

На правах рукопису

Новіцький Ярослав Мар'янович

УДК 621.867

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІБРОТРАНСПОРТЕРІВ  
З АНІЗОТРОПНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Спеціальність: 05.13.07. – Автоматизація технологічних  
процесів та виробництв. (машинобудування)

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



00778842 (-)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі "Технологія машинобудування"

Державного університету "Львівська політехніка".

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент

Повідайло В.О.

Офіційні опоненти:

- заслужений діяч науки і техніки України,  
доктор технічних наук,  
професор Гавриш А.П.
- кандидат технічних наук,  
доцент Махоркін Є.М.

Провідна організація - ПКІ Конвейєробудування

/м. Львів/

Захист дисертації відбудеться 28 жовтня 1994 року в 14 години на засіданні спеціалізованої вченої Ради К-068.36.08 при Державному університеті "Львівська політехніка" за адресою: 290646, м. Львів, вул. С. Бандери 12, корп. 14, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного університету "Львівська політехніка" за адресою: 290646, м. Львів, вул. Професорська 1.

Автореферат розісланий " 26 " 09 " 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої Ради,  
кандидат технічних наук

Марець В.М

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток промисловості передових країн світу здійснюється, на сьогоднішній день, шляхом впровадження в виробництво наукомістких технологій та машин, створення яких є актуальним та перспективним напрямом науково – технічного прогресу.

Розроблення та впровадження в виробництво високоефективних наукомістких вібраційних технологій та машин є одним з шляхів цього напрямку.

В групі своєрідних явищ, які виникають завдяки впливу коливань на нелінійні механічні системи, суттєве місце займають процеси вібраційного переміщення.

Інтерес до цих явищ, який проявляється як інженерами так і вченими, пов'язаний з тим, що при наявності вібрацій багато нелінійних систем рухаються (при інших рівних умовах) зовсім інакше, ніж при їх відсутності. В зв'язку з цим, відкриваються нові шляхи для створення машин і розроблення ефективних технологічних процесів.

Найбільш розповсюдженими в промисловості вібраційними машинами є вібраційні транспортери та бункерні живильники, різні типи яких широко використовуються як на підприємствах колишнього СРСР, так і в інших країнах світу.

В зв'язку з простотою конструктивного виконання, високою надійністю та ефективністю вібраційних машин даного типу, багатьма фірмами та науково – дослідними установами розвинутих країн світу проводяться широкі науково – дослідні роботи, з метою виявлення нових ефектів вібраційної дії на різні середовища та розроблення на їх основі нових машин та ефективних технологій.

Мета роботи. Метою запропонованої роботи є підвищення ефективності вібротранспортерів та вібраційних бункерних жи-

вильників (ВБЖ) з анізотропною поверхнею лотків шляхом дослідження процесу вібропереміщення заготовки по анізотропному покритті лотка, який здійснює прямолінійні гармонічні коливання паралельно до кута транспортування; визначення оптимальних режимів вібротранспортування заготовки і параметрів роботи транспортера та покриття лотка, які їх забезпечують; розроблення методики їх проектування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розробити та реалізувати на ЕОМ математичну модель процесу вібраційного переміщення твердого тіла по анізотропному покритті лотка повно- та півхвильового вібротранспортера для визначення оптимальних конструктивних параметрів покриття та режимів роботи вібраційних машин;

2. Провести аналіз впливу конструктивних параметрів покриття і режимів роботи вібротранспортерів та ВБЖ на ефективність процесу вібротранспортування твердого тіла (заготовки).

3. Визначити оптимальні значення параметрів покриття лотка та режимів роботи вібраційних транспортерів і ВБЖ.

4. Розробити рекомендації щодо конструювання оптимальних параметрів покриття лотків та конструкцій вібромашин.

5. Розробити конструкції півхвильового та повнохвильового вібротранспортерів з поздовжніми гармонійними коливаннями лотка з анізотропним покриттям та здійснити експериментальну перевірку основних результатів теоретичних досліджень.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- проведено аналіз динаміки процесу вібраційного переміщення твердого тіла (заготовки) по анізотропному покритті лотка, який здійснює гармонійні коливання тільки в поздовж-

ньому напрямі з врахуванням періодичної взаємодії тіла з конструктивними елементами покриття;

- одержано аналітичні залежності, які описують процес вібропереміщення заготовки;

- побудовано та реалізовано на ЕОМ математичні моделі процесу вібраційного переміщення твердого тіла по анізотропному покритті лотка повно- та півхвильового вібротранспортера і ВБЖ для визначення оптимальних параметрів покриття лотка та режимів роботи вібраційних машин;

- одержано емпіричні залежності, які визначають оптимальні параметри покриття лотка для оптимальних режимів роботи повно- та півхвильового вібротранспортера з електромагнітним приводом;

- розроблено програмне забезпечення ЕОМ, яке дозволяє визначити оптимальні параметри покриття лотків вібротранспортерів і ВБЖ з будь-яким приводом;

- розроблено рекомендації для конструювання транспортерів та ВБЖ з гармонійними коливаннями в поздовжньому напрямі та анізотропного покриття їх лотків.

Одержані в роботі математичні моделі, розрахунки та рекомендації щодо конструювання дозволяють підвищити ефективність вібротранспортерів та ВБЖ з анізотропним покриттям лотків.

На захист виносяться наступні питання:

- теоретичні та експериментальні дослідження процесу вібраційного транспортування твердого тіла по анізотропному лотку повно- та півхвильового вібротранспортера, який здійснює прямолінійні гармонічні коливання паралельно до кута транспортування;

- спосіб вібротранспортування заготовок по ребристому (ворсовому) покритті лотка транспортера, який здійснює пря-

молінійні гармонічні коливання паралельно до кута транспортування;

Достовірність наукових результатів та висновків забезпечується коректністю постановки задачі, використанням математично обґрунтованих методів рішення, проведенням аналізом результатів математичного моделювання реального фізичного процесу.

Обґрунтованість висновків підтверджується порівнянням одержаних рішень з результатами інших авторів та експериментальними даними.

Практичне значення роботи. Розроблені та реалізовані на ЕОМ математичні моделі процесу вібропереміщення заготовок по анізотропному покритті лотка повно- та півхвильового вібротранспортера і ВБЖ дозволяють, з достатньою точністю та мінімальними затратами часу, визначити ефективність процесу вібротранспортування заготовок на необхідних режимах роботи транспортера (ВБЖ) та оптимальні конструктивні параметри анізотропного покриття лотка.

Приведено рекомендації щодо конструювання анізотропного покриття лотка та конструкцій повно- та півхвильових вібраційних транспортерів і ВБЖ з електромагнітним приводом, робочі органи яких здійснюють гармонійні коливання тільки в поздовжньому напрямі.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на підсумкових науково-технічних конференціях Львівського політехнічного інституту, Республіканській науково-технічній конференції "Автоматизація та діагностика технологічних процесів" (Луцьк, 1990 р.), Міжнародній науково-технічній конференції "Совершенствовање и развитие отделочно-зачистной, финишной и поверхности - пластической обработки деталей"

(Вінниця, 1992 р.); 1-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів механіків у Львові (1993 р.); 2-й міжнародної научно - технічної конференції "Применение колебаний в технологиях: расчет и проектирование машин для реализации технологий" (Вінниця, 1994 р.).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 9 друкованих робіт.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, заключення, списку літератури, який складається із 81 роботи і двох додатків. Загальний обсяг роботи складається із 157 машинописних сторінок, з яких 95 сторінок - основного тексту. Робота вміщує 22 малюнки, 26 графіків та 10 таблиць.

#### КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині обгрунтована актуальність теми дисертації, наведені відомості про наукову новизну та основні положення роботи, які вносяться на захист.

В першому розділі зроблено огляд основних напрямів дослідження, виділені роботи, які мають першочергове значення для дисертації, коротко розглянуто методи теоретичних досліджень даної задачі та сформульовано задачі дослідження.

Розглянуто відомі способи вібротранспортування твердих поштучних тіл та основні конструкції вібротранспортерів і вібраційних бункерних живильників (ВБЖ), в яких вони реалізуються, їх переваги та недоліки.

В другому розділі розглянуто спосіб вібротранспортування заготовки по анізотропній поверхні лотка повно- та півхвильового транспортера, який здійснює прямолінійні гармонічні коливання паралельно до кута транспортування (відсутність вертикальної складової коливань лотка).

Розв'язано задачі вібропереміщення заготовки і на осно-

ві одержаних кусково - лінійних рівнянь, які описують всі можливі етапи того чи іншого режиму вібропереміщення заготовки, побудовано математичну модель реального фізичного процесу вібраційного переміщення заготовки.

На різних етапах руху, швидкість заготовки визначається різними кусково-лінійними рівняннями. Стійкові фазові кути, при яких відбувається перехід від одного етапу до іншого, визначаються методом поетапного інтегрування з допомогою ЕОМ.

Режим вібропереміщення заготовки по анізотропному лотку вібротранспортера. Режим вібропереміщення в залежності від параметрів вібротранспортера і заготовки ( $f_{\text{пр}}$ ,  $f_{\text{об}}$ ,  $\alpha$ ,  $A$ ,  $\omega$ ) можуть мати різне число етапів руху (рис. 1);

-де:  $f_{\text{пр}}$  - коефіцієнт тертя заготовки і покриття лотка в напрямі транспортування;  $f_{\text{об}}$  - коефіцієнт тертя заготовки і покриття в зворотньому до транспортування напрямі,  $\alpha$  - кут транспортування;  $A$  - амплітуда коливань лотка;  $\omega$  - кутова частота.

**Р е ж и м I**, характеризується високою швидкістю коливання лотка  $V_d$ , складається з двох етапів: е т а п у р о з г о н у  $P$  і г а л ь м у в а н н я  $G$ . Зменшення  $V_d$  (або збільшення  $\alpha$ ) приводить до появи трьохетапного режиму II, в якому появляється е т а п с у м і с н о г о р у х у  $C$ . Дальніше зменшення  $V_d$  приводить до моменту, коли прискорення лотка (в напрямі  $f_{\text{пр}}$ ) буде менше критичного і зникне етап  $P$ , в якому заготовка рухається з від'ємним проковзуванням, наступить двоетапний режим III. Зменшивши  $V_d$  на ще більшу величину одержимо режим IV, при якому, внаслідок того що максимальне значення сили інерції лотка стає меншим від сили тертя зникає етап  $G$  і отже, залишається тільки один етап  $C$ , при якому процес вібропереміщення заготовки відносно лотка

не можливий.

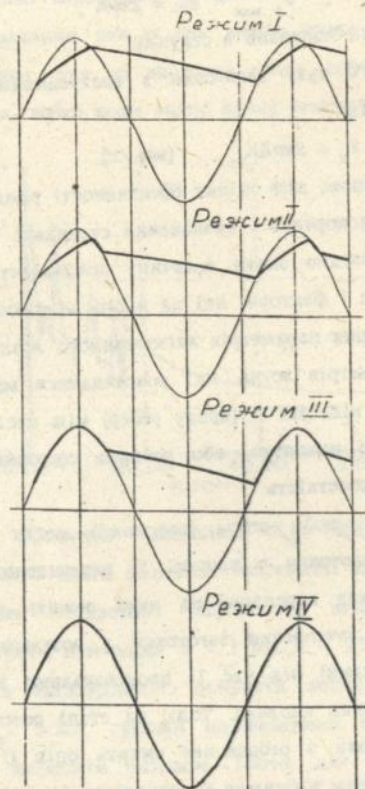


Рис. 1. Режими вібропереміщення заготовки.

Критерієм ефективності роботи вібраційного транспортера є коефіцієнт швидкості  $K_{ш}$ , який показує, наскільки середня швидкість заготовки наближується до максимальної швидкості лотка:

$$K_{ш} = \frac{v_3}{v_{л \max}}; \quad (2.1)$$

звідси середня швидкість заготовки:

$$v_3 = v_{л \max} K_{ш}; \quad (2.2)$$

Максимальна швидкість лотка при коливальному русі по гармонійному закону визначається:

$$V_{x \text{ max}} = A\omega = 2\pi\nu A ; \quad (2.3)$$

де:  $\nu$  - частота коливань в секунду.

Швидкість руху заготовки з врахуванням формули (2.3) можна виразити:

$$V_z = 2\pi\nu AK_{\text{ш}} \quad (\text{мм./с}). \quad (2.4)$$

Таким чином, для оцінки ефективності режиму роботи вібраційного транспортера і визначення середньої швидкості руху заготовки необхідно знати величину коефіцієнта швидкості в різних режимах і фактори, які на нього впливають.

Вплив інших параметрів анізотропного лотка на рух заготовки. До параметрів лотка, які розглядалися вище ( $f_{\omega}, f_{\omega}$ ) додамо величину відстані  $K$  (кроку ребер) між сусідніми ворсинками шіткового покриття, або ребрами пилоподібної гумової стрічки та їх жорсткість.

Для того, щоби ребра (ворсинки) могли безпосередньо впливати на заготовку в процесі її переміщення, необхідно, щоби прогин всіх ворсинок, на яких лежить заготовка, був достатнім для зачеплення заготовки з розташованим позаду ребром (ворсинками) під час її проковзування в зворотньому до транспортування напрямі. Тоді, на етапі розгону заготовка може контактувати з ребром, яке чинить опір її зворотньому проковзуванню, чим наближує її швидкість до швидкості лотка, що приводить до зростання ефективності процесу вібротранспортування (збільшення  $K_{\text{ш}}$ ). Тобто в момент зачеплення (контакту) заготовки з ребром на етапі розгону настає етап п р и м у с о в о г о сумісного руху (випадок квазіграничної анізотропії, режим III).

На рис. 2 представлена графічна залежність  $K_{\text{ш}} = f(K)$  при  $f_{\omega} = 0.2$ ;  $f_{\omega} = 0.25$  (сталевий ворс)  $A = 1$  мм.,  $\nu = 25$  Гц Як вид-

но із рисунку крива залежності складається з двох ділянок – ділянки з сильно вираженою нелінійністю (критичної до  $K$ ) і не критичної ділянки, яка із зростанням кроку ребер наближується до прямої, яка не враховує кроку ребер і співпадає з нею при  $K = \infty$ , тобто коли вплив кроку неможливий.

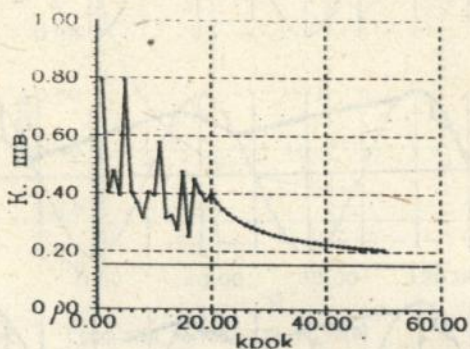


Рис. 2. Графічна залежність  $K_{шв} = f(k)$

Виходячи з цього дальніші теоретичні дослідження проводяться для конкретних параметрів вібротранспортера з електромагнітним причодом:  $A = 1$  мм,  $\nu = 25$  і  $50$  Гц і конкретних типів анізотропного покриття лотка (сталевому ворсу ( $f_{*1} = 0.2$ ;  $f_{*2} = 0.25$ ), гумової пилоподібної стрічки ( $f_{*1} = 0.65$ ;  $f_{*2} = 0.7$ )) – зворотнім методом. Тобто, для певних режимів  $p$  визначаються області їх існування і коефіцієнти швидкості ( $K_{шв}$ ), перевіряючи при цьому їх стійкість.

Розглядаються можливі режими вібропереміщення заготовки з зачепленням за краї ребер чи ворсинок на етапі розгону.

**Р е ж и м  $p = 1$**  (рис. 3,а). Зачеплення заготовки за ребро здійснюється протягом кожного періоду коливання транспортера.

**Р е ж и м  $p = 2$**  (рис. 3,б). Зачеплення заготовки за ребро здійснюється протягом кожних двох періодів коливань

транспортера.

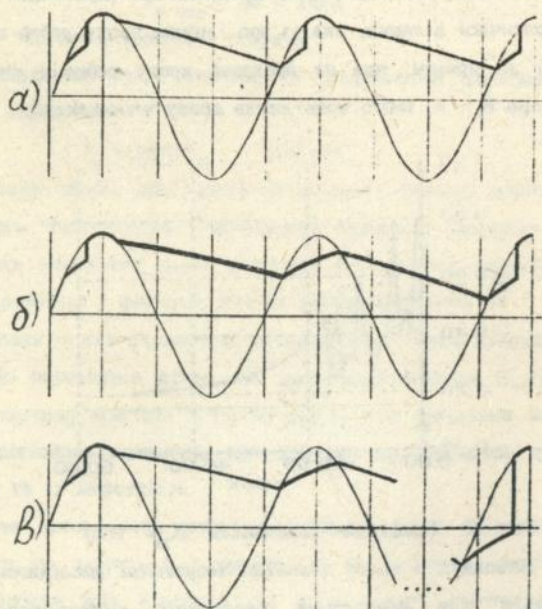


Рис. 3. Графіки швидкостей лотка і заготовки.

Р е ж и м  $r = n$  (рис. 3, а). Зачеплення заготовки за ребро здійснюється протягом кожних  $n$  періодів коливань транспортера.

В дальнішому ці режими позначаються:  $r_1$ ;  $r_2$ ; ...  $r_n$ . З цього ж рисунку видно, що чим більше буде значення режиму  $r$ , тим меншою буде середня швидкість руху заготовки, а при  $r = \infty$  зачеплення заготовки за ворсинки не відбувається.

В цьому ж розділі визначаються області існування режимів та проводиться перевірка їх стійкості (приведено критерій стійкості)

На рис 4 зображено графічну залежність  $K_{III} = f(r)$  при  $A$

1мм,  $\alpha = 0$ ,  $f_{\ast} = 0.2$  і  $f_{\ast} = 0.25$  (сталеві ребра або ворс - суцільна лінія) та  $f_{\ast} = 0.65$  і  $f_{\ast} = 0.7$  (гумова пилоподібна стрічка - штрихова лінія) для  $\nu = 50$  Гц. Прямими лініями зображено відповідні залежності при  $\rho = \infty$

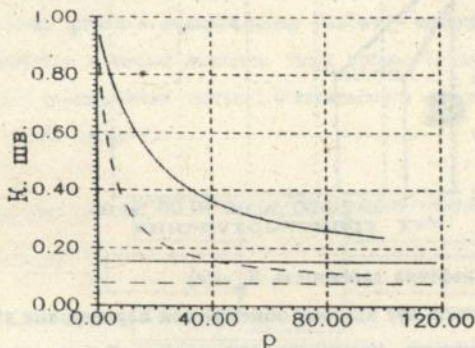


Рис. 4. Графічна залежність  $K_{шв} = f(\rho)$

Як видно із графіка, коефіцієнт швидкості (середня швидкість заготовки) із зростанням значення режиму  $\rho$  зменшується. Велика різниця коефіцієнтів швидкості при  $\rho = 1; 2; 3 \dots n$  і  $\rho = \infty$  (не враховування умови зачеплення заготовки з ребром (ворсинками)) вказує на суттєвий вплив жорсткості і оптимального кроку ребер. Режим  $\rho_{\infty}$  існуватиме тоді, коли величина прогину ворсинок не достатня для їх зачеплення з заготовкою.

Як видно із рис. 5, збільшення кута підйому  $\alpha$  приводить до зменшення коефіцієнта швидкості, причому для режиму  $\rho_1$  кут підйому нічим не обмежений, оскільки для будь якого  $\alpha$  можна визначити область існування режиму  $\rho_1$ . На практиці реалізація цього (і інших) режиму не завжди можлива із-за геометричних параметрів заготовки (перевертання при певному куті підйому), а також необхідної точності виготовлення ворсового (ребристого) покриття, оскільки кожне ребро повинно

розміщуватися в середині області існування того чи іншого режиму.

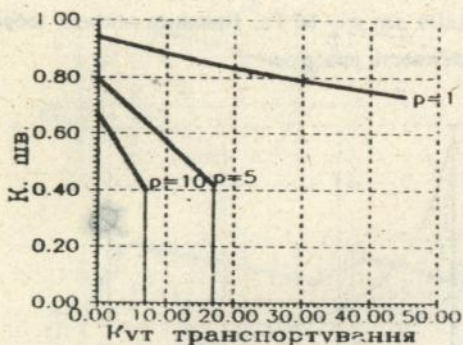


Рис. 5. Графічна залежність  $K_{шв.}=f(\alpha)$

Для інших режимів кут підйому обмежується параметрами вібраційного транспортера. Наприклад при режимі  $\rho 5$  (рис. 5)  $\alpha_{max} = 17^\circ$ . Це означає що режим  $\rho 5$  при  $\alpha = 18^\circ$  неможливий, оскільки загостка, втрачаючи кінетичну енергію надану їй ребром на етапі розгону здійснює чотири цикли з позитивним сумарним переміщенням відносно лотка, зупиняється на п'ятому циклі і в дальніших циклах переміщується назад до того ж ребра, від якого почала рух.

В роботі (в додатках) приведено емпіричні формули (апроксимовані графічні залежності) для практичного визначення області існування того чи іншого режиму  $\rho$ , значення максимального кута транспортування  $\alpha_{пр}$  і коефіцієнта швидкості  $K_{шв.}$  при різних параметрах роботи вібротранспортера ( $A = 1$  мм,  $\nu = 25$  і  $50$  Гц) і анізотропного покриття (сталь по сталі і сталі по гумі)

В даній роботі, аналогічні дослідження проводились і для півхвильового транспортера. Якщо лоток вібротранспортера виконати із двох частин (рис. 6), які здійснюють гармонійні

антифазні коливання, то накладання обох хвиль на графіку швидкостей лотків і заготовки приводять до того, що крива швидкості переходить з однієї половини хвилі на іншу (здійснює півхвильові коливання), що стало передумовою виникнення назви транспортера – півхвильовий. При гармонійних антифазних коливаннях лотків в поздовжньому напрямі, заготовка взаємодіє одночасно з двома лотками, тому процес її вібропереміщення по анізотропних лотках, півхвильового транспортера має дещо інший характер.

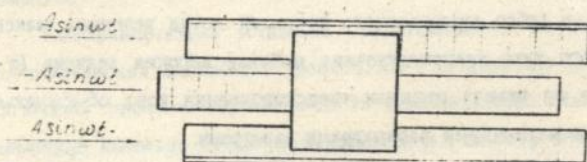


Рис. 6. Схема півхвильового транспортера

Аналіз етапів вібропереміщення заготовки по півхвильовому вібротранспортері та їх порівняння з аналогічними етапами повнохвильового транспортера вказує на те, що введення другого антифазного лотка може мати двоякий характер, тобто на одних режимах середня швидкість заготовки може бути вищою від аналогічних режимів повнохвильового транспортера, і навпаки, можуть існувати режими, на яких вона буде нижчою.

Аналізуючи результати розроблених математичних моделей процесу вібропереміщення заготовки по анізотропному лотку повно та півхвильового вібраційного транспортера з поздовжніми гармонійними коливаннями, встановлено

1. Конструювання вібротранспортерів даного типу без врахування оптимальної жорсткості та кроку ворсу чи ребер анізотропного покриття приводить до їх низької ефективності

$$(K_{\text{м}} \leq 0,2)$$

2. Встановлення оптимальної жорсткості та кроку ворсу чи ребер анізотропного покриття приводить до підвищення середньої швидкості руху заготовки понад чотири рази ( $K_{ш} = 0.8$ ), що робить їх ефективними не тільки для транспортування заготовок з ріжучими звичайну поверхню задирками, але й для транспортування будь-яких інших поштучних тіл.

3. Вплив другого лотка півхвильового транспортера на рух заготовки при її транспортуванні під кутом до горизонту робить його менш ефективним відносно повнохвильового.

4. Завдяки оптимальним параметрам жорсткості і кроку ворсу чи ребер анізотропного покриття лотка величина максимального кута транспортування набуває високих значень ( $\alpha \geq 30^\circ$ ), а на певних режимах транспортування вона обмежується лише геометричними параметрами заготовки.

5. При певних параметрах роботи півхвильового вібро-транспортера ефективне переміщення заготовки ( $K_{ш} = 0.6$ ) відбувається навіть у випадку, коли сила тертя є більшою від сили інерції.

У третьому розділі описано експериментальні дослідження процесу вібраційного транспортування заготовки по анізотропній поверхні лотка повно- та півхвильового вібро-транспортера та ВБЖ.

Для порівняння ефективності досліджуваного способу вібропереміщення приведено аналогічні залежності інших, широко розповсюджених, способів, а саме:

- при еліптичних траєкторіях коливань лотка;
- при прямолінійних траєкторіях лотка, які розташовані під кутом до напрямку транспортування.

Експериментальні роботи проводились з метою виявлення оптимальних значень параметрів покриття лотка ( крок ребер та їх жорсткість) для певних режимів роботи транспортера та

оцінки ефективності режимів і для встановлення адекватності математичної моделі реальному фізичному процесу вібропереміщення заготовки по анізотропній поверхні лотка транспортера.

Проведено попередні експериментальні дослідження коефіцієнтів тертя сталевих заготовок по гумовій ребристій поверхні та приведено відомі значення коефіцієнтів тертя сталевих заготовок по сталевому ворсу. Показано складну залежність коефіцієнтів тертя від ряду конструктивних параметрів покриття.

Експериментальна установка - повнохвильовий вібраційний білярезонансний двомасовий транспортер з незалежним електромагнітним приводом вертикальної та горизонтальної складових амплітуди коливань лотка. В залежності від способу живлення електромагнітів транспортера, робочий орган останнього - лоток, може мати слідуючі траєкторії коливань.

- еліптичну, при живленні обох приводів змінними напруженнями, які зсунуті між собою на кут  $\epsilon = 90^\circ$  за допомогою лабораторного фазорегулятора;

- прямолінійну під кутом  $\beta$  до кута транспортування, де величина кута  $\beta$  залежить від відношення вертикальної і горизонтальної складових амплітуди коливання лотка і може змінюватися в широких межах ( $\epsilon = 0^\circ$ );

- прямолінійну, паралельну до кута транспортування ( $\beta = 0^\circ$ ). Частота коливань лотка у всіх випадках становить 50 Гц, максимальне значення вертикальної складової амплітуди коливань лотка становить 0,1 мм, що забезпечує роботу транспортера в безвідривному режимі, а похвильової - 17 мм, що зумовлено величиною повітряного проміжку в електромагнітному приводі (8 - 4 мм) та відношенням мас транспортера

Для порівняння ефективності процесу вібропереміщення

заготовки по анізотропній поверхні лотка повнохвильового вібротранспортера, який коливається тільки в поздовжньому напрямі, дослідження проводились також на транспортері з прямолінійними коливаннями під кутом  $\beta$  до напрямку транспортування і еліптичною формою коливань з оптимальним зсувом фаз ( $\epsilon = 100^\circ$ ) при параметрі перевантаження  $\xi = 1$  (безвід- ривний режим вібропереміщення).

Для визначення ефективності кожної форми коливань експериментальні дослідження проводились на одному і тому ж анізотропному гумовому покритті лотка і для одних і тих же заготовок.

Проведені дослідження показують, що найбільш ефективним способом транспортування важких заготовок є прямолінійні коливання лотка паралельно до кута транспортування (відсутність вертикальної складової амплітуди коливань). Для оцінки впливу величини кроку і виявлення його оптимального значення проводився експеримент із зміною амплітуди коливань лотка при незмінних його інших параметрах, оскільки, як встановлено в теоретичні частині роботи, оптимальне значення кроку лежить між  $S_{\phi}$  і  $S_{\psi}$ , які є функціями  $A$ ,  $\omega$ ,  $\alpha$ ,  $f_{\phi}$ ,  $f_{\psi}$ .

На рисунку 7 приведено експериментальну залежність  $K_{\text{ш}} = f(A)$  (заготовка № 1) при  $\alpha = 0$ ;  $\nu = 50$  Гц. Як видно із графіка, збільшення амплітуди коливань лотка приводить до збільшення величини коефіцієнта швидкості  $K_{\text{ш}}$ , який, досягнувши свого максимального значення при  $A = 1.22$  мм, зменшується при  $A = 1.42$  і при подальшому збільшенні амплітуди знову зростає. Отже величина кроку  $K = 5$  мм. є оптимальною для даних параметрів транспортера і заготовки при  $A = 1.22$  мм. На цьому ж графіку приведено аналогічні теоретичні залежності  $\text{teor}1$  і  $\text{teor}2$ . Графічна залежність  $\text{teor}2$ , на відміну від  $\text{teor}1$ , враховує вплив ребер (ворсинки)

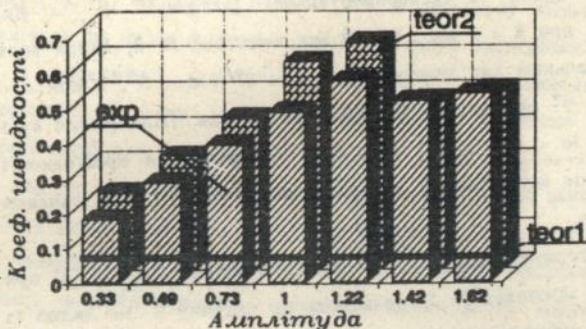


Рис. 7. Експериментальна та теоретична залежності  $K_{\text{ш}}=f(A)$  анізотропного покриття і є набагато ближчою до експериментальної, що вказує на значний вплив кроку ребер на процес вібропереміщення заготовки.

Оскільки, як відмічається в роботі, основними чинниками ефективності процесу вібропереміщення заготовки по ребристій (ворсовій) поверхні лотка є оптимальний крок ребер ( $\text{ворсу}$ ) та їх жорсткість, а величина оптимального кроку є функцією від  $A$ ,  $\omega$ ,  $f_{\text{в}}$ ,  $f_{\text{ш}}$ ,  $\alpha$ , то кут транспортування заготовки  $\alpha$  також буде впливати на величину оптимального кроку, а отже і на ефективність процесу вібропереміщення заготовки.

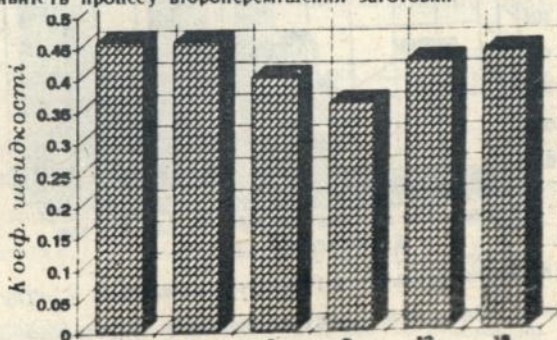


Рис. 8. Експериментальна та теоретична залежності  $K_{\text{ш}}=f(\alpha)$

Як видно із експериментальної залежності  $K_{\text{ш}} = f(\alpha)$  (рис. 8), при  $A = 1$  мм,  $K = 5$  мм, заготовка № 2, даний крок є оптимальним для значень кутів  $\alpha = 0^\circ$  і  $\alpha = 3^\circ$ , а при  $\alpha = 6^\circ$  і  $\alpha = 9^\circ$  ефективність процесу знижується. Підвищення кута підйому ( $\alpha = 12^\circ$  і  $15^\circ$ ) приводить до зростання ефективності за рахунок встановлення кратного, для  $\alpha = 0^\circ$  і  $3^\circ$ , значення режиму  $p$ .

Експериментальна та теоретична залежності  $K_{\text{ш}} = f(A)$  при  $\alpha = 9^\circ$ , заготовка № 1, приведена на рисунку 9. Як видно із рисунка, вібропереміщення заготовки до величини амплітуди  $A = 0.65$  мм не здійснюється. Це зумовлено тим, що переміщення заготовки, яка відштовхнулася від розташованого позаду ребра, є недостатнім для того, щоб заготовка, за рахунок кінетичної енергії, наданої їй ребром, перемістилася на відстань, яка є більшою величини кроку і отже вона, здійснивши декілька циклів в напрямі транспортування, повертається назад, до цього ж ребра.

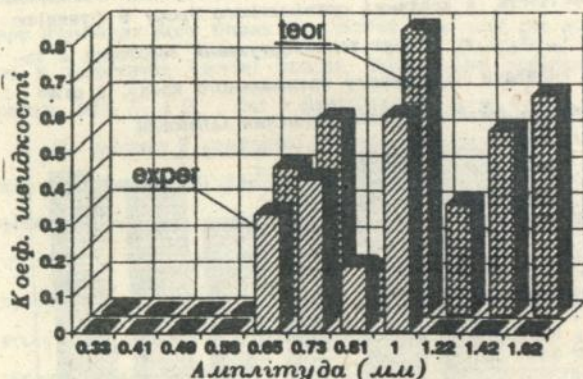


Рис. 9. Експериментальна та теоретична залежності  $K_{\text{ш}} = f(A)$

Подальше збільшення амплітуди приводить до встановлення певного режиму транспортування заготовки, який дещо відрізняється від теоретичного при оптимальних значеннях амплітуди і

кроку ( $A = 1$  мм і  $K = 5$  мм) і при подальшому збільшенні амплітуди ця різниця зникає зовсім. Різниця експериментальної і теоретичної залежностей пояснюється невідповідністю жорсткості покриття даній заготовці, тобто зростання сили інерції заготовки приводить до того, що ребра, підминаючись під неї, не чинять їй достатнього опору. Збільшення величини прогину ребер (маси заготовки при незмінній площі контакту) при транспортуванні заготовки № 2 приводить до покращання процесу вібропереміщення заготовки, ефективність якого, з цієї ж причини, на оптимальних значеннях амплітуди коливання лотка і кроку його покриття, є меншою від теоретичної лише на 10 - 15 %. Подальше збільшення маси заготовки приводить до зростання ефективності процесу вібропереміщення.

Аналогічні експериментальні дослідження проводились для півхвильового вібротранспортера з частотою 25 Гц і максимально можливою амплітудою коливань 1.5 мм. На обидва його лотки наклеювалось теж саме, що і в попередньому випадку, анізотропне покриття.

Аналогічні роботи також проводились з вібраційним бункерним живильником (ВБЖ) з середнім діаметром бункера (лотка)  $d = 300$  мм, частотою 50 Гц і максимально можливою амплітудою коливань 8 мм.

На основі аналізу експериментальних залежностей встановлено

1 Розроблені та реалізовані на ЕОМ математичні моделі, для дослідження процесу вібраційного переміщення заготовки по анізотропній поверхні покриття лотка повно- та півхвильового транспортера, є адекватними реальному фізичному процесу.

2 Величина коефіцієнта тертя заготовки по гумовій пілоподібній поверхні покриття лотка в напрямі її транспорту-

вання ( $f_{*}$ ) залежить від сили контактного тиску заготовки на цю поверхню в нормальному напрямі, а величина коефіцієнта тертя в зворотньому до транспортування напрямі ( $f_{*}$ ) – від сили контактного тиску на торцьє ребра покриття, що в поєднанні з величиною кроку ребер цього ж покриття не дозволяє розглядати заготовку як матеріальну точку.

3. Ефективність процесу вібропереміщення заготовки (коефіцієнт її швидкості  $K_{ш}$ ) залежить як від абсолютних значень коефіцієнтів тертя, так і від їх відношення; жорсткості та кроку анізотропного покриття лотка; відношення жорсткості ребра в напрямі дії сили інерції заготовки до величини цієї сили, а також робочих параметрів вібраційного транспортера, що створює необхідність проектування анізотропного покриття лотка для конкретного типу заготовок.

У четвертій частині розглянуто особливості конструювання повно- та півхвильових вібротранспортерів і ВБЖ, анізотропного покриття їх робочих органів та розроблено рекомендації щодо проектування.

Показано, що розрахунок ребер (ворсинок) анізотропного покриття лотка на жорсткість та міцність необхідно здійснювати з врахуванням динамічного характеру сили інерції заготовки, а відсутність вертикальної складової амплітуди коливань вібраційного бункерного живильника та повно- і півхвильового вібротранспортерів, у випадку анізотропного покриття лотків, приводить до покращення їх техніко-економічних характеристик, при високій ( $K_{ш} \geq 0.6$ ) ефективності транспортування.

У заключній частині зроблено висновки по дисертаційній роботі та проведено аналіз теоретичного і практичного значення одержаних результатів.

В додатках приведені програми розрахунків основних по-

казників та залежностей, емпіричні формули апроксимованих графічних залежностей, а також представлено документи про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Основні результати можна сформулювати слідуючим чином

1. Розроблені та реалізовані на ЕОМ математичні моделі процесу вібропереміщення заготовок по анізотропному покритті лотка повно- та півхвильового вібротранспортера і ВБЖ дозволяють, з достатньою точністю та мінімальними затратами часу, визначати ефективність процесу вібротранспортування заготовок на необхідних режимах роботи транспортера (ВБЖ) та оптимальні конструктивні параметри анізотропного покриття лотка

2. Одержано залежність ефективності процесу вібротранспортування від режимів роботи транспортера та конструктивних параметрів анізотропного покриття лотка. В результаті досліджень встановлено, що на процес вібраційного транспортування впливають як абсолютні значення відношення сил інерції до сил тертя, які періодично діють на заготовку в прямому та зворотньому до транспортування напрямках, так і їх різниця, а також величини кроку між ворсинками (ребрами) покриття та їх жорсткість, причому вплив останніх має яскраво виражений домінуючий характер ( $K_{ш} \geq 0.8$  проти  $K_{ш} \leq 0.2$ )

3. Встановлення оптимального кроку та жорсткості покриття лотка забезпечує ефективне ( $K_{ш} \geq 0.8$ ) транспортування заготовки при відсутності вертикальної складової амплітуди гармонійних коливань лотка, що дозволяє знизити рівень шуму, масово-інерційні характеристики конструкцій (особливо ВБЖ з великим (більше 0.5 м) діаметром бункера та транспортерів, довжина яких рівна 2 м і більше) і їх собівартість

4. Встановлено, що завдяки оптимальному поєднанню конструктивних параметрів анізотропного покриття лотка (кроку та жорсткості), заготовки та режимів роботи вібротранспортера

величина максимального (граничного) кута транспортування обмежується лише геометричними параметрами заготовки, тобто величиною кута, при якому остання перевертається через розташоване позаду неї ребро при їх взаємодії. А при певних параметрах півхвильового вібротранспортера ефективне ( $K_{ш} = 0.6$ ) транспортування заготовки відбувається навіть у випадку, коли сила тертя є більшою від сили інерції.

5. Показано, що режими вібропереміщення заготовки по анізотропному покритті лотка можуть бути нестійкими, а також визначено області стійкості цих режимів.

6. Приведено рекомендації щодо конструювання анізотропного покриття лотка та конструкцій повно- та півхвильових вібраційних транспортерів і ВБЖ з електромагнітним приводом, робочі органи яких здійснюють гармонійні коливання тільки в поздовжньому напрямі.

7. Експериментальні дослідження підтверджують правильність теоретичних висновків і прийнятих допущень.

8. Методика розрахунків та конструювання повно- та півхвильових вібраційних транспортерів і ВБЖ з анізотропним покриттям робочих органів, які здійснюють гармонійні коливання тільки в поздовжньому напрямі, впроваджена на ПКІ Конвейєробудування /м. Львів/.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Новицкий Я.М. Оптимизация параметров ворсового покрытия вибротранспортеров. – Тезисы докладов 2-й международной научно-технической конференции “Применение колебаний в технологиях: расчет и проектирование машин для реализации технологий”. Винница. ВСХИ, 1994.

2. Новицкий Я.М. Півхвильовий вібротранспортер з анізотропною поверхнею. – Тези доповідей 1-го міжнародного сим-

позіуму українських інженерів - механіків у Львові. Львів ЛПІ, 1993 с 306

3 Повідайло В.О., Новіцький Я.М. Півхвильовий вібраційний транспортер з поздовжніми гармонічними коливаннями анізотропних робочих органів. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Вид-во Львівського університету, 1994, вип.32.

4 Повідайло В.О., Новіцький Я.М. Півхвильовий вібраційний транспортер з спрямованими гармонічними коливаннями. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Вид-во Львівського університету, 1993, вип.31.

5. Повідайло В.А., Новицкий Я.М. Повышение эффективности вибротранспорта с анизотропными поверхностями - Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Совершенствование и развитие отделочно-зачистной, финишной и поверхностно-пластической обработки деталей". Винница. ВСХИ. 1992.

6. Повідайло В.А., Новицкий Я.М. Полуволновые вибротранспортеры с ворсовыми рабочими поверхностями - Тезисы докладов 2-й международной научно-технической конференции "Применение колебаний в технологиях расчет и проектирование машин для реализации технологий". Винница ВСХИ, 1994

7. Повідайло В.О., Новіцький Я.М., Шоловій Ю.П. Автоматичне орієнтування довгих конічних деталей. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Вид-во Львівського університету, 1992, вип. 30, с 51 + 53

8. Повідайло В.О., Сорочак О.З., Новіцький Я.М. Вибротранспортування штучних виробів по анізотропній поверхні. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Вид-во Львівського університету, 1994,

вип. 32.

9. Поведайло В.О., Шоловій Ю.П., Новицький Я.М. Гнучкі вібраційні транспортно-орієнтуючі модулі. - Тези республіканської науково-технічної конференції "Автоматизація і діагностика технологічних процесів", Луцьк, 1990.

Yaroslav Novitskiy. Improvement of vibrator's pile conveyor system efficiency.

Dissertation presenting thesis for a candidate's degree in speciality 05.13.07 - Automatization of technological processes and industries, State University "Lvivska politechnica", Lviv, 1994.

Present theoretic and experimental work of vibrator conveyor system, which make move bodies on the pile surface vibrating parallelly of slope. Optimal combination of pile surface parameters and working conditions of conveyor system improves efficiency of transportation process and reduce of machine cost.

Новицький Я.М. Повышение эффективности вибротранспортеров с анизотропной поверхностью.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - Автоматизация технологических процессов и производств, Государственный университет "Львівська політехніка", Львов, 1994.

Защищаются теоретические и экспериментальные исследования процесса вибрационного перемещения твердого тела по анизотропной (ворсовой и ребристой) поверхности лотка вибротранспортера совершающего гармонические прямолинейные (как обыкновенные, так и полуволновые) колебания параллельно углу наклона. Установлено, что оптимальное совмещение жесткости и

шага ворсовой поверхности лотка с рабочими параметрами вибротранспортера приводит к значительному увеличению коэффициента скорости и угла транспортирования при отсутствии вертикальной составляющей амплитуды колебаний лотка, что в свою очередь приводит к уменьшению уровня шума, массово-инерционных характеристик конструкций и их себестоимости. Осуществлено промышленное внедрение методики расчетов и конструирования вибрационных транспортеров и питателей.

Ключові слова: процес вібропереміщення, ефективність вібротранспортування, режими, області існування та стійкості, коливання, фазові кути, коефіцієнт швидкості

Підп. до друку 20.05.94. Формат 60x84<sup>1/2</sup>.  
Папір друк. № 2. Сфс. друк. Умовн. друк. арж. 12  
Умовн. фарб.-відб. 12 Умовн. видав. арж. 12  
Тираж 100 прим. Зам. 475. Безцукор

ДУЛП 290646 Львів-13, Ст. Бандери, 12

Дізниця оперативного друку ДУЛП  
Львів, вул. Городоцька, 200

AB 30.826

**AB 30.826**

*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]*