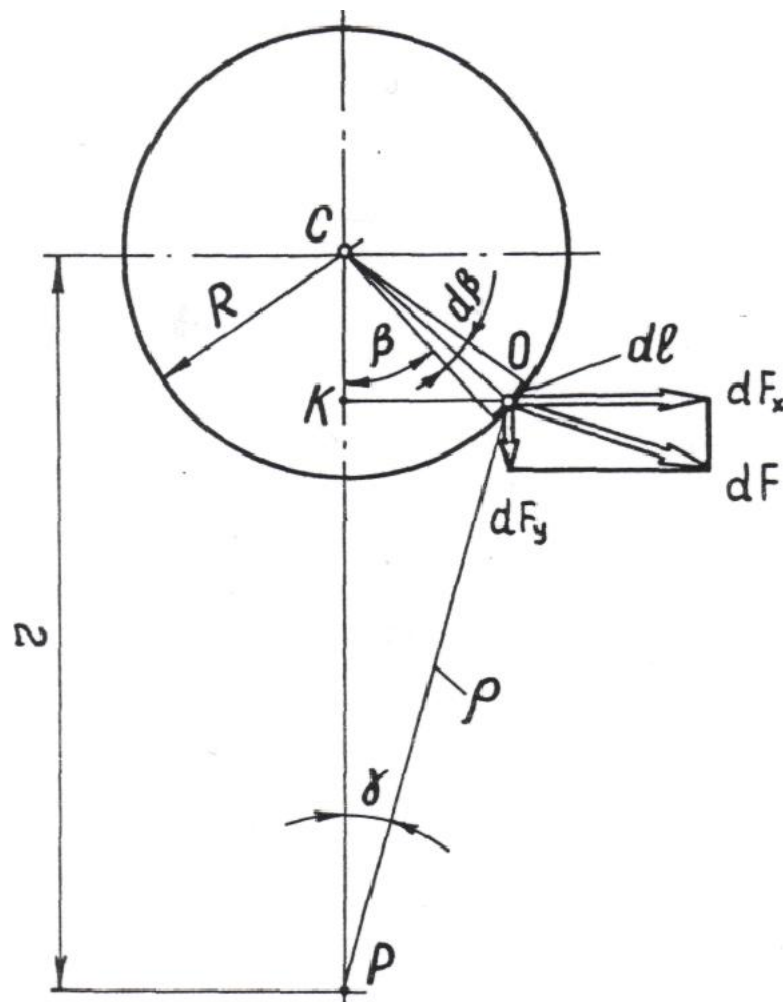


Рис.2.1. Напрямок елементарної сили тертя при складному плоскому русі вантаж

Де R - радіус контакту поверхні вантажу з опорною поверхнею плоскості, що несе;

r - відстань від миттєвого центру швидкостей до центру опорної поверхні вантажу. Величину dl виразимо через приріст кута β між віссю PY і радіусом R :

$$dl = R \cdot d\beta. \quad (2.5)$$

Питоме навантаження

$$q = \frac{G}{2\pi R}, \quad (2.6)$$

Де G - сила тяжіння вантажу.

Підставивши (2.4),(2.5)і(2.6) в рівняння (2.3) отримаємо:

$$dL = \frac{Gf_1}{2\pi R} \sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta} d\beta. \quad (2.7)$$

Проінтегрувавши вираз (2.7), визначимо момент сил тертя:

$$L = \frac{Gf_1}{2\pi} \int_1^\pi \sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta} d\beta \quad (2.8)$$

Скориставшись залежністю:

$$\cos \beta = 2 \cos^2 \frac{\beta}{2} - 1 \quad (2.9)$$

І позначивши

$$a = R^2 + r^2, \quad b = 2Rr \quad (2.10)$$

Формула (2.8) прийме вигляд:

$$L = \frac{Gf_1}{\pi} \sqrt{a+b} \int_0^\pi \sqrt{\left(1 - \frac{2b}{a+b} \cos^2 \frac{\beta}{2}\right)(a+b)} d\frac{\beta}{2}. \quad (2.11)$$

Проведемо заміну :

$$\begin{aligned} \frac{\beta}{2} &= u, & d\frac{\beta}{2} &= du; \\ \beta_1 &= 0, & u_1 &= 0; \\ \beta_2 &= \pi, & u_2 &= \frac{\pi}{2}; \end{aligned}$$

Позначмо:

$$k^2 = \frac{2b}{a+b}, \text{ де } k^2 < 1 \quad (2.13)$$

Підставимо (2.12)і (2.13) у вираз (2.11),отримаємо :

$$L = \frac{Gf_1}{\pi} \sqrt{a+b} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1 - k^2 \cos^2 u)} du. \quad (2.14)$$

У виразі (2.14)інтеграл виду:

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1 - k^2 \cos^2 u)} du.$$

Називається повним еліптичним інтегралом,рішення якого представляється у вигляді (4):

$$E = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{2^2} k^2 - \frac{1^2 \cdot 3^2}{2^2 \cdot 4^2} k^4 - \frac{1^2 \cdot 3^2 \cdot 5}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6} k^6 - \dots \right). \quad (2.15)$$

Підставивши (2.13),(2.10)і (2.15)у вираз (2.14)і спростивши ,отримаємо формулу для визначення головного момента сил тертя :

$$G = Gf_1(R+r) \left(1 - \frac{Rr}{(R+r)^2} - \frac{3}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} - \dots \right). \quad (2.16)$$

Знаходимо проекції F_x та F_y головного вектора сил тертя F на осі координат Ox і Oy .

Елементарні проекції головного вектора сил тертя:

$$dF_x = dF \cdot \cos \gamma; \quad (2.17)$$

$$dF_y = dF \cdot \sin \gamma, \quad (2.18)$$

Де γ - кут між головними сил тертя і віссю OX.

Виразивши кут γ через β , отримаємо:

$$\sin \gamma = \frac{R \cdot \sin \beta}{\rho}; \quad (2.19)$$

$$\cos \gamma = \frac{r - R \cos \beta}{\rho}; \quad (2.20)$$

Підставивши вирази (2.2),(2.4),(2.5),(2.6),(2.19)і (2.20) відповідно у рівняння (2.17)і(2.18)и спростивши, отримаємо:

$$dF_x = \frac{Gf_1}{2\pi} \frac{r - R \cos \beta}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta}} d\beta; \quad (2.21)$$

$$dF_y = \frac{Gf_1}{2\pi} \frac{\sin \beta}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta}} d\beta; \quad (2.22)$$

Проінтегрувавши вираз (2.21)і (2.22), отримаємо слідувачі залежності для знаходження проєкцій головного вектора сил тертя :

$$dF_x = \frac{Gf_1}{\pi} \int_0^\pi \frac{r - R \cos \beta}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta}} d\beta; \quad (2.23)$$

$$dF_y = \frac{Gf_1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\sin \beta}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta}} d\beta. \quad (2.24)$$

В розглядуваному випадку справедливі рівності $dF_x = F$, $dF_y = 0$. І тому головний вектор F сил тертя:

$$F = dF_x = \frac{Gf_1}{\pi} \int_0^\pi \frac{r - R \cos \beta}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \beta}} d\beta; \quad (2.25)$$

Використавши позначення (2.10), вираз (2.25) запишемо у вигляді:

$$F = \frac{Gf_1}{\pi} \left(r \int_0^\pi \frac{d\beta}{\sqrt{a - b \cos \beta}} - R \int_0^\pi \frac{\cos \beta}{\sqrt{a - b \cos \beta}} d\beta \right). \quad (2.26)$$

За таблицями інтегралів (3,4) інтеграли в дужках матимуть наступне рішення

$$\int_0^\pi \frac{d\beta}{\sqrt{a-b \cos \beta}} = \frac{2}{\sqrt{a+b}} F\left(\frac{\pi}{2}, k\right); \quad (2.27)$$

$$\int_0^\pi \frac{\cos \beta}{\sqrt{a-b \cos \beta}} d\beta = \frac{2}{b\sqrt{a+b}} \left((b-a) \Pi\left(\frac{\pi}{2}, k^2, k\right) + aF\left(\frac{\pi}{2}, k\right) \right), \quad (2.28)$$

Де $F\left(\frac{\pi}{2}, k\right)$ -повний еліптичний першого роду;

$\Pi\left(\frac{\pi}{2}, k^2, k\right)$ - повний еліптичний третього роду;

k -дійсне число, закріплене між 0 та 1.

У вигляді ряду повний еліптичний інтеграл першого роду виражається таким чином

$$F\left(\frac{\pi}{2}, k\right) = \frac{\pi}{2} \left(1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 k^2 + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 k^4 + \dots + \left(\frac{(2n-1)!!}{2^n \cdot n!}\right)^2 k^{2n} \right). \quad (2.29)$$

Чисельне значення повного еліптичного інтеграла третього роду приймається по таблиці(10).

Підставивши (2.29),(2.22),(2.27)і(2.10)в (2.26) і, перетворивши,отримаємо:

$$F = \frac{Gf_1}{r(R+r)} \left(\frac{R^2+r^2}{2} \left(\frac{Rr}{(R+r)^2} + \frac{9}{4} \frac{R^2r^2}{(R+r)^4} + \dots \right) + \frac{(R-r)^2}{\pi} \Pi\left(\frac{\pi}{2}, k^2, k\right) \right). \quad (2.30)$$

2.1 Переміщення пляшки при розвороті навкруги упора

В формуючих пристроях при формуванні ряду чи шару пляшок часто використовують напрямну площину, і– циліндричні упори, установлені над рухомую несучою площиною стола-накопичувача. Рушійною силою при цьому

являється рівнодіюча сил тертя вантажу об несучу площину, величина, направлені і точка дотику якої залежить від траєкторії відносно руху вантажу по плоскості, що несе, в процесі переміщення. Реакція направляючої плоскості, що діє на вантаж, також є змінною величиною . Для надійного формування ряду або шару пляшок, а так же для визначення продуктивності формуючих пристроїв,

необхідно правильно розрахувати установку упору, його розміри, а так само знати швидкість переміщення пляшки довкола упору, відповідно і час цього

процесу.

Розглядаючи процес переміщення пляшки 1 навкруги упору 2, установленого над несучоплощиною площиною стола- накопичувача 3, складається з наступних 5-ти етапів (рис 2.2):

Перший – косий удар пляшки по поверхні упору (рис 2.3);

Другий - складне плоске переміщення пляшки при відскоку від упору (рис 2.4);

Третій – повторний косий удар пляшки по поверхні упору(рис 2.5);

Четвертий – складне плоске переміщення пляшки при безвідривному ковзанні і повороті відносно кінцевої точки упора (2.6);

П'ятий - складне плоске переміщення пляшки по несучій площині після відриву від упору (рис 2.7).

В результаті можна виділити два основних види взаємодії

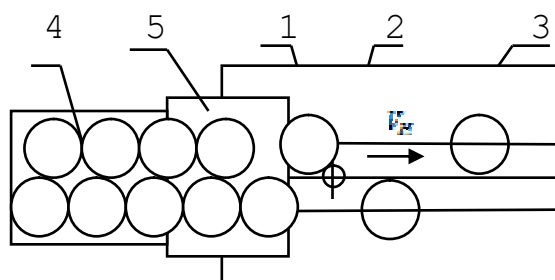


Рис 2.2 Принципова схема процесу переміщення пляшки навкруги упору :
1-пляшка; 2-упор; 3-стіл-накопичувач; 4-подаючий конвеєр; 5-перехідний місток

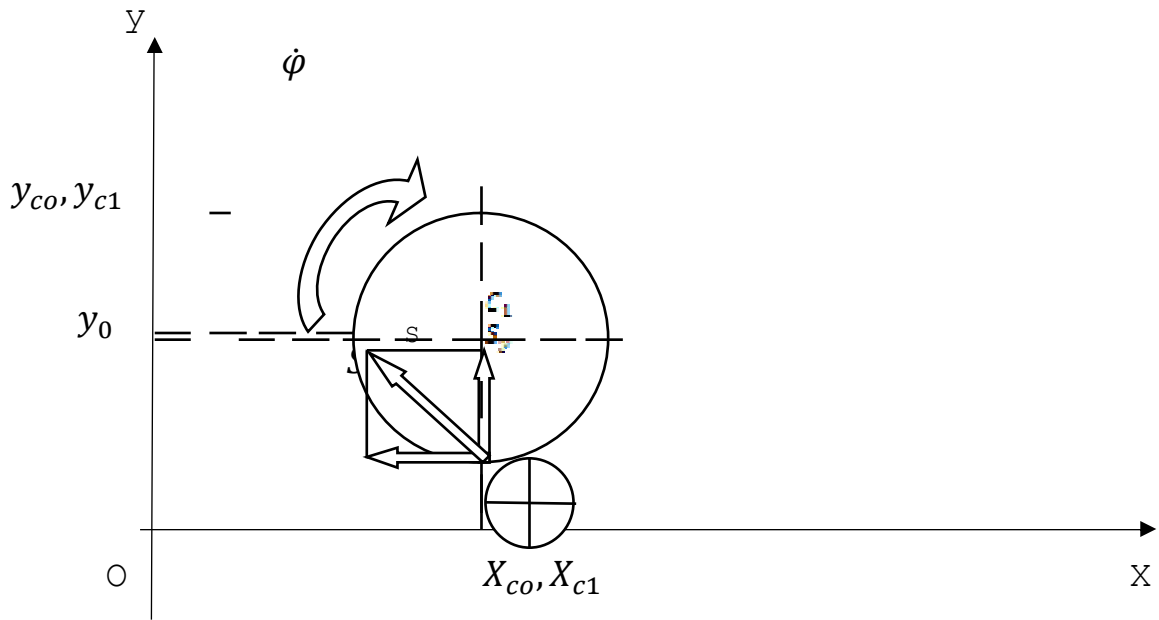


Рис 2.3 розрахункова схема косого удару пляшки по поверхні упору.

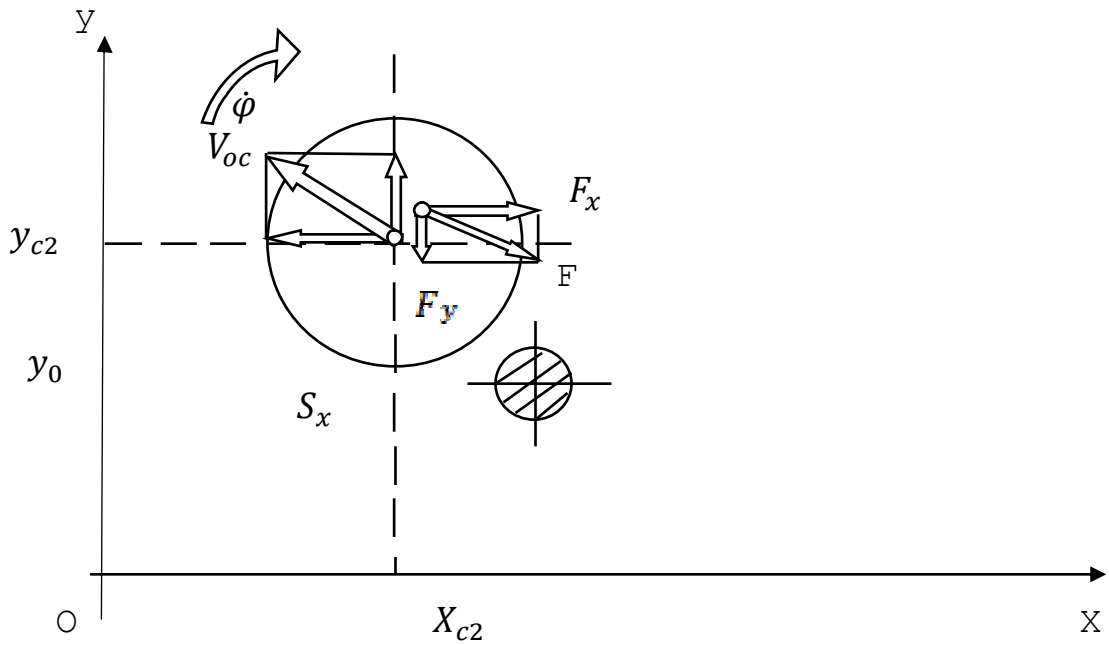


Рис.2.4 Розрахункова схема складного плоского переміщення пляшки при відскоку від упору.

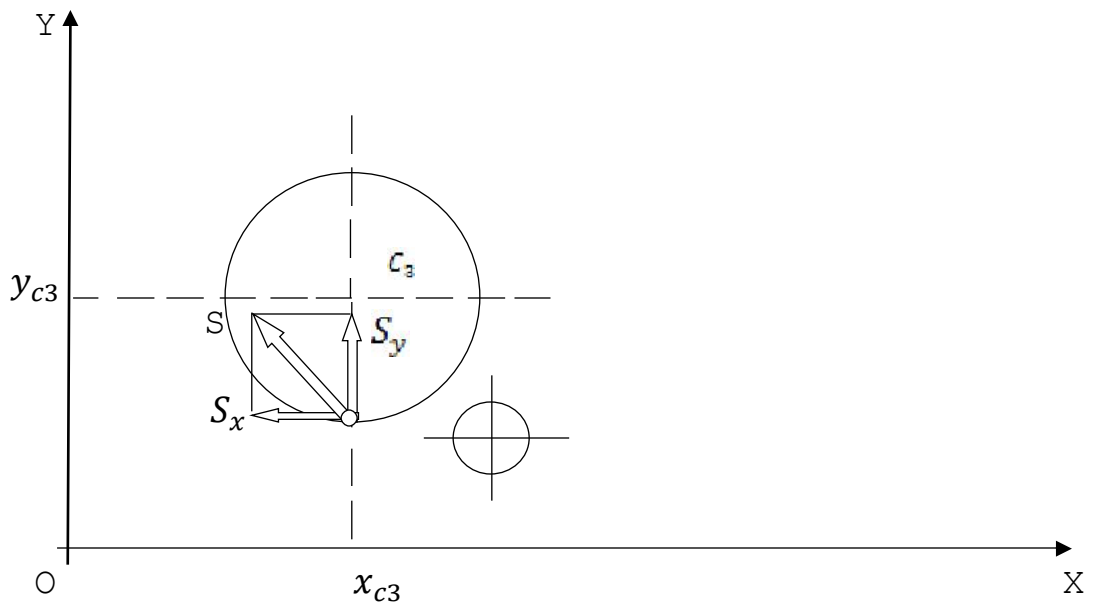


Рис.2.5. Розрахункова схема повторного косоного удару по поверхні упору.

Y

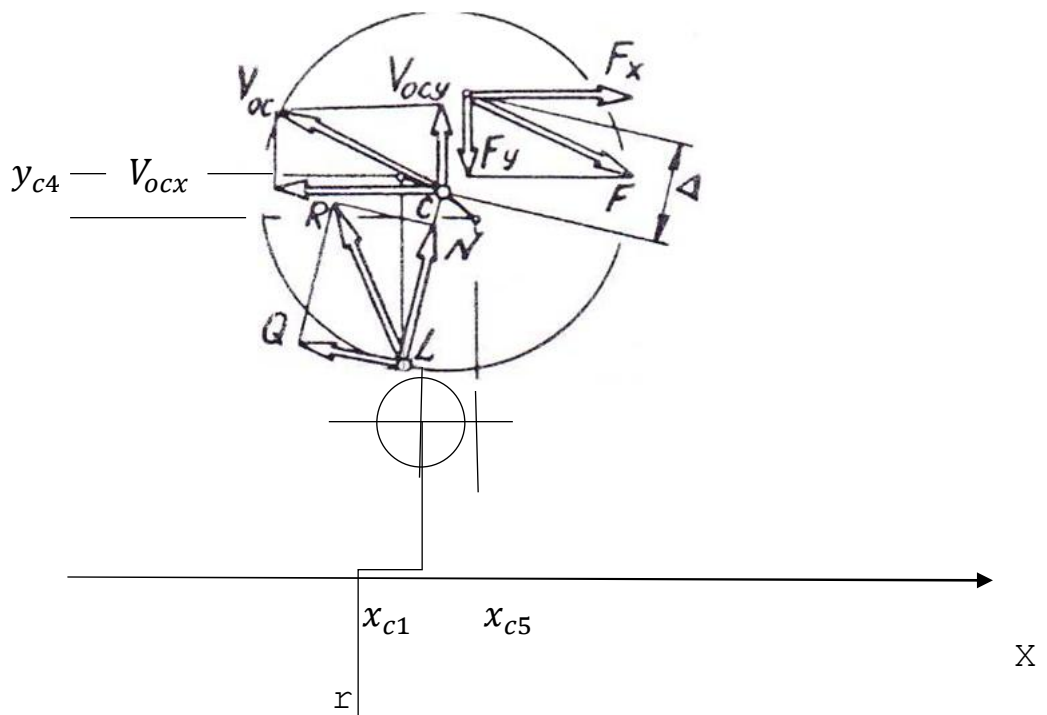


Рис.2.6. Розрахункова схема складного переміщення пляшки при повороті відносно кінцевої точки опори.

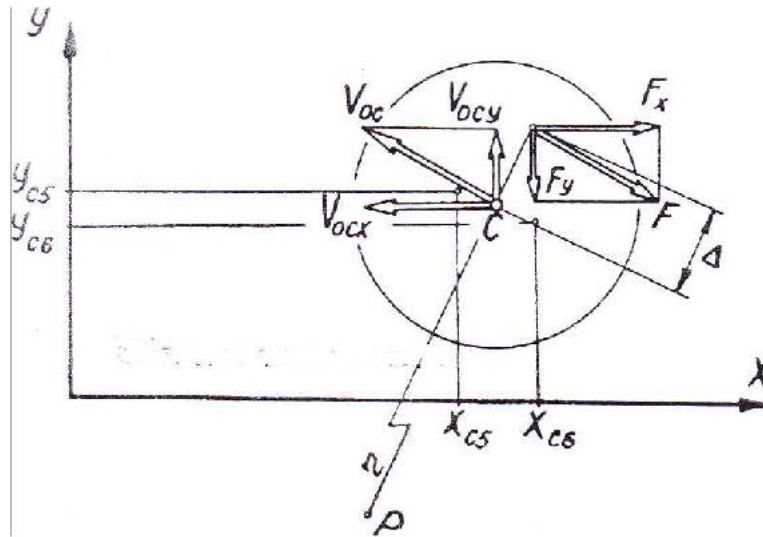


Рис.2.7. Розрахункова схема переміщення пляшки на несучій площині після відриву від упора.

пляшки з поверхнею направляючою і несучою площиною:

- Складне плоске чи поступальне переміщення пляшки по рухомій несучій площині;
- Явище удару, виникаюче при вході пляшки в контакт з напрямною.

При математичному моделюванні процесу переміщення пляшки по рухомій несучій площині під впливом упору приводиться до системи диференціальних рівнянь другого порядку :

$$\begin{aligned}
 m\ddot{x}_c &= Q_x; \\
 m\ddot{y}_c &= Q_y; \\
 I_c\ddot{\phi} &= M_c(Q),
 \end{aligned}
 \tag{2.31}$$

Де m -маса пляшки з упакованою в неї продукцією;

$\ddot{x}_c, \ddot{y}_c, \ddot{\phi}$ – кінематичні параметри (прискорення) руху пляшки по довж напрямної;

Q_x, Q_y -проекції головного вектора Q всіх зовнішніх сил відповідно на осі OX і OY ;

$M_c(Q)$ -головний момент цих сил відносно осі cz ;

I_c -момент інерції пляшки відносно осі cz , проходячий через її центр мас перпендикулярно опорній поверхні.

Система диференціальних рівнянь (2.31) з звичайними підприємствами має нескінченну кількість рішень. Для її однозначного рішення необхідно задатися початковими умовами, т.е. завданням аргумента (граничні умови типу Коші). Початковими умовами для нашої задачі при $t=0$ являлися координати центра мас пляшки X_c і Y_c , кут повороту пляшки кругом осі cz , проходячої через її центр мас перпендикулярно опорній площині (кутова координата), проекції X_c і Y_c швидкості центру мас пляшки на осі OX і OY і швидкості $\dot{\phi}$ обертального руху пляшки навкруги осі cz . Процес переміщення пляшки від моменту входу в контакт з упором (перший етап) і до моменту припинення ковзання її по несучій площині після відриву від упора (п'ятий етап) являється неперервним. Для визначення початкових умов другого та четвертого етапів були розглянуті ударні процеси.

При дослідженні ударних процесів прийняті наступні допущення:

- В процесі удару відбувається граничний перехід до нескінченно великих сил, діючих нескінченно малий час маючи кінцевий імпульс S ;
- Враховувалися тільки імпульси миттєвих сил;
- В результаті дії миттєвої сили переміщення всіх точок пляшки, в тому числі точки прикладення сили і центру мас, рівне нулю, а їх швидкості міняються стрибкоподібно.

До моменту зіткнення з нерухомим упором пляшки рухаються зі швидкістю V_H несучої площини стола - накопичувача. При контакті з упором на неї діє зовнішні миттєві сили, які можуть бути приведені до головного вектора S і

головного моменту $M_C(S)$ цих сил відносно осі cz . Всі точки пляшок в момент удару нерухомі.

В результаті математичне моделювання ударних процесів визначають кінематичні параметри $X_{C1}, Y_{C1}, \varphi_1$ переміщення центру мас пляшки (точка С) після удару, а також проекції S_x, S_y ударного імпульсу на осі OX і OY , прикладеного в точці А. З цією ціллю використані наступні основні залежності:

$$\begin{aligned} m(\dot{x}_{C1} - \dot{x}_{C0}) &= -S_x; \\ m(\dot{y}_{C1} - \dot{y}_{C0}) &= S_y; \\ I_C(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_0) &= M_C(S); \end{aligned} \quad (2.32)$$

Де $\dot{x}_{C0}, \dot{y}_{C0}, \dot{\varphi}_0$ - кінематичні параметри руху точки С до удару;

Момент інерції пляшки відносно осі cz приймався рівним

$$I_C = \frac{md^2}{8}, \quad (2.33)$$

Де d - діаметр пляшки .

В систему (2.32) диференційованих рівнянь входять шість невідомих величин, а саме: $\dot{x}_{C1}, \dot{y}_{C1}, \dot{\varphi}_1, S_x, S_y$ і $M_C(S)$. Через те для її рішення необхідно ввести додаткові залежності.

В результаті прийнятих допусків абсолютні величини нормальних проекцій швидкостей точки контакту пляшки з упором (точка А) до упора u_{a0} і після удару u_{A1} звязані співвідношенням

$$\frac{\dot{y}_{A1}}{\dot{y}_{A0}} = k, \quad (2.34)$$

Де k - коефіцієнт відновлення, визначаючий дослідним шляхом для конкретного вантажу.

Проекції імпульсу S на осі OX і OY зв'язані співвідношенням:

$$S_x = S_y \cdot f_2, \quad (2.35)$$

Де f_2 – коефіцієнт тертя ковзання при ударі між пляшкою і поверхнею упора.

Величина коефіцієнта тертя ковзання f_2 при ударі являється функцією швидкості V_H рух тіла до удару і кута α входа в контакт з напрямною. Але при великих параметрах V_H і α , маючих практичне застосування в орієнтованих пристроях укладчиків, цими функціональними залежностями можна знехтувати і рахувати f_2 постійною величиною.

Третю залежність отримаємо, використавши при цьому теорему про швидкість точок плоскої фігури, т.е. виразивши значення кінематичних параметрів \dot{y}_{AI} , \dot{x}_{AI} точка A через кінематичні параметри \dot{y}_{C1} , \dot{x}_{C1} , $\dot{\varphi}_1$ руху центра мас пляшки після удару:

$$\dot{y}_{AI} = \dot{y}_{C1} + \overrightarrow{\dot{\varphi}_1 r_x}; \quad (2.36)$$

$$\dot{x}_{AI} = \dot{x}_{C1} + \overrightarrow{\dot{\varphi}_1 r_y}; \quad (2.37)$$

Де r_y і r_x – проекції на осі OX і OY радіуса-вектора R пляшки, проведеного із точки центру мас C в точку A .

Початкові умови руху вантажу на першому етапі при $t=t_0$ наступні:

$$x_c = x_{c0}; y_c = y_{c0} = y_0 + \frac{d}{2}; \varphi = \varphi_0 = 0;$$

$$\dot{x}_c = \dot{x}_{c0} = V_\mu \cos \alpha; \dot{y}_c = \dot{y}_{c0} = -V_H \sin \alpha; \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = 0, \quad (2.38)$$

Де y_0 – відстань, взята по осі Y , на якому розміщена напрямна від початку координат.

Зміни перелічених кінематичних параметрів спричиняє в процесі удару під дією головного вектора S зовнішніх імпульсів і головного моменту $M_c(S)$ цих

сил. Значення величини $M_c(S)$ зв'язано з величинами проекцій головного вектора S на осі OX і OY залежністю

$$M_c(S) = S_x \cdot \frac{d}{2}. \quad (2.39)$$

В даному випадку і при подальшому викладення приймалось, що направлення обертання пляшки навкруги центра мас за часовою стрілкою являється позитивним.

Невідомі значення кінематичних параметрів \dot{X}_{c1}, Y_{c1} і $\dot{\varphi}_1$, а також S_x і S_y знайдемо, вирішивши спільно рівняння (2.32) з рівняннями (2.33), (2.37), (2.39), скориставшись при рішенні початковими умовами (2.38).

В третє рівняння системи (2.37) підставимо вираз (2.38), (2.39), (2.35), перетворивши відносно $\dot{\varphi}_1$, отримаємо:

$$\dot{\varphi}_1 = \frac{4S_y \cdot f_2}{md}; \quad (2.40)$$

Величина нормальної проекції сторони точки A до удару

$$\dot{y}_{A0} = -V_H \sin \alpha. \quad (2.41)$$

Так як швидкість точок після удару змінюється стрибкоподібно, то враховуючи залежність (2.34), швидкість точки A після удару буде рівна

$$\dot{y}_{A1} = kV_H \sin \alpha. \quad (2.42)$$

Підставивши (2.42) в залежність (2.37) і вирішивши відносно Y_{c1} , отримаємо:

$$Y_{c1} = kV_H \sin \alpha - \dot{\varphi}_1 \frac{d}{2}. \quad (2.43)$$

У друге рівняння системи (2.32) підставимо (2.43), (2.40) і, вирішивши відносно S_y , буде мати:

$$S_y = \frac{mV_H(1+k) \sin \alpha}{1+2f_2}; \quad (2.44)$$

Враховуючи залежність (2.35)

$$S_x = \frac{mf_2V_H(1+k) \sin \alpha}{1+2f_2}. \quad (2.45)$$

Вставивши вираз (2.44) в рівняння (2.40), отримаємо:

$$\dot{\varphi}_1 = \frac{4f_2V_H(1+k) \sin \alpha}{d(1+2f_2)}. \quad (2.46)$$

І перше і друге рівняння системи (2.32) відповідно підставимо (2.45) і (2.44) і, врахувавши початкові умови: $\dot{X}_{c0} = V_H \cos \alpha$, $\dot{Y}_{c0} = -V_H \sin \alpha$, отримаємо:

$$\dot{X}_{c1} = V_H \left(1 - \frac{f_2(1+k) \sin \alpha}{1+2f_2} \tan \alpha\right) \cos \alpha; \quad (2.47)$$

$$\dot{Y}_{c1} = V_H \frac{k+2f_2}{1+2f_2} \sin \alpha. \quad (2.48)$$

Кінцеві умови руху вантажу після удару:

$$t=t_1; x_c = x_{c1}; y_c = y_{c1} = y_{c0} + \frac{d}{2}; \varphi = \varphi_1 = 0$$

$$\dot{x}_c = \dot{x}_{c1}; \dot{y}_c = \dot{y}_{c1}; \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_1. \quad (2.49)$$

Значення параметрів \dot{x}_{c1} , \dot{y}_{c1} і $\dot{\varphi}$ визначаються за рівняннями (2.47), (2.48) і (2.46).

При наявності відскоку в результаті удару пляшки 0 починається другий етап переміщення її по несучій площині стола – накопичувача. Переміщення пляшки на другому етапі протікає з початковими значеннями кінематичних параметрів, що характеризують рух її в момент закінчення удару (2.49). В подальшому відбувається складний плоский рух пляшки по несучій площині стола-накопичувача, яке відбувається в режимі гальмування. Придбана в результаті удару, кінематична енергія поглинається силами тертя ковзання, що виникають між опорною поверхнею і плоскістю, що несе. Сили тертя

ковзання приводяться до головного вектора сил тертя F і головного моменту L цих сил. Рівняння руху пляшки має вигляд:

$$\begin{aligned} m\ddot{x}_c &= F_x; \\ m\ddot{y}_c &= -F_y; \\ I_c\ddot{\varphi} &= -M_c(F), \end{aligned} \quad (2.50)$$

Де $M_c(F)$ - момент сил тертя ,що перешкоджає розвороту пляшки на несучій площині ,приведений до геометричного центру її опорної поверхні .

Складність рішення системи диференціальних рівнянь (2.50) полягають в тому , що величина головного вектора F сили тертя залежать від часу, положення і швидкості точок пляшки ,що рухається .

Величина значень F і L визначається за формулами (2.30) і (2.16) . В ці формули входили радіус-вектор r , який вимірює від миттєвого центра C швидкостей до геометричного центру опорної поверхні пляшки в відносному русі по несучій площині . Його значення може бути визначено по вхідній формулі кінематики.

$$r = \frac{V_{oc}}{\dot{\varphi}}, \quad (2.51)$$

Де V_{oc} - відносна швидкість ковзання геометричного центру опорної поверхні пляшки по несучій площині .

Для визначення напрямлення і точки прикладення вектора F було введено додатковий допуск : геометричний центр опорної поверхні і центр мас пляшки лежить на осі oz .

Величини відносної швидкості ковзання V_{oc} визначаємо наступним чином.Опорна поверхня пляшки з центром C (рис.3.2)здійснює плоске переміщення по несучій площині, які рухаються зі швидкістю V_H ,напрямлення

якої не співпадає з напрямленням осей OX і OY . Направлення V_{oc} показано на рис.2.2.в, тоді

$$V_{oc} = \sqrt{V_{ocx}^2 + V_{ocy}^2}, \quad (2.52)$$

Де V_{ocy}^2, V_{ocx}^2 - проєції V_{oc} на осі OX і OY .

Проекції вектора відносної швидкості

$$V_{ocx} = \dot{x}_c; \quad (2.53)$$

$$V_{ocy} = V_H \sin \alpha - \dot{y}_c. \quad (2.54)$$

Допущення про те, що при складному плоскому русі пляшки по плоскості, що несе, вектор результуючої сили тертя F перпендикулярний радіусу r дозволяє стверджувати, що вектори F і V_{oc} коллінеарні і протилежно направлені, оскільки вектор V_{oc} також перпендикулярний радіусу r . Це дозволяє застосувати наступні залежності для визначення величин F_x і F_y отримані з врахуванням залежностей (2.30) (2.51)/(2.54):

$$F_x = F \frac{V_{ocx}}{V_{oc}} = \frac{f_1 G}{r(R+r)} \left(\frac{R^2 + r^2}{2} \left(1 + \frac{Rr}{(R+r)^2} + \frac{9}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} + \dots \right) \frac{(R+r)^2}{\pi} \prod \left(\frac{\pi}{2}; k^2; k \right) \right) \frac{V_{ocx}}{V_{oc}}; \quad (2.55)$$

$$F_x = F \frac{V_{ocy}}{V_{oc}} = \frac{f_1 G}{r(R+r)} \left(\frac{R^2 + r^2}{2} \left(1 + \frac{Rr}{(R+r)^2} + \frac{9}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} + \dots \right) \frac{(R+r)^2}{\pi} \prod \left(\frac{\pi}{2}; k^2; k \right) \right) \frac{V_{ocy}}{V_{oc}}; \quad (2.56)$$

Для визначення моменту сил тертя, перешкоджаючому розвороту пляшки на плоскості, що несе, необхідно відшукати точку додатка результуючої сил тертя F , тобто відстань Δ від геометричного центру опорної поверхні пляшки до лінії дії вектора F . Ця відстань визначається по формулі

$$\Delta = \frac{L}{F} - r.$$

Тоді момент сил тертя, приведений до центру опорної поверхні пляшки

$$M_c(F) = F \cdot \Delta = L - F \cdot r. \quad (2.57)$$

З врахуванням залежностей (2.16), (2.30), (2.51) матимемо

$$M_c(F) = f_1 G ((R+r) \left(1 - \frac{Rr}{(R+r)^2} - \frac{3}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} - \dots \right) - \frac{R^2+r^2}{2(R+r)} \left(1 + \frac{Rr}{(R+r)^2} + \frac{9}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} + \dots \right) - \frac{(R+r)^2}{\pi} \Pi \left(\frac{\pi}{2}; k^2; k \right)). \quad (2.58)$$

Підставивши залежності (2.55), (2.56), (2.33) і (2.58) в систему рівнянь (2.50) і враховуючи $G = mg$, де g - гравітаційна постійна $g=9,81$ м/с, отримаємо:

$$\ddot{x}_c = \frac{f_1 g (V_H \cos \alpha - \dot{x}_c)}{r(R+r) \sqrt{V_H^2 + \dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2 - 2V_H(\dot{x}_c \cos \alpha + \dot{y}_c \sin \alpha)}} \left(\frac{R^2+r^2}{2} \left(1 + \frac{Rr}{(R+r)^2} + \frac{9}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} + \dots \right) + \frac{(R+r)^2}{\pi} \Pi \left(\frac{\pi}{2}; k^2; k \right) \right); \quad (2.59)$$

$$\ddot{y}_c = \frac{f_1 g (V_H \sin \alpha - \dot{y}_c)}{r(R+r) \sqrt{V_H^2 + \dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2 - 2V_H(\dot{x}_c \cos \alpha + \dot{y}_c \sin \alpha)}} \left(\frac{R^2+r^2}{2} \left(1 + \frac{Rr}{(R+r)^2} + \frac{9}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} + \dots \right) + \frac{(R+r)^2}{\pi} \Pi \left(\frac{\pi}{2}; k^2; k \right) \right) \quad (2.60)$$

$$\ddot{\varphi} = -\frac{8f_1 g}{d^2} ((R+r) \left(1 - \frac{Rr}{(R+r)^2} - \frac{3}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} - \dots \right) - \frac{R^2+r^2}{2(R+r)} \left(1 + \frac{Rr}{(R+r)^2} + \frac{9}{4} \frac{R^2 r^2}{(R+r)^4} + \dots \right) - \frac{(R+r)^2}{\pi(R+r)} \Pi \left(\frac{\pi}{2}; k^2; k \right)). \quad (2.61)$$

Рівняння (2.59), (2.60) і (2.61) нелінійні і їх вирішують на ЕВМ за початкових умов (2.49), повідомлених пляшці унаслідок удару.

Закінчення другого етапу настає при досягненні параметром наступного значення:

$$y_{c2} = y_0 + \frac{d}{2}.$$

Після закінчення другого етапу відбувається початок третього етапу - повторного косоного удару пляшки об поверхню упору. По попередніх експериментальних дослідженнях при швидкостях плоскості столу-накопичувача $V_H \leq 1$ м/с подальшого відскоку пляшки, що несе, від тієї, що направляє не походить. Це пояснюється перш за все тим, що кінетична енергія пляшки при повторному ударі значно менше кінетичної енергії придбаною нею після першого удару і вона майже повністю витрачається на деформацію.

Рух центру мас пляшки після удару опишеться наступними залежностями:

$$m(\dot{x}_{c3} - \dot{x}_{c2}) = -S_x;$$

$$m(\dot{y}_{c3} - \dot{y}_{c2}) = S_y; \quad (2.62)$$

$$I_c(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) = M_c(S).$$

Початкові умови третього етапу збігаються з кінцевими умовами попереднього:

$$t = t_2; \quad x_c = x_{c2}; \quad y_c = y_{c2} = y_0 + \frac{d}{2}; \quad \varphi = \varphi_2; \quad \dot{x}_c = \dot{x}_{c2}; \quad \dot{y}_c = \dot{y}_{c2}; \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_2. \quad (2.63)$$

Методика вирішення системи рівнянь (2.62) для здобуття виразів, що дозволяють визначати параметри \dot{x}_c, \dot{y}_c і $\dot{\varphi}$, після удару, а також величин S_x і S_y , аналогічна при визначенні цих параметрів на першому етапі переміщення пляшки. Ці рівняння мають вигляд:

$$\dot{x}_{c3} = \dot{x}_{c2} - \frac{f_2(1+k)(0,5\dot{\varphi}_2 d - \dot{y}_{c2})}{1+2f_2}; \quad (2.64)$$

$$\dot{y}_{c3} = \dot{y}_{c2} - \frac{(1+k)(0,5\dot{\varphi}_2 d - \dot{y}_{c2})}{1+2f_2}; \quad (2.65)$$

$$\dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi}_2 - \frac{2f_2(1+k)(0,5\dot{\varphi}_2 d - \dot{y}_{c2})}{d(1+2f_2)}; \quad (2.66)$$

$$S_x = -\frac{mf_2(1+k)(0,5\dot{\varphi}_2 d - \dot{y}_{c2})}{d(1+2f_2)}; \quad (2.67)$$

$$S_y = -\frac{mf_2(1+k)(0,5\dot{\varphi}_2 d - \dot{y}_{c2})}{d(1+2f_2)}. \quad (2.68)$$

Допущення про те, що після повторного удару відскок пляшки не відбувається або незначний, дозволяє розглядати наступний етап даного процесу - плоский рух пляшки при безвідривному перекочуванні її по кінцю тієї, що направляє (рис.2.6). В результаті пляшка обернеться довкола кінцевої точки упору. Такий рух опишеться наступною системою рівнянь:

$$\begin{aligned}
 m\ddot{x}_c &= F_x - Q \cos \varphi + N \sin \varphi; \\
 m\ddot{y}_c &= N \cos \varphi + Q \sin \varphi - F_y;
 \end{aligned}
 \tag{2.69}$$

$$I_c \ddot{\varphi} = -M_c(F) + M_c(R_L),$$

де N і Q - відповідно нормальна і дотична складові повної реакції R_L , що діє на пляшку з боку тієї, що направляє;

$M_c(R_L)$ - розвертаючий момент, що створюється реакцією R_L відносно осі oz , рівний

$$M_c(R_L) = Q \cdot \frac{d}{2}. \tag{2.70}$$

Система рівнянь (2.69) має п'ять невідомих. Це змінні X, Y, φ , їх похідні, а також нормальну N і дотичну Q складові реакції R_L .

Для вирішення системи можна скласти бракуючі рівняння, використовуючи геометричні зв'язки між X, Y і φ (рис.2.6):

$$x_c = 0,5d \sin \varphi;$$

$$y_c = 0,5d \cos \varphi;$$

Двічі диференціюючи рівняння (2.71), отримаємо

$$\dot{x}_c = 0,5d \dot{\varphi} \cos \varphi; \tag{2.72}$$

$$\dot{y}_c = 0,5d \dot{\varphi} \sin \varphi;$$

$$\ddot{x}_c = 0,5d(\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi); \tag{2.73}$$

$$\ddot{y}_c = 0,5d(\ddot{\varphi} \sin \varphi - \dot{\varphi}^2 \cos \varphi).$$

З врахуванням першого і другого рівняння системи (2.69) і рівнянь(2.73) після перетворень отримаємо вирази для визначення нормальної N і дотичній Q реакції R_L :

$$N = F_x \sin \varphi + F_y \cos \varphi - 0,5d\dot{\varphi}^2; \quad (2.74)$$

$$Q = F_x \cos \varphi + F_y \sin \varphi - 0,5d\ddot{\varphi}. \quad (2.75)$$

Підставивши набутого значення Q і (2.58) в третє рівняння системи (2.69), після перетворень отримаємо

$$\ddot{\varphi} = \frac{8(F_x \cos \varphi + F_y \sin \varphi)0,5d - M_c(F)}{3md^2}. \quad (2.76)$$

Вхідні в рівняння (2.76) величини F_x , F_y і визначаються по виразах (2.55), (2.56) і (2.58) з врахуванням залежностей (2.53) і (2.54).

Початкові умови для вирішення рівнянь(2.71)/(2.71) і (2.76) на ЕВМ наступні:

$$t = t_5; \quad x_c = x_{c4}; \quad \dot{x}_c = \dot{x}_{c4}; \quad y_c = y_{c2} = y_0 + \frac{d}{2}; \quad \dot{y}_c = \dot{y}_{c4} = 0; \quad \varphi = \varphi_4; \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_4.$$

Вирішення рівняння (2.74) дає чисельні значення координати φ і її проїзвдних в процесі п'ятого етапу повороту пляшки довкола кінцевої точки L що направляє. Координати центру мас пляшки x_c , y_c і величини N і Q при

обчислених значеннях φ , $\dot{\varphi}$ і $\ddot{\varphi}$ обчислюються відповідно по рівняння(2.71),(2.74). Умовою закінчення четвертого етапу руху є рівність нулю нормальної реакції N, що станеться у момент відриву пляшки від тієї, що направляє. Якщо при цьому параметри \dot{x}_c , \dot{y}_c і $\dot{\varphi}$ не дорівнюють нулю, то пляшка продовжуватиме деякий час ковзати по плоскості, що несе, тобто проходить пя'ятий етап руху (рис.2.7). Шостий етап руху аналогічний другому і тому описується тими ж рівняннями (2.59)/(2.61), які вирішують на ЕОМ за початкових умов:

$$t = t_6; \quad x_c = x_{c5}; \quad \dot{x}_c = \dot{x}_{c5}; \quad y_c = y_{c5} = y_0 + \frac{d}{2}; \quad \dot{y}_c = \dot{y}_{c5} = \varphi = \varphi_5; \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_5.$$

Умовою закінчення етапу є рівність нулю параметрів

$$\dot{x}_{c6} = 0; \quad \dot{y}_{c6} = 0; \quad \dot{\varphi}_6 = 0.$$

Рівняння, які описують переміщення вантажу на другому, четвертому, п'ятому етапах за допомогою ЕОМ дозволяють знайти будь-який з параметрів $X_c(t), y_c(t), \varphi(t)$ і їх похідні на будь-якому з етапів руху вантажу і визначити загальний час процесу переміщення вантажу від моменту входу в контакт з тією, що направляє (перший етап) і до моменту припинення ковзання вантажу по плоскості, що несе, після відриву від тієї, що направляє (п'ятий етап).

Аналітичні дослідження, приведені в справжньому параграфі є теоретичною основою для створення інженерної методики розрахунку технологічної операції переміщення пляшки уздовж тієї, що направляє. За допомогою отриманих залежностей і формул можливо:

- визначати кінематичні і силові параметри ударних процесів за умови експериментального визначення значень величини коефіцієнта відновлення;
- визначати значення, точку додатка і напрям головного вектора сил тертя F і головного моменту сил тертя $M_c(F)$, приведеного до центру опорної поверхні пляшок;
- поетапно кінематичні і силові параметри в процесі переміщення пляшки навкруги упора;
- визначати спільний час переміщення пляшки навкруг упора і розраховувати продуктивність приладів для формування ряду і слою пляшок ;
- проводити аналіз впливу основних параметрів орієнтованих приладів на процес переміщення пляшок навкруги упори.

3. Стійкість пляшки на площині конвеєрів і столів-накопичувачів

Збільшення продуктивності в лініях розливу досягається або збільшенням швидкості руху тягових елементів конвеєрів і столів-накопичувачів, або збільшенням їх числа. Одним з чинників, обмежуючих швидкість тягових елементів є виконання умов стійкості пляшок, що транспортуються. В окремих випадках вони можуть розташовуватися без контакту з іншими пляшками і бічними обгороджуваннями. Тому умова забезпечення стійкого положення окремо даної пляшки на рухливій площині, що несе, накладає певні обмеження на кінематичні параметри руху грузонесучих елементів конвеєрів і столів-накопичувачів.

Розглядаючи пляшки в різні періоди руху, розрізняють чотири види стійкості:

1. Початкова або статична стійкість, відповідна положенню мінімуму потенційної енергії посуду при її нерухомому положенні по відношенню до заданих координат;

2. Кінематична стійкість, що виявляється при положеннях пляшок в межах кута стійкості від мінімуму потенціальної енергії до початку нестійкої рівноваги. Положення тіла при цьому змінюється з постійною кутовою швидкістю і сили інерції не беруть участь в процесі; кінематична стійкість враховується при визначенні умов примусової орієнтації пляшок;

3. Динамічна стійкість розгону, тілюча місце при силах, що діють на пляшку, більше сил опору, що викликають прискорений рух пляшок по відношенню до заданих координат.

4. Динамічна стійкість вибігання, що виникає у тому випадку, коли активні сили менше сил опору, і пляшка рухається сповільнено по відношенню до заданих координатних осей.

Динамічна стійкість розгону і вибігання враховується при визначенні умов активної орієнтації і режимах несталого руху.

Визначив критичні умови, при яких пляшки втрачають статичну і

динамічну стійкість.

При переміщенні столу расформуєщего пристрою на пляшки діють сили тяжіння G , сили тертя $F_{тр}$ і сила інерції P_H . Условіє статичній стійкості пляшки представляється у вигляді (мал. 3.1)

$$\beta \geq \gamma \quad \text{або} \quad \sum M_B = 0, \quad (3.1)$$

де γ - кут між лініями дії сили тяжіння G і рівнодійною R ;

β - кут між лінією дії вектора рівнодійної сили тяжіння і лінією, що сполучає центр мас C і крапку B ;

$\sum M_B$ - суша моментів, що діють на пляшку сил относительно крапки B .

$$\begin{aligned} \gamma &= \arctan \frac{P_H}{G}; \\ \beta &= \arctan \frac{d_0}{2h}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де d_0 - більший діаметр опорної поверхні пляшки;

h - відстань від денця пляшки до центру мас;

$G = mg$ - сила тяжіння пляшки.

Під дією сили тертя пляшка отримує переміщення , прицьому сила тертя $F_{тр}$ змінюється в інтервалі $0 < F_{тр} \leq mgf_{тр}$ (3.3)

Із зменшенням $F_{тр}$ в указаному напрямку відповідно зростають значення сили інерції P_H , яка визначає $F_{тр}$.

Максимальне значення :

$$P_{Hmax} = F_{тр} = mgf_{тр} \quad (3.4)$$

З врахуванням виразів(3)і(4) отримаємо

$$P_{Hmax} \cdot h \leq G \cdot \frac{d_0}{2}.$$

Або

$$mgf_{тр} \cdot h \leq mg \frac{d_0}{2},$$

звідки

$$f_{\text{тр}} \cdot h \leq \frac{d_0}{2}. \quad (3.5)$$

Тоді коефіцієнт тертя, що допускається, між виробом і опорною плоскістю столу расформіруючого пристрою визначатиметься:

$$[f_{\text{тр}}] = \frac{d_0}{2h}. \quad (3.6)$$

З метою виконання гарантованого надійного процесу розформування приймемо, що $2h = H$, тоді:

$$[f_{\text{тр}}] = \frac{d_0}{H}. \quad (3.7)$$

Сила інерції центру мас пляшки

$$P_H = m\ddot{x}_2,$$

де \ddot{x}_2 - прискорення центру мас пляшки; m - маса пляшки.

Сила тяжіння

$$G = mg.$$

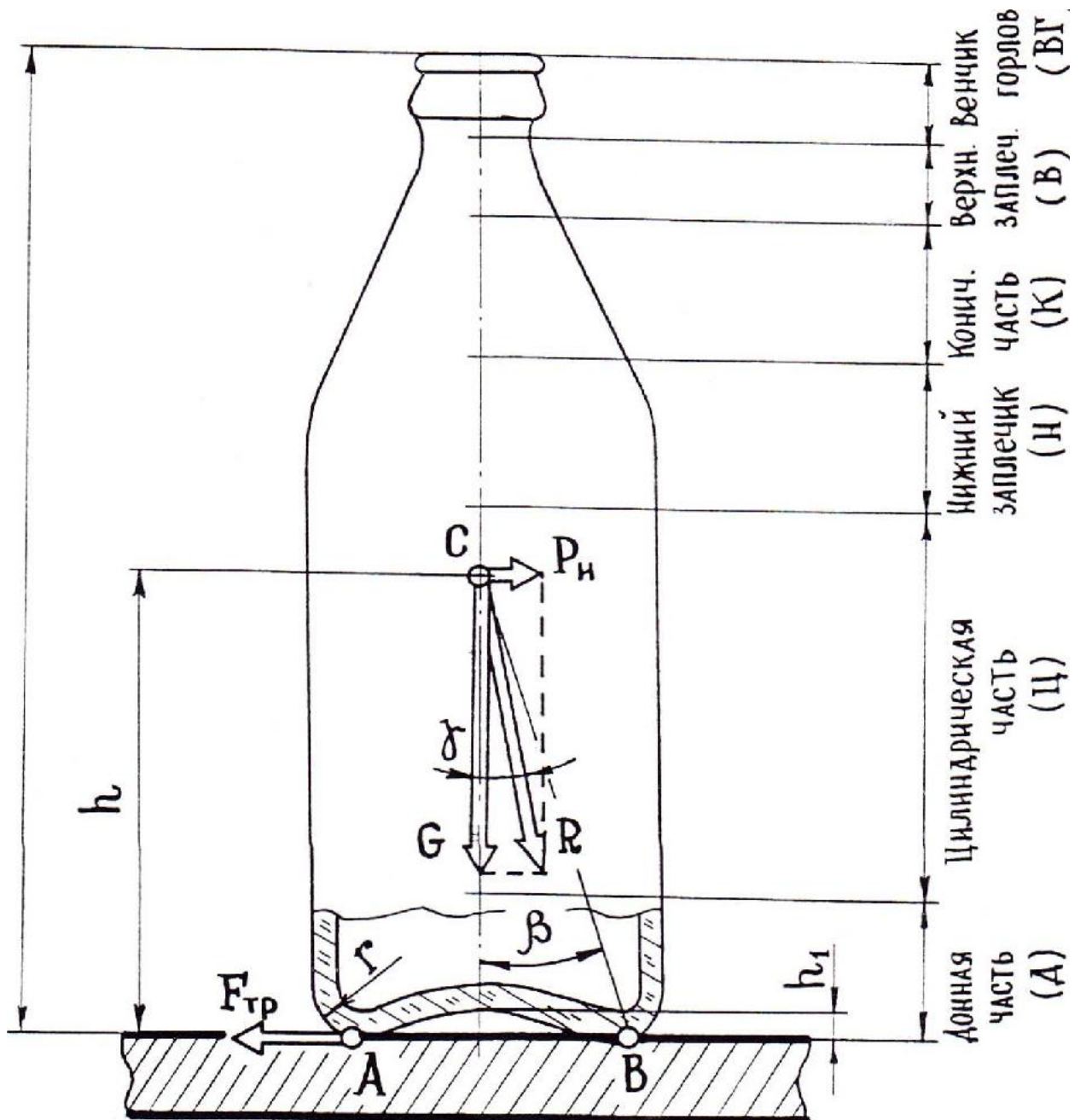


Рис.3.1-"Схема сил, що діють на пляшку при її статичній стійкості

Підставивши вирази (3.2),(3.3),(3.9) в (2.1) і здійснивши перетворення відносно \ddot{x}_2 , отримаємо вираження, що дозволяє встановити критичне значення прискорення пляшки, при якому станеться втрата статичної стійкості

$$\ddot{x}_2 = g \frac{d_0}{2h}. \quad (3.10)$$

Для вживаних в промисловості типів склотари виконані розрахунки за визначенням що допускаються коефіцієнта тертя $[f_{тр}]$ і прискорення переміщення опорної площини $[\ddot{x}_2]$ столу расформіруючого пристрою, виконаного на принципі використання інерційних сил, представлені в таблиці.

Таблиця 3.1

Кінематичні параметри процесу переміщення склотари, що допускаються, на рухливій площині за рахунок сил інерції:

№ п/п	Тип склотари	Номінальна місткість дм ³	Геометричні розміри, мм		$[f_{тр}]$	$[\ddot{x}_2]$ м/с ²
			Н	Д		
I.	Для харчових рідин по ГОСТ 21140-75 ГОСТ 10117-80					
	X	0,500	230-2	72-3	0,27	2,644
	У	0,330	228-3	63-2	0,215	2,103
			230-3	62-2	0,217	2,133
	І	0,700	285-4	76-3	0,211	2,065
			282-4	77-3	0,216	2,122
	УП	0,750	317-4	84-3	0,199	1,95
			308-4	89-3	0,214	2,102
П	0,800	-	-	-	-	
		308-4	89-3	0,214	2,102	
2.	ДЛЯ молока і молочних продуктів по ГОСТ 21140-75 ГОСТ 15844-80					
	І	0,500	190-3	76-3	0,305	2,995
			211-3	74-3	0,265	2,957
	ІУ	0,250	-	-	-	-
			ІІ-2	75-3	0,509	4,993
	ІІІ	0,200	ІІ-3	63-2	0,447	4,389
ІО-3			67-2	0,517	5,075	

3.	Банки для консервів по ГОСТ 5717-81	0,500	П8-2	89-2	0,627	6,152
		0,650	141-2	89-2	0,525	5,149
		0,800	162-2	93-2	0,482	4,72
		1,0	162-2	105-2	0,556	5,45
		2,0	207-3	133-2	0,497	4,881
		3,0	236-3	154-2	0,524	5,15

98

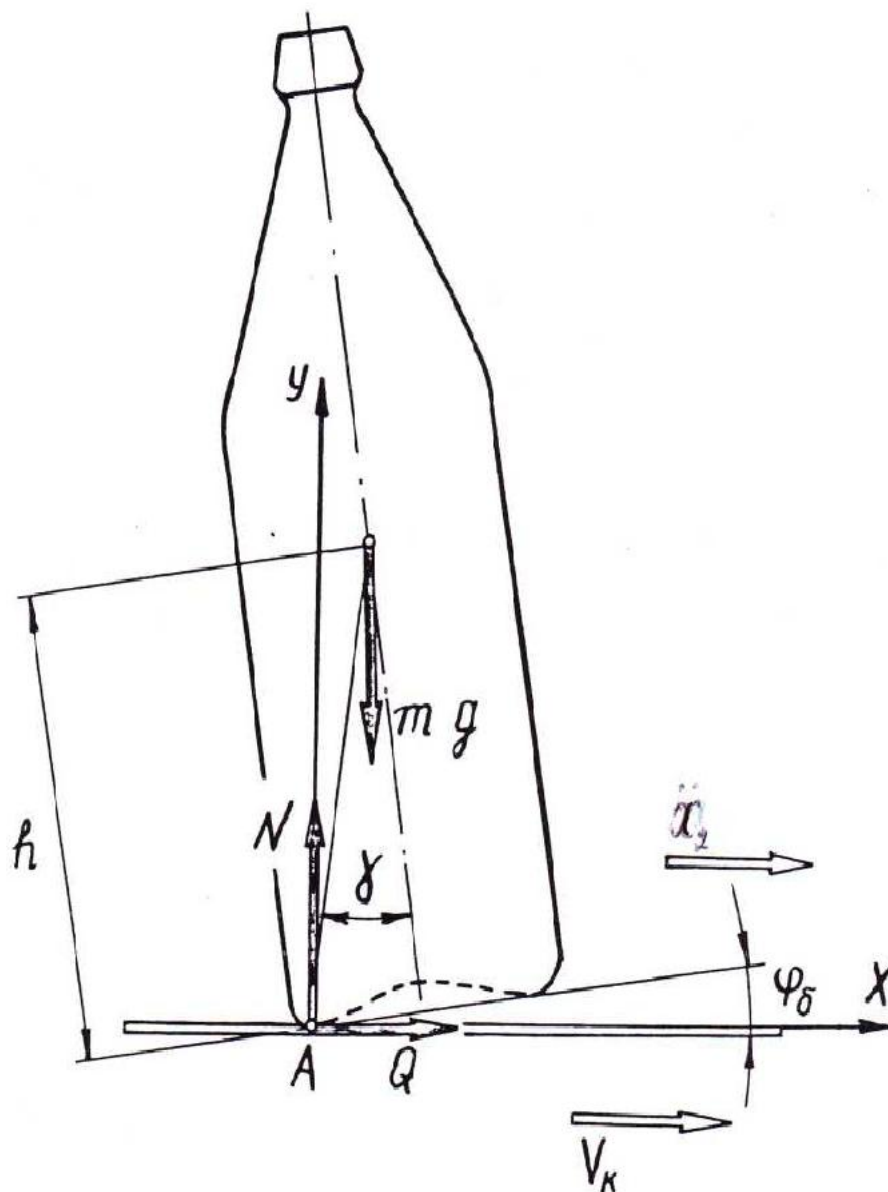


Рис.3.2.Схема взаємодії сил при динамічній стійкості пляшки

При розгоні і вибіганні грузонесущого елемента конвеєра або столу-накопичувача, характеризується прискоренням або сповільненим рухом плоскості, що несе, разом з розташованими на ній пляшками, можливі два випадки руху пляшки:

1) рух пляшки без ковзання опорної поверхні денця по плоскості, що несе;

2) рух пляшки з ковзанням.

Якщо прослизання відсутнє, то прискорення пляшки дорівнюватиме прискоренню грузонесущого елемента конвеєра або стола-накопінителя \ddot{x}_1 , тобто

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x}_2 \leq g \frac{d_0}{2h}. \quad (3.11)$$

Прослизання пляшки по поверхні грузонесущого елемента з'явиться в тому випадку, якщо сила інерції P_u , прагнуча зрушити пляшку, буде більше граничного значення сили тертя $F_{\text{тр}}$, т.е.

$$P_u \geq F_{\text{тр}}.$$

Оскільки $F_{\text{тр}} = f_1 mg$ ту відсутність прослизання пляшки отримаємо у вигляді:

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x}_2 \leq gf_1. \quad (3.12)$$

За наявності прослизання, максимальне прискорення пляшки:

$$\ddot{x}_{2\text{max}} = gf_1 \quad (3.13)$$

Унаслідок нерівномірності ходу тягових ланцюгів, а також під час розгону і вибігання конвеєра плоскість, що несе, рухається із знакозмінними прискореннями. Внаслідок чого на пляшку діють короткочасні знакозмінні

обурюючі дії (сили інерції), що викликає короткочасну втрату стійкості і пляшка почне перевертатися довкола однієї з крапок А або В (рис.3.2). Після зняття або зміни обурюючої дії пляшка може повернутися у вихідне положення, потім відхилитися на деякий кут в протилежному напрямі з подальшим поверненням у вихідне положення і так далі, тобто здійснюватиме малі коливання відносно вертикальної осі симетрії У. Такий стан рівноваги вважається динамічно стійким.

Можливі два якісно різних випадку перекидання:

- 1) перекидання пляшки без ковзання;
- 2) перекидання пляшки з ковзанням.

Розглянемо випадок перекидання пляшки за відсутності її прослизання по вантаженесучому елементу. Розрахункова схема цього випадку, представлена на рис.3.2. Рівняння руху пляшки мають вигляд

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= Q; \\ m\ddot{y} &= N - mg; \end{aligned} \quad (3.14)$$

де \ddot{x}, \ddot{y} - значення прискорення центру мас пляшки в проекції на осі вибраної системи координат;

φ_{δ} - кутова координата пляшки при її обертанні довкола крапки А;

N, Q - нормальна і дотична складові реакції грузонесущей площості на пляшку.

Для вирішення останньої системи трьох рівнянь, в які входять п'ять невідомих $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{\varphi}, N$ і Q необхідно доповнити її рівняннями геометричних зв'язків між параметрами x_A і φ_{δ} (рис.3.2). Вони можуть бути представлені так:

$$x = x_A + \frac{h}{\cos \gamma} \sin(\gamma - \varphi_{\delta}); \quad (3.15)$$

$$y = \frac{h}{\cos \gamma} \cos(\gamma - \varphi_{\delta}); \quad (3.16)$$

де x_A - координата точки А пляшки.

Диференціюючи два рівняння (3.15) і (3.16)

підучимо:

$$\dot{x} = \dot{x}_A - \dot{\varphi}_\delta \frac{h}{\cos \gamma} \cos(\gamma - \varphi_\delta);$$

$$\ddot{x}_A = \ddot{x} - \frac{h}{\cos \gamma} (\ddot{\varphi}_\delta \cos(\gamma - \varphi_\delta) + \dot{\varphi}_\delta^2 \sin(\gamma - \varphi_\delta)); \quad (3.17)$$

$$\dot{y} = \frac{h}{\cos \gamma} \dot{\varphi}_\delta \sin(\gamma - \varphi_\delta);$$

$$\ddot{y} = \frac{h}{\cos \gamma} (\ddot{\varphi}_\delta \sin(\gamma - \varphi_\delta) - \dot{\varphi}_\delta \cos(\gamma - \varphi_\delta)). \quad (3.18)$$

Підстановка виразів (3.17) і (3.18) відповідно в перше і друге рівняння системи (3.14) приводить до вигляду:

$$Q = m\ddot{x}_A - m \frac{h}{\cos \gamma} (\ddot{\varphi}_\delta \cos(\gamma - \varphi_\delta) + \dot{\varphi}_\delta^2 \sin(\gamma - \varphi_\delta)); \quad (3.19)$$

$$N = mg + m \frac{h}{\cos \gamma} (\ddot{\varphi}_\delta \sin(\gamma - \varphi_\delta) - \dot{\varphi}_\delta^2 \sin(\gamma - \varphi_\delta)). \quad (3.20)$$

При відомому значенні моменту інерції пляшки

$$I_\delta = m \left(\frac{h^3}{3} + \frac{d^2}{16} \right).$$

після підстановки (3.19) і (3.20) у третє рівняння системи (3.14) і преобразованій отримаємо

$$\ddot{x}_A = f_1 g + \frac{h}{\cos \gamma} \ddot{\varphi}_\delta (f_1 \sin(\gamma - \varphi_\delta) + \cos(\gamma - \varphi_\delta)). \quad (3.26)$$

Після підстановки (3.17), (3.18) в третє рівняння системи (3.25) і відповідних перетворень, отримаємо:

$$\ddot{\varphi}_\delta = \frac{48h \cos \gamma \left(g - \dot{\varphi}_\delta^2 \frac{h}{\cos \gamma} \cos(\gamma - \varphi_\delta) \right) (\sin(\gamma - \varphi_\delta) - f_1 \cos(\gamma - \varphi_\delta))}{\cos^2 \gamma (16h^2 + 3d^2) - 48h^2 \sin(\gamma - \varphi_\delta) (\sin(\gamma - \varphi_\delta) - f_1 \cos(\gamma - \varphi_\delta))}. \quad (3.27)$$

Вирішуючи отримані дифференціальні рівняння (3. 21) і(3.27) за допомогою ЕВМ, можна знайти ті критичні умови, коли пляшка втратить динамічну стійкість розгону, коли прискорення грузонесущей плоскості збігається по напрямку з вектором швидкості.

В разі вибігання грузонесущего елемента рівняння руху пляшки за відсутності її ковзання приводиться до вигляду:

$$\ddot{\varphi}_{\delta} = \frac{48h \cos \gamma (\ddot{x}_A \cos(\gamma - \varphi_{\delta}) + g \sin(\gamma - \varphi_{\delta}))}{\cos^2 \gamma (16h^2 + 3d^2) + 48h^2}. \quad (3.28)$$

При наявності проковзування отримаємо:

$$\ddot{\varphi}_{\delta} = \frac{48h \cos \gamma (f_1 \cos(\gamma - \varphi_{\delta}) - (g - \frac{h}{\cos \gamma} \cos(\gamma - \varphi_{\delta}) \varphi_{\delta}^2)}{\cos^2 \gamma (16h^2 + 3d^2) - 48h^2 \sin(\gamma - \varphi_{\delta}) (f_1 \cos(\gamma - \varphi_{\delta}) - \sin(\gamma - \varphi_{\delta}))}. \quad (3.29)$$

Приведені вище розрахункові формули і рівняння дозволяють за допомогою ЕОМ оцінити статичну і динамічну стійкість пляшок в процесі розгону і вибігання конвеєрів і столів-накопичувачів .

За допомогою приведених досліджень можна виконати ряд розрахунків при конструюванні і розробці пристроїв для транспортування пляшок в процесі формування ряду і шару пляшок, а саме:

- визначати раціональні кінематичні параметри грузоне-сущих елементів транспортуючих пристроїв, при яких забезпечується умова стійкості пляшки в процесі несталого руху;
- оцінювати стійкість пляшок і працездатність існуючих конструкцій транспортуючих пристроїв.

4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗФОРМУВАННЯ МАСИВІВ ПЛЯШОК

При проектуванні виймальників пляшок з тари-устаткування одного з основних завдань є створення вузлів і механізмів, що виконаних з врахуванням властивостей продукції і володіють високими техніко-економічними показниками (продуктивністю, довговічністю, надійністю в експлуатації, економічністю і тому подібне).

Конструкція виймальників пляшок з тари-устаткування передбачає в своєму складі пристрій для машинного розформування шару пляшок. Процес розформування є послідовними операціями по переміщенню і орієнтації пляшок в один ряд під дією активних і пасивних робочих органів. Одним із складених такого процесу є обкатування (розворот) пляшок один відносно одного або довкола упорів.

Для оптимального вибору поєднань основних параметрів і досягнення заданої продуктивності при високій надійності процесу необхідно визначити час розвороту пляшки як функцію чинників, що впливають на процес розвороту пляшок.

В результаті попередніх спостережень було встановлено, що на час розвороту виробів можуть робити вплив такі чинники, як швидкість переміщення грузонесучих елементів плоскості стола-разформувача, маса виробу, діаметр виробу, діаметр упору, величина зсуву виробу відносно упору коефіцієнт тертя в парі " виріб-плоскість", коефіцієнт тертя кочення в парі " виріб - упор ".

Чинники	код	Область визначення	рівні			Інтервал варіювання I_j
			-I нижній	0 нульовий	+I верхній	
Швидкість переміщення грузоне суцільних елементів столу расформирователя, мс	x_1	0,05...0,6	0,1	0,4	0,4	0,15
Діаметр виробу, м	x_2	0,062...0,092	0,062	0,0745	0,87	0,0083
Маса виробу, кг	x_3	0,5...1,5	0,99	1,11	1,23	0,12
Діаметр упору, м	x_4	0,02...0,12	0,030	0,0625	0,095	0,0325
Коефіцієнт тертя кочення в парі "виріб-упор"	x_5	0,01...0,07	0,02	0,04	0,06	0,02
Величина зсуву виробу відносно упору, м	x_6	0,015...0,05	0,015	0,0325	0,05	0,021
Коефіцієнт тертя, в парі "виріб-площина"	x_7	0,1...0,35	0,15	0,205	0,26	0,055
Наявність етикетки	x_8	Є, немає	Без етикетки	-	3 етикеткою	-

у зв'язку з великою кількістю чинників було прийнято рішення використовувати методи планування експериментів для вирішення наступних завдань:

- виділення істотних чинників на шумовому фоні останніх - отримати позбавлену математичну модель за визначенням часу розвороту виробів довкола упору;
- виконати рух по градієнту в область досягнення мінімального часу розвороту пляшок.

4.1. Опис експериментальної установки

Для реалізації експериментальної частини була розроблена установка, що дозволяє виробляти зміни значень виявлених чинників у всьому діапазоні їх області визначення.

Експериментальна установка (рис.4.1) є столом-конвеєром, що складається з пластинчастих петлевих ланцюгів I, змонтованих на станині, забезпечений упором 2 циліндричної форми, розташованим у вертикальній площині, обмежуючої напрямної 3, лінійкою 4 і двома датчиками 5 і 6, контролюючими розташування пляшки. Привід складався з електродвигуна 7, варіатора-редуктора 8, клинопасової 9 і ланцюгової 10 передач.

Установка забезпечена вимірювальною схемою за визначенням часу розвороту виробів довкола з контактними датчиками електросекундоміром ПВ-53-Щ.

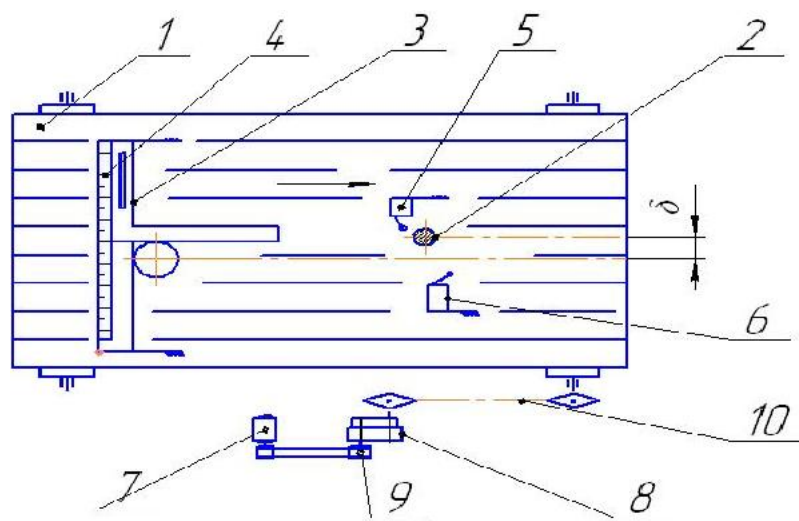


Рис.1.1, а) Схема експериментальної установки

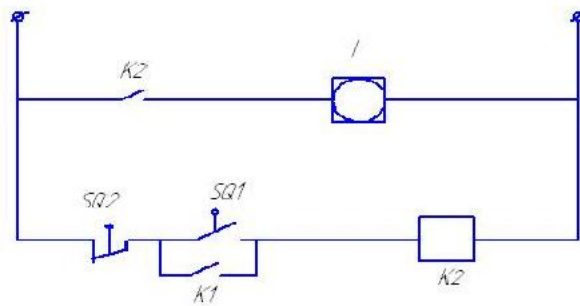


Рис.1.1, б) Електрична схема

4.2. Методика проведення експериментів

Експериментальні, дослідження проводилися з різними типами найбільш поширених в харчовій промисловості скляних пляшок відповідних ГОСТ 10117-80, геометричні розміри яких і деякі інші характеристики приведені були раніше(див.табл.3)

Для досягнення необхідних значень маси пляшок здійснювалося їх заповнення водою і іншими матеріалами, що мають велику питому вагу, а коливання параметрів довкілля, при проведенні експериментів, не враховувалося, оскільки дослідження процесу розформування шару пляшок проводилося при незначних змінах температури, вологості, порохнявості і тому подібне.

Експеримент по здобуттю одного виміру часу проводився в наступному порядку:

1. Встановлювалася і фіксувалася обмежуюча напрямна з необхідною величиною з суву виробу відносно упору.

2. За допомогою варіатора підбиралася необхідна величина швидкості плоскості столу расформувача, що несла.

3. За допомогою мильного розчину забезпечувався менший коефіцієнт тертя в парі "виріб-плоскість", а за допомогою установки на упорі гумової смужки завтовшки в 1 мм забезпечувався більший коефіцієнт тертя кочення в парі "виріб-упор".

4. Вмикалася електрична схема електросекундоміра і привід столу розформувача, після здобуття сталого режиму руху площини, що несе, на неї встановлювався відповідний зразок виробу.

Час розвороту виробу довкола упору фіксувався за допомогою електросекундоміра, сигнал на включення якого давав датчик» встановлений першим по ходу руху пляшки і що спрацьовував при контакті останньою з упором. Після закінчення процесу розвороту виробу спрацьовував другий датчик і давав сигнал на зупинку електросекундоміра.

Незалежна зміна чинників забезпечувалася шляхом переналадки експериментальної установки, зокрема, заміною упору, установкою за допомогою обмежуючої направляючої необхідної величини зміщення виробу відносно упору, підбором необхідної швидкості грузонесущих елементів конвеєра, відповідних коефіцієнту тертя і тому подібне.

Виконання експериментів проводилося в науково-дослідній лабораторії кафедри.

4.3 Виділення істотних чинників процесу розвороту пляшки довкола упору

Оскільки початкова кількість виявлених чинників велика, і здобуття математичної моделі вимагає проведення великого числа дослідів, було прийнято рішення про проведення спеціальної серії експериментів по виділенню істотних чинників. Для цього був використаний насичений експериментальний план Плакетта-Бермана (1.13), який в порівнянні із звичайними методами, наприклад, регресійного аналізу, дозволяє виділити істотні чинники за допомогою невеликого числа експериментів і при невеликих витратах обчислювального часу. Кількість дослідів в матриці цього плану кратно чотирьом

$$N=4K, \quad (4.1)$$

де $K = 1, 2, 3, \dots$

З його допомогою досліджується вплив $(4K-1)$ чинників, які варіюються на рівнях $+I(+)$ і $-I(-)$. Таке як число досліджуваних чинників 8, то в нашому випадку число $K=3$ і для проведення дослідів по виділенню істотних чинників необхідно використовувати план Плакетта-Бермана тих, що складаються з 12 експериментів. Для побудови плану використовуємо ті, що приводяться в літературі (13) перший рядок матриці плану, другий і подальші рядки отримуємо шляхом зрушення всіх елементів попереднього рядка на одну позицію вліво і переставляв перший елемент на останню позицію. Цей процес повторюється (

N - 2) раз. Останній рядок плану складається лише з елементів $-I(-)$. Кодовані позначення чинників процесу приведені в табл.4.1.

Оскільки число чинників в отриманій матриці планування дорівнює II, а число досліджуваних чинників 8, то три фіктивні чинники x_9, x_{10}, x_{11} використовуване надалі для оцінки помилок спостережень.

План Плакетта-Бермана з N=12 дослідями приведений в таблиці 4.2, а значення чинників на нижньому і верхньому рівнях в таблиці 4.1. У кожному рядку матриці планування проводилося по три паралельні досліди, середні значення яких приведені в таблиці 4.2. Розрахунок і оцінка ефектів окремих чинників визначалася по формулі (13).

$$\widehat{B}_i = \frac{\sum_{j=1}^N \overline{y^j} \cdot x_u^j}{N/2}. \quad (4.2)$$

і представлені в табл.4.2. Для виявлення істотних чинників використовувався t-критерій і перевірялася умова:

$$|\widehat{a}_i| \geq t_{kp} \cdot S_i, \quad (4.3)$$

де t_{kp} - критичне значення t-розподілення для рівня значущості α і φ мір свободи;

S_i^2 -оцінка дисперсії коефіцієнта \widehat{a}_i , обчислена на підставі фіктивних чинників по рівнянню:

$$S_i^2 = 4K(\widehat{a}_{l+1}^2 + \widehat{a}_{l+2}^2 + \dots + \widehat{a}_{N-2}^2)/(4K - l - 1), \quad (4.4)$$

де l - число дійсних чинників.

План Плакетта-Бермана і результати дослідів

	Основні стовпці								Допоміжні стовпці			У
	x_{1u}	x_{2u}	x_{3u}	x_{4u}	x_{5u}	x_{6u}	x_{7u}	x_{8u}	x_{9u}	x_{10u}	x_{11u}	
1	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	0,55
2	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	1,12
3	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	4,27
4	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	0,66
5	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	0,17
6	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	0,75
7	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	1,11
8	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	0,39
9	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	6,44
10	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	0,33
11	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	0,42
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,66
b_i	-1,952	1,025	-0,748	1,462	0,078	-2,155	0,0917	0,972	1,152	-0,568	-0,532	3,14
Значу- щість	так	ні	ні	так	ні	так	ні	ні	ні	ні	ні	ні

$$S_l^2 = 4 \cdot 3 [(0,152)^2 + (-0,568)^2 + (-0,532)^2] / (4 \cdot 3 - 8 - 1) = 2,515$$

$$S_l = \sqrt{S_l^2} = 1,585.$$

Рівень значущості приймався рівним $\alpha = 0,95$ із таблиці 15.3

(13) t-розподілення знаходимо значення $t_{кр}$

$$t_{кр} = t_{0,05[4K-l-1]} = t_{0,05[3]} = 3,182.$$

Дисперсія оцінок параметра \hat{a}_i рівна

$$S_i^2 = \frac{S_l^2}{4K} = \frac{2,515}{4 \cdot 3} = 0,2096 \quad (4.5)$$

$$S_i = \sqrt{S_i^2} = \sqrt{0,2096} = 0,4578$$

$$t_{кр} S_i^2 = 3,182 \cdot 0,4578 = 1,4567.$$

Значущість чинників перевірялася шляхом перевірки нерівності (4.3). Результати представлені в табл.4.2. Таким чином в результаті серії експериментів по виділенню істотних чинників значимими виявилися наступні чинники;

-швидкість переміщення грузонесущих елементів столу расформовувача;

-величина зсуву виробу відносно упору;

-діаметр упору. З метою здобуття лінійної моделі і подальшого руху в область оптимуму була проведена друга серія експериментів, в результаті якої був реалізований повний факторний експеримент типу 2^n із загальним числом експериментів

$$N=2^3=8,$$

приведеним в табл.4.3. Нульовий рівень, значення чинників на нижчих і верхніх рівнях і інтервал варіювання приведені в табл.4.4.

Таблиця 4.3

План другої серії експериментів

U	x_1	x_4	x_6	x_1x_4	x_1x_6	x_4x_6	$x_1x_4x_6$	y_1	y_2	y_3	\bar{y}
1	+	+	+	+	+	+	+	0,22	0,23	0,21	0,22
2	-	+	+	-	-	+	-	0,34	0,28	0,31	0,31
3	+	-	+	-	+	-	-	0,17	0,20	0,20	0,19
4	-	-	+	+	-	-	+	0,22	0,20	0,21	0,21
5	+	+	-	+	-	-	-	0,33	0,32	0,31	0,32
6	-	+	-	-	+	-	+	0,36	0,40	0,38	0,38
7	+	-	-	-	-	+	+	0,22	0,23	0,24	0,23
8	-	-	-	+	+	+	-	0,24	0,27	0,30	0,27

Таблиця 4.4

Значення факторів проведенні другої серії експериментів.

Фактор	Од. Зм.	Рівні			Інтервал варіювання I_j
		-I Нижній	0 нулевой	+I верхній	
x_1	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	0,3	0,35	0,4	0,05
x_4	м	0,03	0,35	0,04	0,005
x_6	м	0,04	0,045	0,05	0,005

Експерименти проводилися на раніше описаній установці і приведеній методиці. Набутих значень часу розвороту пляшки і середніх значень по трьох дослідах приведені в табл.4.3.

склала $S_y^2 = 8,9 \cdot 10^{-5}$. Однорідність дисперсії перевірялася по критерію Фішера /7,96/.

Математична обробка результатів матриці планування дозволила отримати рівняння регресії вигляду

$$y = 0,266 - 0,0263x_1 + 0,0413x_4 - 0,0388x_6 - 0,0113x_1x_4 - 0,0013x_1x_6 - 0,0088x_4x_6 - 0,0063x_1x_4x_6 \quad (4.6)$$

Перевірка значущості коефіцієнтів проводилась по критерію Стюдента на основі порівняння значення коефіцієнтів регресії з величиною довірчого інтервалу:

$$\Delta b_j = \pm t S_{\{b_j\}} \quad (4.7)$$

де t - табличне значення критерію Стюдента при числі мір свободи, з яким визначалася $S_{\{y\}}^2$, і вибраному рівні значущості 0,05 .

$S_{\{b_j\}}$ - квадратична помилка коефіцієнта регресії

$$S_{\{b_j\}} = \sqrt{S_{\{y\}}^2} \quad (4.8)$$

Дисперсія коефіцієнта регресії визначалася по формулі

$$S_{\{b_j\}} = \frac{S^2_{\{y\}}}{N}. \quad (4.9)$$

Табличне значення t критерію $t = 2,2$ знайдено при 5% рівні значущості і числу степені свободи

$$f - N(n - t) = 16.$$

Обчислена величина довірчого інтервалу склала

$$\Delta b_j = \pm 0,012.$$

В результаті перевірки значимими виявилися лише коефіцієнти при лінійних членах. Тоді рівняння регресії прийме вигляд

$$y = 0,266 - 0,0263x_1 + 0,0413x_4 - 0,0388x_6 \quad (4.10)$$

Перевірка адекватності отриманої моделі, проведена при допомозі критерію Фішера / 1 / показала, що отримане рівняння адекватно описує процес розвороту пляшки і може бути використане при русі в область оптимуму.

4.4 Мінімізація часу развороту пляшок довкола упору методом руху по градієнту

Так як досягнення високої продуктивності расформіруючих пристроїв може бути отримане за рахунок досягнення малого часу розвороту пляшок довкола упору, то в даному випадку завдання зводиться до мінімізації часу розвороту пляшок довкола упору. Пошук параметрів, що задовольняють мінімальному часу розвороту пляшки, виконуємо методом крутого сходження /1.13/ по поверхні відгуку.

Розрахунок крутого сходження виконується в наступній послідовності. Виконували розрахунок складових градієнта

$$b_1 I_1 = -0,00132; \quad b_4 I_4 = 0,000207; \quad b_6 I_6 = -0,000169.$$

Оскільки складові градієнта приймають найбільші значення, важко здійсненні в досліді, то збільшуємо їх в 8 разів. Результати розрахунків значень чинників в досліді крутого сходження і результати розрахунків часу розвороту по рівнянню (4.10) приведені в табл.4.5. Оскільки в рівнянні регресії застосовуються кодовані значення, а в згаданій таблиці приведені натуральні значення чинників, тому необхідно перевести натуральні значення в кодовані.

Таблиця 4.5

Матриця планування, результати та розрахунки крутого сходження

Рівень	\tilde{x}_1	\tilde{x}_4	\tilde{x}_6
Оновний	0,35	0,035	0,045
Інтервал варіювання	0,05	0,005	0,005
Верхній	0,4	0,04	0,05
Нижній	0,2	0,03	0,04

Досліди	Кодовані значення факторів			
	x_1	x_4	x_6	\bar{y}
1	+	+	+	0,22
2	-	+	+	0,31
3	+	-	+	0,19
4	-	-	+	0,21
5	+	+	-	0,32
6	-	+	-	0,38
7	+	-	-	0,23
8	-	-	-	0,27
b_j	-0,0263	0,0413	-0,0338	
$b_j I_j$	-0,00132	0,000207	-0,000169	
Крок при зміні \tilde{x}_1 на 0,01	-0,01	0,00157	-0,00128	
округлення	-0,01	0,001	-0,001	

Продовження табл. 4.5

Досліди	x_1	x_4	x_6	\hat{y}
9	0,36	0,034	0,046	0,246
10	0,37	0,033	0,047	0,225
11	0,38	0,032	0,048	0,205
12	0,39	0,031	0,49	0,185

Кодовані величини визначаємо за допомогою наступної формули

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}}{I_j}, \quad (4.11)$$

де x_j - кодоване значення чинника;

\tilde{x}_j - натуральне значення чинника;

\tilde{x}_{j0} - натуральне значення основного рівня;

I_j - інтервал варіювання;

j - номер чинника.

Як впливає з табл.4.5 рух по градієнту виявився ефективним. Набуті мінімальних значень часу розвороту, яким відповідають параметри: швидкість

переміщення вантажонесущих елементів столу расформовувача

$V_k = 0,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, величина зсуву виробу відносно упору $\delta = 0,05 \text{ м}$, діаметр упору $d_{\text{уп}} = 0,04 \text{ м}$. Як впливає з результатів мінімальні значення досягаються на межі області визначення чинників.

ВИСНОВКИ

В роботі проведений аналіз існуючих конструкцій формуючих і розформовуючих пристроїв штучних виробів у вигляді паралелепіпеда і циліндричеської форм, виділені найбільш характерні операції машинного формування ряду або шару пляшок. На підставі проведеного аналізу використовував основний метод математичного моделювання операцій переміщення пляшок у формуючих пристроях під дією зовнішніх сил.

Отримані аналітичні розрахункові формули для визначення кінематичних і динамічних параметрів процесу формування шаруючи при переміщенні пляшки довкола упору. При цьому визначається величина, точка застосування і напрями головного вектора сил тертя і головного моменту цих сил при плоскопаралельному русі пляшки по плоскості, що несе, загальний час переміщення пляшки довкола упору з врахуванням ударних процесів, виникаючих при вході її в контакт з упором і складного плоского руху пляшки по рухливій площині.

Відповідність отриманих математичних моделей реальних процесів машинного формування масивів виробів з пляшок підтвержено експериментальними випробовуваннями процесу переміщення пляшок довкола упору. В результаті обробки експериментальних даних методом вищої математики для найбільш поширеної склотари створили математичні моделі що описують закон переміщення пляшок і банок довкола упору. Отримані мінімальні значення часу розворота, яким відповідають параметри: швидкість переміщення несучої площини стола-накопичувача $V_k = 0,4 \text{ м/с}^{-1}$, величина зміщення виробу відносного упору $\delta = 0,05 \text{ м}$, діаметр упору $d_{уп} = 0,04 \text{ м}$.

Мінімальні значення досягаються на границі області визначення факторів.

Список використаної літератури

1. Гавва О.М. Пакувальне обладнання. Обладнання для групового пакування / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2007. – 136 с.
2. Гавва О.М. Пакувальне обладнання. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2008. – 436 с.
3. Гавва О.М., Пакувальне обладнання. Обладнання для обробки транспортних пакетів / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2006. – 96 с.
4. Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв: монографія / А.І. Соколенко, В.А. Піддубний, К.В. Васильківський та ін. ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Соколенка А.І. – К. : Кондор-Видавництво, 2016. – 326 с.
5. Кривопляс-Володіна Л.О. Основи наукових досліджень у прикладних задачах: навч. посіб. для студ. вищ.навч.зак./Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Яровий В.Л., Токарчук С.В. – К.: Сталь, 2016. – 271 с.
6. Марчевський В.М. Конструкторська документація курсових і дипломних проектів: навч. посіб. / Марчевський В.М. – К.: Норіта-плюс, 2006. – 280 с.
7. Моделювання процесів пакування: підручник / А. І. Соколенко, В. Л. Яровий, В. А. Піддубний, К. В. Васильківський ; за ред. А. І. Соколенка ; НУХТ. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 272 с.
8. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підруч. / В. Т. Павлице. – 2-е вид., перероб. – Львів : Афіша, 2003. — 560 с.
9. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технічні комплекси / Под ред. Павленко І.І. - Навчальний посібник 2012 - 393с.
10. Пакувальне обладнання: підруч. / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. – Київ : ІАЦ "Упаковка", 2010. – 744 с.

11. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості: підручник / А. І. Соколенко, В. С. Костюк, К. В. Васильківський та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. – К. : Кондор, 2015. – 396 с.
12. Пальчевский Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. / Пальчевский Б.О. – Львів: Світ, 2007. – 392 с.
13. Поліщук Є.С. та ін. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин. 2008
14. Сертифікація, гігієнічне забезпечення та метрологічна атестація пакувального обладнання: навч. посіб. / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, С. В. Токарчук ; МОН України, Нац. ун-т харч. технол. – К. : НУХТ, 2014. – 268 с.
15. Термінологічний словник пакувальника / Сторіжко Й.І., Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – Київ: ІАЦ “Упаковка”, 1999. – 80 с.
16. Транспортно-технологічні системи пивзаводів / А.І. Соколенко, А.І. Українець, В.А. Піддубний ; За ред. А.І. Соколенка. – К.: АртЕк, 2002. – 304 с.
17. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин: монографія / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук та ін. ; за ред. О. М. Гавви ; Нац. ун-т харч. технол. – К. : Сталь, 2015. – 547 с.