

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису
УДК 621. 867. 42. 001. 24

РОГАТИНСЬКИЙ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ

ОСНОВИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ГВИНТОВИХ
КОНВЕЙЕРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Спеціальність 05. 20. 04 — Сільськогосподарські і гідромеліора-
тивні машини

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль, 1993

076 27.343
Робота виконана в Тернопільському приладобудівному інституті.

Науковий керівник — доктор технічних наук,
професор, академік АІН
Гевко Б. М.

Офіційні опоненти — доктор технічних наук,
професор Панченко А. М.,
кандидат технічних наук,
доцент Нагірний Ю. П.

Провідна організація — в/о «Конвейер», м. Львів.

Захист відбудеться «25» травня 1993 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої ради К068.50.01 по захисту дисертацій на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук при Тернопільському приладобудівному інституті за адресою: 282001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту за адресою: 282001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Відгук на автореферат в двох примірниках, завірених гербовою печаткою, просимо надіслати в спеціалізовану раду за вказаною адресою.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00814209 (O)

15.6.1993

1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
к. т. н.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ПІДГУРСЬКИЙ М. І.

Актуальність проблеми. Тенденції розвитку гвинтових механізмів, в т.ч. і конвейерів полягають у збільшенні продуктивності, зменшенні матеріаломісткості і енергоємності, підвищенні довговічності і надійності, а також розширенні функціональних можливостей шляхом поєднання транспортуючої функції з розмішуванням, сепарацією, подрібненням, пресуванням, і т.д.

Відомі методики проектування гвинтових транспортерів побудовані, в основному, на використанні табличних значень і емпіричних залежностей і не в повній мірі відповідають поставленим вимогам. Відсутні загальні оптимізаційні моделі гвинтових конвейерів, недостатньо використані також і можливості самих гвинтових механізмів. Тому актуальним при проектуванні нових високоефективних гвинтових конвейерів є розробка адекватних математичних моделей процесів транспортування, розробка та рішення відповідних оптимізаційних задач, реалізація питань керування режимами транспортування конструкторськими та технологічними методами на основі детального кінематичного аналізу гвинтових механізмів і їх синтезу.

Робота виконана у відповідності з координаційним планом важливих науково-дослідних робіт ВУЗів на 1985- 1990 рр і у відповідності з Українською державною програмою виробництва машин і технологічного обладнання для сільськогосподарської, харчової, і переробної промисловості 1992 р.

Мета роботи. Розробка, дослідження та оптимізація гвинтових конвейерів з розширеними технологічними можливостями, впровадження комплексу наукових і практичних рекомендацій по їх оптимальному проектуванню.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження ґрунтувались на методах диференціальної геометрії, аналітичній механіки, основах теорії ситуативних середовищ. Експериментальні дослідження проводились з використанням методів теорії подібності і моделювання, оптимального планування експерименту, статистичного аналізу, тензометрії, швидкісної кінематики. Для побудови оптимізаційної моделі використовувались умови Куна-Таккера та прями методи пошуку зони оптимуму.

При рішенні задач синтезу нових конструкцій гвинтових кон-

вейерів використовувались елементи векторного аналізу та сучасні методи пошуку нових технічних рішень.

Наукова новизна. Досліджено процес транспортування силових матеріалів в нестационарних гвинтових конвейерах. Виведені залежності для визначення середньої осьової швидкості транспортування, продуктивності та енергосилових параметрів. Запропонований графо-аналітичний метод кінематичного розрахунку швидкохідного конвейера.

Розроблені технологічні основи вибору конструктивних параметрів гвинтових конвейерів.

Побудована оптимізаційна модель гвинтового конвейера, що включає цільову функцію по експлуатаційних витратах і технологічній собівартості, а також обмеження на зміну незалежних функціональних і конструктивних параметрів. Рішена в загальному вигляді нелінійна задача оптимізації гвинтових конвейерів.

Проведений структурно-кінематичний аналіз гвинтових конвейерів, визначені основні напрямки синтезу нових конструкцій гвинтових конвейерів з розширеними технологічними можливостями.

Розроблена інженерна методика визначення оптимальних експлуатаційних і конструктивних параметрів гвинтових конвейерів.

Практична цінність. Реалізація роботи. На базі теоретичних і експериментальних досліджень розроблені оптимальні конструкції гвинтових конвейерів, в т. ч. з широкострічковими спіралями та витим жолобом, із збільшеною на 15...20% продуктивністю. Розроблені нові конкурентноздатні конструкції гвинтових конвейерів, очисників, сортувальників, викопувачів та інших гвинтових механізмів. Технічні рішення по гвинтових механізмах захищені 20 авторськими свідоцтвами і патентами.

Використання методики проектування гвинтових конвейерів на основі аналізу і розв'язку побудованої оптимізаційної моделі дозволяє в середньому скоротити їх металемісткість на 15...20% і енергосмісткість на 5...10%.

Розроблені технологічні засоби досягнення оптимальних конструктивних параметрів спіралей шнеків і нові способи та пристрої для формування спіралей, а також допоміжна оснастка, які захищені 21 авторськими свідоцтвами та патентами.

Результати розробок використовуються на підприємствах Тернопільського обласного промислу, в/о ТКЗ м. Тернополя, СПКБ м. Стрия, в/о "Веда" м. Києві, Хмельницькому ремонтно-експериментальному

заводі, Тересовлянському комбінаті хлібопродуктів, а також на підприємствах Брянська, Орла, Пятигорська, Пермї, Казанї, Находки, Вятки, та інших міст. Робочі креслення на гвинтові транспортери, виконавчі органи, а також на технологію їх виготовлення передані 34 підприємствам України і інших країн Схід. Сумарний економічний ефект від впровадження розробок до 1991 року склав 420 тис. крб.

Об'єм і структура роботи. Робота складається із вступу, шести розділів, заключення, викладених на 190 сторінках машинописного тексту, включає 68 рисунки, 8 таблиць, список літератури з 161 назви та додаток.

Апробація. Результати дисертаційної роботи доповідалися на наукових конференціях ТФ ЛПІ (1981-1991 рр), науково-технічних конференціях: "Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні" м. Тернопіль, 1992; "Автоматичне маніпулювання об'єктами і технологічне оснащення в верстатах з ЧПК і ГВС" м. Тернопіль, 1988; "Економічні проблеми ресурсозберігливих і безвідхідних виробництв і використання вторинних ресурсів" м. Донецьк, 1987; "Основні напрямки економії і раціонального використання металу в автотракторомашинобудуванні" м. Челябінськ, 1984; "Шляхи вдосконалення прогресивних процесів і обладнання, що використовуються при обробці металів тиском" м. Барнаул, 1981; "Використання методів поверхнево-пластичної деформації матеріалів в машинобудуванні" м. Владимир, 1961; "Підвищення техніко-експлуатаційних показників машинобудівної продукції конструкторськими і технологічними методами" м. Хабаровськ, 1980.

Публікації результатів. По темі дисертації опубліковано 69 робіт, в т.ч. 1 монографія, 44 авторських свідоцтва і патенти на винаходи.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обгрунтована актуальність завдя побудови і дослідження математичних моделей процесу транспортування вантажів гвинтовими конвеєрами, розв'язку відповідних оптимізаційних задач та розробки інженерної методики розрахунку їх оптимальних техніко-економічних параметрів, а також аналізу і оптимального синтезу гвинтових транспортних механізмів з розширеними технологічними можливостями.

Розділ I. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Даний аналіз стану проблеми розрахунку гвинтових конвейерів взагалі, в тому числі розглянуті питання руху силуючих вантажів у гвинтових конвейерах, проаналізовані сучасні методи постановки і рішення задач по оптимальному проектуванню, розглянуті напрями і шляхи розвитку гвинтових транспортуючих механізмів з розширеними технологічними можливостями.

Теоретичною основою і вихідними даними для досліджень послужили роботи ряду українських вчених і вчених інших країн по теорії переміщення частин'ок по шортких гвинтових поверхнях, по теорії гвинтових конвейерів, проблемах їх проектування і оптимізації техніко-економічних параметрів, а також наукова і патентна література по нових конструктивних і технологічних рішеннях і розширенню областей використання гвинтових конвейерів.

У формування наукових основ теорії проектування гвинтових конвейерів великий вклад внесли М.П. Василенко, М.І.Акімов, А.О. Погорелий, А.А. Омельченко, Х. Герман, А.М. Григор'єв, Б.М. Гевко, Г.В. Корнеев, В.Д. Ткач, М.К. Штуков, Б.М. Гутьяр, І.Е. Груздев, В.І. Янков.

Проблемі визначення параметрів гвинтових конвейерів і режимів їх роботи в залежності від характеристик транспортованого матеріалу присвячені також роботи Р.Л. Зенкова, К.В. Алферова, А.А. Вайнсона, Ю.А. Пертена, Г.А. Хайліса та інших вчених.

Велика увага відведена роботам по розробці теоретичних основ проектування та прогресивних конструкцій гнучких шнеків, шнекових дозаторів, очисників, пресів, та інших гвинтових механізмів, а також по технологічному обґрунтуванню вибору їх оптимальних конструктивних параметрів, по питаннях постановки і розв'язку оптимізаційних задач та основах аналізу і синтезу нових технічних рішень.

Проведений аналіз патентної документації США, Німеччини, Японії, Швейцарії, Франції, Великобританії, Чехословаччини та Євроконтиненту за 10 років і авторських свідоцтв на винаходи СРСР за 20 років.

На основі огляду конструкцій, принципу роботи та методів розрахунку гвинтових конвейерів проведена їх класифікація по принципу транспортування, рис. 1, в якій окремо виділений клас керованих та регульованих конвейерів.

В результаті проведеного аналізу сформульовані такі задачі:

- розробити математичну модель транспортування матеріалів гвинтовими конвейерами, в т.ч. нестационарними, представити зв'язки, що накладаються на вантаж, а також обмеження на зміну експлуатаційних та конструктивних параметрів в аналітичному вигляді;

- дослідити вплив прогресивних методів виготовлення спіралей на вибір конструктивних параметрів гвинтових конвейерів.

- провести аналіз оптимізаційних моделей побудованих на основі використання умов Куна-Таккера і представити їх загальні розв'язки у вигляді методики розрахунку конвейерів;

- провести векторний аналіз руху вантажу і виконавчих органів гвинтових механізмів;

- розробити на основі оптимізаційних моделей і векторного аналізу принципи синтезу нових гвинтових механізмів із заданими властивостями.

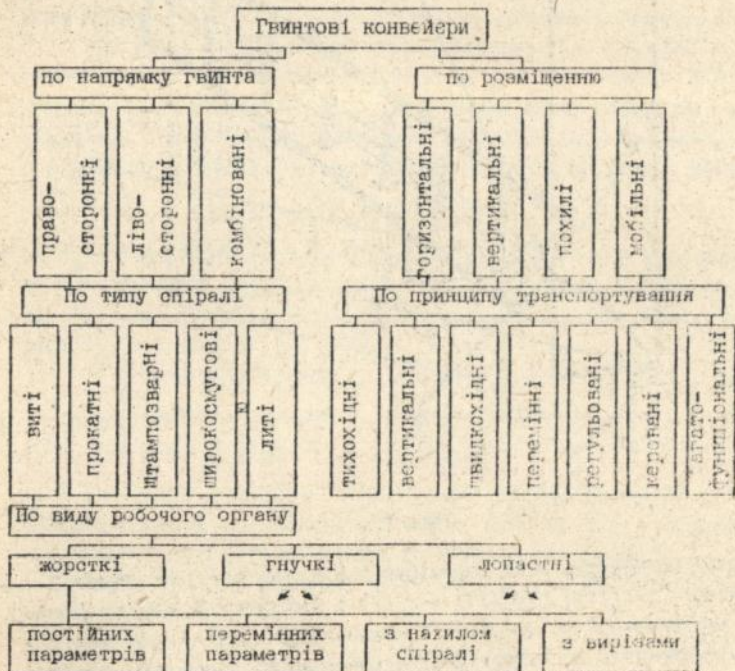


Рис. 1.

Розділ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ
У ГВИНТОВИХ КОНВЕЙЄРАХ.

З метою спрощення розрахунку гвинтового конвейєра (рис.2) розроблена модель графічного розрахунку на основі плану швидкостей і, відповідно, плану прискорень. Особливість її побудови полягає в тому, що кінці векторів (годограф) швидкостей частинки при будь-якому режимі транспортування лежать на прямій, що з'єднує кінці векторів \vec{v}_z - осьової швидкості сліду витка і \vec{v}_τ - колової швидкості спіралі, (рис.3, 4). Нахил цієї прямої до осі $O\varphi$ рівний куту підйому витка α .

Детально проаналізований рух матеріальної частинки в швидкохідному мобільному гвинтовому конвейєрі, рис. 2.

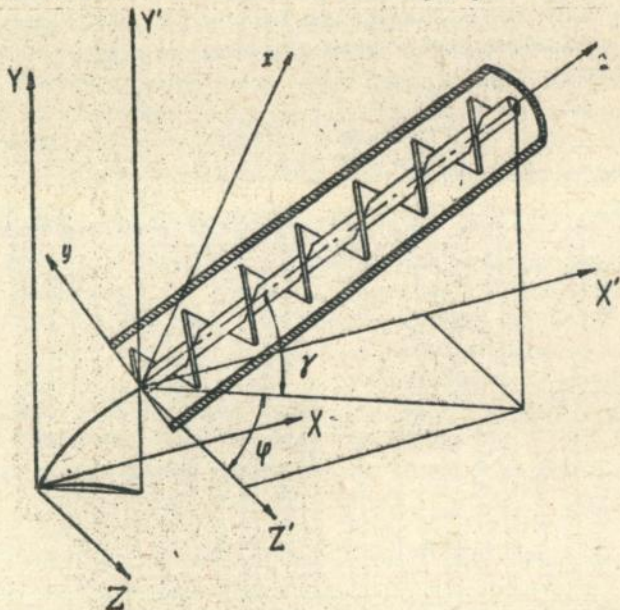


Рис. 2.

Поверхні конвейєра, який переміщується в просторі по заданій траєкторії $x=x_0(t)$; $y=y_0(t)$; $z=z_0(t)$ і має обертовий рух навколо вертикальної осі ($\varphi=\varphi(t)$) і коливальний ($\gamma=\gamma(t)$) у вертикальній площині, і, відповідно, нестационарні голономні зв'яз-

ки, накладені на частинку у загальному випадку описуються такими рівняннями.

Для спіралі:

$$\begin{aligned} x &= x_0(t) + u_1 [\cos \varphi_t \cos(v_1 + \omega t + v_{01}) - \sin \varphi_t \sin \gamma_t \sin(v_1 + \omega t + v_{01})] + \\ &+ v_1 T(v_1) / (2\pi) \cos \gamma_t \sin \varphi_t; \\ y &= y_0(t) + u_1 \cos \gamma_t \sin(v_1 + \omega t + v_{01}) + v_1 T(v_1) / (2\pi) \sin \gamma_t; \quad (1) \\ z &= z_0(t) - u_1 [\sin \varphi_t \cos(v_1 + \omega t + v_{01}) + \cos \varphi_t \sin \gamma_t \sin(v_1 + \omega t + v_{01})] + \\ &+ v_1 T(v_1) / (2\pi) \cos \gamma_t \cos \varphi_t. \end{aligned}$$

Для жолоба:

$$\begin{aligned} x &= x_0(t) + 0,5D_2 [\cos \varphi_t \cos v_2 - \sin \varphi_t \sin \gamma_t \sin v_2] + u_2 \cos \gamma_t \sin \varphi_t; \\ y &= y_0(t) + 0,5D_2 \cos \gamma_t \sin v_2 + u_2 \sin \gamma_t; \quad (2) \\ z &= z_0(t) - 0,5D_2 [\sin \varphi_t \cos v_2 + \cos \varphi_t \sin \gamma_t \sin v_2] + u_2 \cos \gamma_t \cos \varphi_t, \end{aligned}$$

де u_j і v_j - лінійний і радіальний параметри спіралі ($j=1$) та жолоба ($j=2$); $T(v_1)$ - функція кроку; D_2 - діаметр жолоба; ω - кутова швидкість спіралі; φ_{01} - початкове значення параметру φ .

При умові безвідриного транспортування на частинку з параметрами ρ, θ одночасно накладуться зв'язки із сторони спіралі $\theta = v_1 + \omega t + v_{01}$ і жолоба $\rho = 0,5D_2$. Аналітичний опис поверхонь конвейєра і відповідних голономних нестационарних зв'язків, накладених на частинку, дозволяє записати рівняння руху у вигляді

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} N_j - m \ddot{x}_i + G_i = 0, \quad (3)$$

де x_i - координати системи $Oxyz$, $x_i = (x, y, z)$; j - зв'язки накладені на частинку $j=1, 2, \dots, n$; N_j - нормальні реакції j -ої поверхні; G_i - складові зовнішніх сил, прикладених до частинки. Матриця a_{ij} має вигляд

$$a_{ij} = \begin{cases} \sin \theta (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) & - (\cos \theta - \mu_2 \sin \theta) \cos \beta \\ - \cos \theta (\sin \alpha + \mu_1 \cos \alpha) & - (\sin \theta + \mu_2 \cos \theta) \cos \beta \\ \cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha & - \mu_2 \sin \theta \end{cases}, \quad (4)$$

де $\beta = \arctg(Tf_w / (d\theta/dt) - 1) / (\pi D)$ - кут підйому гвинтової траси транспортування, μ_j - коефіцієнт тертя вантажу до відповідної поверхні; α - кут підйому гвинта по зовнішньому діаметру D .

Диференціальне рівняння руху частинки для стаціонарного швидкохідного конвейєра

$$\begin{aligned} (T^2 + \pi^2 D^2)^{1/2} \cos \alpha \cdot d^2 \theta / dt^2 + \mu_2 [\pi D (d\theta/dt)^2 - 2\pi g \sin \theta \cos \alpha] \cdot \\ \cdot \cos(\beta - \alpha - \varphi) + 2\pi g \sin \gamma \sin(\beta + \varphi) + \cos \theta \cos \gamma \cos(\alpha + \varphi) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\varphi = \arctg m$$

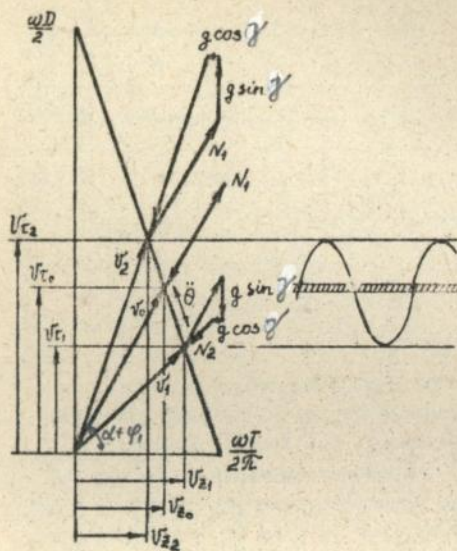


Рис. 3.

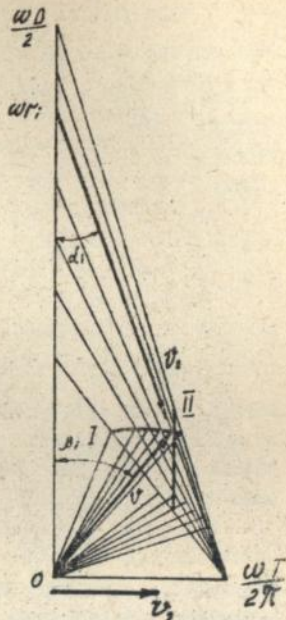


Рис. 4.

Для похилого конвейера $\gamma \neq 0$; $dQ/dt \neq const$; $d^2Q/dt^2 \neq const$; $\beta \neq const$ і при усталеному режимі транспортування, в першому наближенні, кутова швидкість колового руху частинки $\omega_A = \omega_0 (1 + (\Delta\omega/\omega_0) \cos(\omega_0 t) + (\Delta\omega^2 / (2\omega_0^2 - \Delta\omega^2)) \cos(2\omega_0 t))$, де ω_0 - середня кутова швидкість по періоду; $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$; $\Delta\omega$ - амплітуда коливання значення dQ/dt в часі. Крайні значення кутів β , які відповідають ω_1 і ω_2 визначаються графічно чи по ітераційній залежності

$$\beta_{1,2j} = \beta_0 \pm \arcsin \left[\frac{2g \cos(\alpha + \varphi_1 \pm \gamma) \sin^2(\alpha + \beta_{1,2(j-1)})}{\mu_2 D \omega_{1,2}^2 \cos^2 \beta_{1,2(j-1)} \sin \alpha} \right]. \quad (6)$$

Відповідно осьова швидкість транспортування для похилого конвейера

$$v_z = \frac{\omega T}{2\pi} \left[\frac{tg \beta_1}{tg \alpha + tg \beta_1} + \frac{tg \beta_2}{tg \alpha + tg \beta_2} \right]. \quad (7)$$

Для мобільних гвинтових конвейерів рівняння руху приймає вигляд.

$$\begin{vmatrix} a_{x1} & a_{x2} & mR(-\cos(d\theta/dt))^2 - \sin\theta d^2\theta/dt^2 I - G_x \\ a_{y1} & a_{y2} & mR(-\cos(d\theta/dt))^2 - \sin\theta d^2\theta/dt^2 J - G_y \\ a_{z1} & a_{z2} & mI/(2\pi)d^2\theta/dt - G_z \end{vmatrix} = 0, \quad (8)$$

$$\text{де } G_x = m\ddot{x}_0 + 0,5 m v_z \cos\gamma \dot{\phi} + m z_a \cos\gamma \ddot{\phi};$$

$$G_y = -mg \cos\gamma + m\ddot{y}_0 + 0,5 m v_z \cos\gamma \dot{\gamma} + m z_a \sin(2\gamma) \dot{\phi}^2 + m z_a \ddot{\gamma};$$

$$G_z = -mg \sin\gamma + m\ddot{z}_0 + m z_a \cos^2\gamma \dot{\phi}^2 + m z_a \dot{\gamma}^2;$$

$$z_a = T(\omega t - \theta)/(2\pi); v_a = T(\omega - d\theta/dt)/(2\pi).$$

Показано, що для розрахунку параметрів руху матеріальної точки в нестационарному конвейєрі використовуються ті ж залежності, що для нестационарного із введенням коефіцієнтів приведення.

Поширення основних закономірностей руху матеріальної частинки на суцільний потік вантажу здійснювали при наступних допущеннях.

1. Вантаж транспортується в безвідривному режимі по відношенню до поверхонь робочих органів конвейєра.
2. Коефіцієнт його внутрішнього тертя більша зовнішнього.
3. Вантаж транспортується у силовому полі з незмінним знаком градієнту.

Варіанти розподілу швидкостей по глибині потоку для моделей пошарового руху силучого вантажу (I) і у вигляді квазітвердого тіла (II) показані на рис. 4.

Теоретичний аналіз дозволяє встановити аналогію руху вантажу і руху частинки у гвинтовому конвейєрі з приведеним діаметром жолоба $D_{ж}^{пр} = 2\rho_1$ де ρ_1 радіус інерції потоку, $\rho_1 = k_p(1 + \sqrt{1 - \varphi_0})D/4$. На цій основі виведена залежність для визначення продуктивності горизонтального швидкостідного конвейєра

$$Q = k_v D^3 \omega \varphi_0 (1 + \sqrt{1 - \varphi_0}) \sin\alpha_p (\cos\alpha_p + \mu_1 \sin\alpha_p) / 16, \quad (9)$$

де k_v - коефіцієнт зміни осевої швидкості; α_p - кут нахилу гвинтової лінії з радіусом ρ_1 . Для похилих конвейєрів визначення продуктивності проводиться на основі залежності (9).

Потужність транспортування вантажу визначається по залежності $N = k_N g \rho_g Q (H + \omega L)$, де k_N - приведений коефіцієнт втрат; ρ_g - об'ємна вага вантажу; ω - коефіцієнт питомих енерговитрат на транспортування вантажу.

$$\omega = \frac{N}{QL} = g \sin\alpha + \frac{\mu_2 r_3 \omega_0^2}{\sin\beta} \left[1 + \frac{\mu_1 \sin(2\beta_c)}{\sin^2\alpha + \mu_1 \cos(2\alpha)} \right], \quad (10)$$

На основі виведених залежностей сформульовані експлуатаційні обмеження, які накладаються на процес транспортування і використовуються в оптимізаційних моделях. Залежність (10) із врахуванням відповідних експериментальних даних складає основу цільової функції по експлуатаційних витратах.

Розділ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

Відмічено, що якість відпрацювання гвинтових робочих органів на технологічність, зокрема по таких основних її кількісних показниках, як собівартість виготовлення, матеріаломісткість і трудоемність, визначають вихідний рівень цільової функції. Крім цього, сама конструкція спіралі шнеку практично визначається вибраним технологічним процесом її виготовлення, кожний з яких накладає певні обмеження на такі геометричні співвідношення як відношення ширини витка до товщини, відношення товщини зовнішнього краю спіралі до товщини заготовки, відношення довжини по зовнішньому і внутрішньому діаметрах (коефіцієнту витяжки ϕ).

На практиці найбільш поширений штамповарний метод отримання гвинтових поверхонь з розрізних кільцевих заготовок, для якого визначена область використання і розроблено прогресивне технологічне штампове оснащення.

Більш технологічними є методи отримання спіралей із стрічкової заготовки - прокатування і навивання. Ступінь складності формування таких спіралей можна оцінити, в основному, двома параметрами: відносною товщиною заготовки $\delta_B = H_0 / B_0$ і коефіцієнтом витяжки $\phi = [(\pi^2 r^2 + T^2) / (\pi^2 a^2 + T^2)]^{1/2}$.


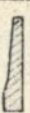
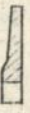
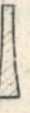
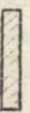
При виборі методу виготовлення потрібно орієнтуватись на навивання, як найбільш економічне та доступне і таке, що забезпечує оптимальні конструктивні параметри профілю спіралі. Визначені обмеження, які регламентують використання витих спіралей. Використанням нових технічних рішень допустиме значення параметру δ_B доведено до 0,05. Граничне значення коефіцієнту витяжки $\phi_{\text{доп}}$ з відносним видовженням при стандартному виробуванні металу на розтяг δ_5 зв'язане залежністю $\phi_{\text{доп}} = (1 + 2\delta_5)^2$.

Основний метод виготовлення спіралей великого діаметру ($D \geq 120$ мм), які регламентуються ГОСТ 2037-82 і ГОСТ 2705-73 - прокатування, при якому досягається високий коефіцієнт використання металу, можливе формування спіралей із співвідношен-

ням $20 \leq B/H \leq 80$ і майже таким коефіцієнтом видовження, як при навиванні. З метою вибору оптимальних параметрів профілю прокатних спіралей і техніко-економічного обґрунтування їх вибору в структурній оптимізації, в зв'язку з відсутністю відповідних досліджень, детально виврацьовані технологічні основи даного процесу. Досліджено кінематику прокатування спіралей, побудована математична модель напружено-деформованого стану і виведені залежності для визначення енергосилових параметрів формоутворення прокатних спіралей.

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика спіралей.

Вид спіралі	Форма профілю	Характеристика змінення	Товщина заготовки	Матеріаломісткість	Відносна етійкість
Прокатні		$\sigma_s = \sigma_{T,0} + \Pi l n \eta$	$H = \eta l = (3 \dots 4) l$	0,4	1,8...2,2
		$\sigma_s = \sigma_{T,0} + \Pi l \eta$ $\eta = H/h = (1 \dots 1,2) \psi$ $H B = \varepsilon \sigma$	$h = 1, \dots, \psi$ $H = 3h$	0,35	2,5...3
Широкострічкові		$\sigma_s = \sigma_{T,0} + \Pi l \eta$ $\eta = k \psi_0 = 2 \dots 2,5$	$H = (2 \dots 2,3) h$	0,25...0,5	3...4
Виті		$\sigma_s = \sigma_{T,0} + \Pi l \eta$	$H = \sqrt{\psi} h$	0,6	2,5...3,5
Штамповані		$\sigma_s = k_0 \sigma_s$	$H = h$	1	1

На основі проведених досліджень, для прокатних спіралей, виведена залежність зв'язку конструктивних параметрів D, d, T та d, H_0, h :

$$\sqrt{\frac{\pi^2 D^2 + T^2}{\pi^2 d^2 + T^2}} = 1 + \frac{K_\alpha}{B} \int_0^y f(y) dy / \left[\frac{B_0 H_0}{\lambda_B} - \int_0^y f(y) dy \right], \quad (II)$$

де $f(y)$ - функція зміни товщини спіралі h_y від поточної ширини y , $f(B)=h$; λ_B - коефіцієнт видовження заготовки по внутрішньому краю; K_α - коефіцієнт, що враховує відхилення форми профілю від розрахункового січення калібру.

Розроблені також технологічні основи проектування принципово нових конструкцій широкострічкових шнеків, а також шнеків із змінними геометричними параметрами, приведені рекомендації по вибору різних типів спіралей в залежності від конкретних умов. Характеристика різних типів спіралей в залежності від методів їх виготовлення приведена в табл. I.

Розділ 4. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГВИНТОВИХ КОНВЕЙЕРТІВ.

Основною метою проведення експериментальних досліджень було підтвердження правильності вибору цільових функцій і обмежень, що накладаються на зміну параметрів оптимізації, та оцінка достовірності побудованих оптимізаційних моделей. У відповідності з аналізом розмірностей виявлені константи моделювання, постійність яких зберігає всі співвідношення величин і кути між поверхнями робочих елементів, векторами швидкостей і прискорень і відповідно забезпечує подібність динамічних процесів транспортування при моделюванні. Оскільки оптимізаційні моделі розраховані на широкий діапазон параметрів конвеєра і режимів його роботи, то, в загальному виді, планування експерименту проводилось в безрозмірних параметрах із використанням основних положень теорій розмірності.

Експериментальні дослідження проводились на двох експериментальних установках. На першій моделювалось транспортування вантажів у гвинтових конвеєрах із зменшеним прохідним січенням жолоба ($0,05 < D < 0,1$) у другій експерименти проводились на реальних конвеєрах ($0,15 < D < 0,25$) в діапазоні кутових швидкостей $28 < \omega < 57$ (σ^{-1}).

Продуктивність гвинтових конвеєрів визначалась безпосереднім зважуванням вантажу, переміщеного за одиницю часу. Потужність конвеєрів оцінювалась по крутному моменту, який виз-

начався методом тензOMETрування. Крім цього, через прозоре вікно у конвейєрі проводились візуальні спостереження, по яких визначався кут нахилу траси транспортування у швидкохідних конвейєрах і відхилення прямолінійної траси від нижнього розміщення у тихохідних. Для швидкохідних конвейєрів рух частинок при транспортуванні фіксувався швидкісною кінокамерою.

Встановлено, що для горизонтельних конвейєрів, параметри яких змінюються в межах $D = 0,05 \dots 0,25$ м; $k_T = 0,6 \dots 1$; $\omega = 37 \dots 59$ с⁻¹ для сухих сипучих дрібнозернистих матеріалів із розходженням з експериментальними значеннями до 7-15% продуктивність (м³ год) можна визначати по залежності

$$Q = 398 D^3 \omega P^{-0,15} k_T^{-0,52} \mu_1^{-0,26} \varphi^{1,05} \quad (12)$$

Теоретичні залежності (7), (9) із розходженням в 10-15 відсотків можуть використовуватись для визначення продуктивності швидкохідних гвинтових конвейєрів ($P > 15$). Для горизонтельних конвейєрів із $P = 3 \dots 5$ використання залежності (9) можливе із поправочним коефіцієнтом $k_v = 1 + 2(\mu P)^{-1,4}$.

Для визначення потужності транспортування залежності, які включають величину питомих енерговитрат (II), можуть використовуватись тільки для швидкохідних конвейєрів ($P > 15 \dots 20$). Для горизонтельних конвейєрів із $3 < P < 8$ приведена залежність, аналогічна (12), з дещо звуженою областю визначення.

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити оптимальні варіанти вибору різних типів спіралей (табл. I) з мінімальним рівнем технологічних витрат. Для стрічок шириною $B < 40-50$ мм це виті спіралі, $50 < B < 90$ - прокатні; $B > 100$ - широкострічкові.

Розділ 5. ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ГВИНТОВИХ КОНВЕЙЄРІВ.

Розглянуті питання оптимізації експлуатаційних режимів і конструктивних параметрів гвинтових конвейєрів з побудовою оптимізаційної моделі і розробкою алгоритмів оптимального проєктування. За базові показники, по відношенню до яких оцінювались ефективність прийнятих рішень, приймались дані ГОСТ 23976-80 та ГОСТ 2037-82, а саме питомі енергоємність та матеріаломісткість конвейєрів одиничної довжини. Оптимізація проводилась по витратах, відповідно на експлуатації конвейєра L_e та виготовлення L_B і цільова функція має вигляд

$$f_0 = \alpha_1 f_{e0} + \alpha_2 f_{w0} + \alpha_3 f_{m0} \quad (13)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти ваговості рівень по кожному параметру.

Представлений функціональний зв'язок експлуатаційних і конструкторських параметрів відповідним обмеженням задачу оптимізації функції f_0 зведено до таких двох незалежних задач:

$$1. f_e = C_{e0} + C_w Q T w / V_0 + C_m m \rightarrow \min, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} f_1 &= -P - U_T^{\max} \omega (1 + \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha_0) \leq 0; & f_7 &= -P + P_{\min} \leq 0; \\ f_2 &= \omega - \pi n^{\max} / 30 \leq 0; & f_8 &= \operatorname{tg} \gamma - \cos \theta \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi); \\ f_3 &= -k_d P \sin \varphi + c_3 \sin(\alpha_0 - \varphi) \leq 0; & f_9 &= k_T - k_T^{\max} \leq 0; \\ f_4 &= -k_d P + c_4 \leq 0; & f_{10} &= -k_T + k_T^{\min} \leq 0; \\ f_5 &= -P(1 - k_d) + 2\pi C_5 \leq 0; & f_{11} &= \alpha + \varphi_1 + \Delta \beta - 75^\circ \leq 0; \\ f_6 &= -P_{\max} + P \leq 0; & f_{12} &= -\varphi_0 - \delta \ln P + c_{12}; \\ f_{13} &= \varphi_0 - \varphi_0^{\max} (\cos(\Delta \beta) - \sin(\Delta \beta) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)) \leq 0; \\ f_{14} &= -z + z^{\max} \leq 0; & f_{16} &= |\omega - k| - c_{16} \leq 0; \\ f_{15} &= z - z_0 \leq 0; & f_{17} &= w - w_0 \leq 0; \end{aligned}$$

$$g_1 = P - \omega^2 D / (2g) = 0.$$

$$2. f_w = \alpha_0 + \alpha_1 \rho_1 V_1 + \alpha_2 \rho_2 V_2 + \alpha_3 \rho_3 V_3 \rightarrow \min; \quad (15)$$

$$V_1 = H(D-d) \sqrt{(2\pi \rho_0)^2 + T^2} / (2\beta T); \quad V_2 = \pi S_2 (D + 2z + S_2); \quad V_3 = \pi C_3 (d - S_3).$$

$$\begin{aligned} f_1' &= -D^3 + D T^2 + 8Q / (k_T \varphi_{\text{пр}} \omega) \leq 0; & f_7' &= -S_3 + S_{3\min} \leq 0; \\ f_2' &= -3 + D \sqrt{\kappa^2 + 1 - \varphi_{\text{дон}}^2} / (\varphi_{\text{дон}} \pi) \leq 0; & f_8' &= S_3 - 0,5d \leq 0; \\ f_3' &= D - d - 2H / \delta \leq 0; & f_9' &= -S_2 + S_{2\min} \leq 0; \\ f_4' &= -H + H_{\min} \leq 0; & f_{10}' &= -2gP + c_{10} D \leq 0; \\ f_5' &= H - H_{\max} \leq 0; & f_{11}' &= f_7' - f_6'; \\ f_6' &= -d^2 S + 3dS^2 - 4S^3 + 2S^4 / d + 2M_{\text{кр}} / (\pi [1 - \nu]) \leq 0; \end{aligned}$$

$$g_1' = g_1 - 2gP - \omega^2 D = 0,$$

де C_{e0} - доля конвейєра у загальних експлуатаційних витратах на обслуговування, ремонт; C_w - вартість енергоресурсів, витрачених на переміщення вантажу на одиницю довжини; T і T_5 - відповідно дійсний і базовий ресурс роботи конвейєра; m - маса конвейєра одиничної довжини; C_m - питомі витрати, що залежать від зміни

маси конвейєра; V_1, V_2, V_3 - об'єми відповідно спіралі, жолоба і валу одиничної довжини; ρ_1, ρ_2, ρ_3 - густини матеріалів відповідних елементів конвейєра; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - приведена вагтість одиниці маси відповідних матеріалів; α_0 - приведена собівартість виготовлення конвейєра, при зміні технології міняється дискретно. z - зазор між жолобом і зовнішнім краєм спіралі; S_2 - товщина жолоба; S - товщина стінки валу; H - товщина стрічкової заготовки для спіралі; β - коефіцієнт розширення (усадки) стрічки; ρ_0 - нейтральний радіус деформації; k_d - коефіцієнт внутрішнього діаметру спіралі $k_d = d/D$; α_d - кут підйому гвинтової лінії по d ; c_1, b, k - константи функцій обмежень.

На зміну експлуатаційних параметрів $x_j = (F, \omega, \varphi_0, k_1, k_2)$ накладаються обмеження по граничній швидкості обертання гвинта (f_1, f_2); швидкохідності (f_3, f_4, f_5); реологічних властивостях вантажу (f_6, f_8, f_{11}); граничному завантаженню (f_{12}, f_{13}); кроку (f_9, f_{10}); зазору (f_{14}, f_{15}); резонансу (f_{16}); віднощності базовому показнику по ω (f_{17}).

На зміну конструктивних параметрів $x'_j = (T, D, d, H, s, s_2)$ накладаються обмеження по продуктивності (f'_1); пластичності матеріалу (f'_2) та стійкості (f'_3) при формуванні; забезпеченню довговічності (f'_4); максимальній товщині спіралі (f'_5); міцності валу (f'_6); товщині валу (f'_7, f'_8) та жолоба (f'_9) по сортаменту; зв'язку з експлуатаційними параметрами (f'_{10}, g'_1) та відповідності базовому обмеженню (f'_{11}).

Аналіз і розв'язок оптимізаційних задач проводився в загальному вигляді з використанням умов Куна - Таккара. На їх основі розроблена інженерча методика визначення експлуатаційних та конструктивних параметрів гвинтових конвейєрів.

Особливістю розв'язку першої задачі є те, що існує внутрішня точка глобального оптимуму, а тому точно визначити параметри x_j , які мінімізують питомі енерговитрати можна тільки числовими ітераційними методами. Для вертикальних конвейєрів визначення експлуатаційних параметрів проводять в такому порядку.

1. Визначають коефіцієнт кроку числовими методами згідно рекомендацій чи вибирають в залежності від значення коефіцієнту зовнішнього тертя вантажу ($k_T = 1$ при $\mu = 0,3 \dots 0,5$; $k_T = 0,8 \dots 1$ при $\mu = 0,5 \dots 0,8$; $k_T = 0,6 \dots 0,8$ при $\mu = 0,8 \dots 1$).

2. Визначають кут підйому гвинтової траєкторії руху, що

забезпечує оптимальні кінематичні параметри: $\beta = 15 \dots 20^\circ$.

3. Визначають коефіцієнт швидкохідності конвеєра P , який забезпечує $\min f_e$

$$P = \sin \alpha_0 (1 + \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha_0)^2 / (\mu_2 \cos(\alpha_0 + \varphi_1 + \beta)). \quad (16)$$

4. Провіряють k_T і P на відповідність обмеженням f_1 .

5. Виходячи з f_3, f_{12} визначають коефіцієнт заповнення φ , а з $f_{15}, f_{16} - k_z$: $k_z \min \times k_z \times k_z \max$.

8. Кутову швидкість гвинта визначають по залежності

$$\omega = (k_Q k_T \varphi_0 g^3 P^3 / Q)^{1/5}, \quad (17)$$

де k_Q - коефіцієнт напрямку потоку, $k_Q = \operatorname{tg} \beta / (\operatorname{tg} \alpha_0 + \operatorname{tg} \beta)$.

Коли D відоме, ω визначають із рівняння $g_1 = 0$.

Розрахунок нестационарних гвинтових конвеєрів проводять в аналогічному порядку, з тією різницею, що на зміну параметру D визначальним є вплив обмеження f_{13} , яке обмежує допустиме співвідношення мінімальної і максимальної осьових швидкостей при зміні напрямку транспортування. ($\epsilon = v_{z \min} / v_{z \max} = 0,7$) Порядок їх розрахунку слідуючий:

1. Визначають коефіцієнт кроку спіралі $k_T = k_T(\mu) = 0,7 \dots 1,0$.

2. Визначають кут нахилу траси транспортування із умови

$$\beta = \arctan \{ \epsilon \operatorname{tg} \alpha_0 / (1 - \epsilon + \mu \operatorname{tg} \alpha_0) \} \quad (18)$$

Інші параметри визначають аналогічно розрахунку вертикального конвеєра по залежностях (16), (17).

В результаті аналізу всіх можливих варіантів рішення оптимізаційної задачі (15) розроблена методика визначення конструктивних параметрів гвинтового конвеєра, яка включає три розрахункові схеми. По першій визначальними є обмеження по продуктивності (f_1^i) та пластичності (f_2^i) і параметри x_j^i відповідно [1]

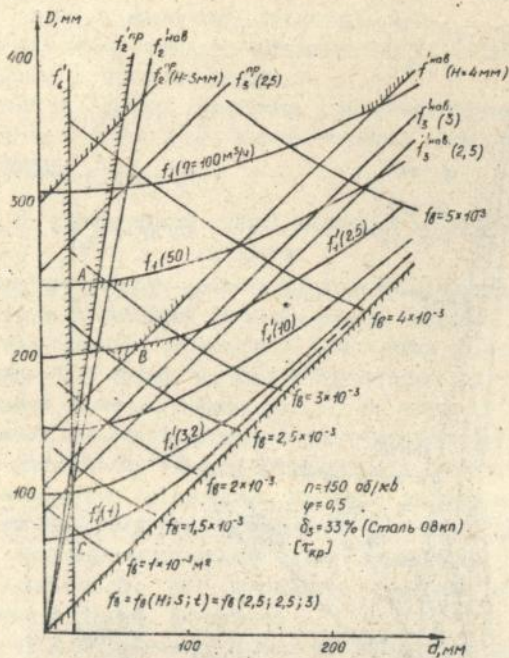
$$D = 2,7 \sqrt{\varphi_{\text{доп}}^2 Q / (k_T \varphi_{\text{пр}} \omega (\varphi_{\text{доп}}^2 - 1))}; \quad d = D \sqrt{\pi^2 + 1 - \varphi_{\text{доп}}^2} / (\pi \varphi_{\text{доп}}) \\ v = s_{\min}^i; \quad s_2 = s_{\min}^i; \quad H = \max (H_{\min}^i; (D-d)/\delta). \quad (19)$$

Одержані значення перевіряють на відповідність обмеженням f_5^i, f_7^i . Якщо вони не задовільняються, то переходять до розрахункової схеми, для якої визначальним є обмеження f_6^i .

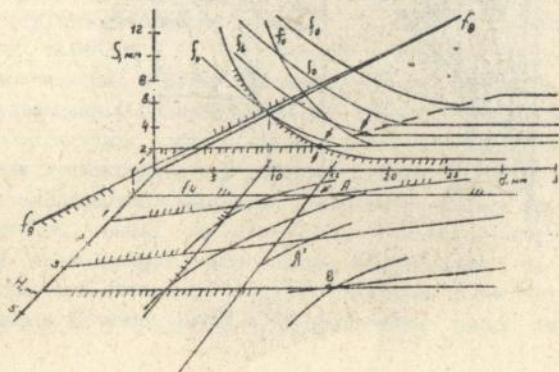
$$H = H_{\max}^i; \quad D = H_{\max}^i \sqrt{1 + 8\delta Q / (k_T \varphi_{\text{пр}} H_{\max}^i) + 1} / (2\delta); \quad (20) \\ d = d_{\max}^i = 2H_{\max}^i / \delta; \quad s = s_{\min}^i; \quad s_2 = s_2 \min^i.$$

Якщо не задовільняється обмеження f_6^i , то із умови на міцність по відомих залежностях визначають діаметр валу d . Зовніш-

Схема розміщення точок оптимуму в просторі D, d (а)
та H, d, S (б).



а



б

Рис. 5.

Номограма для визначення параметрів процесу
 транспортування вантажів гвинтовими конвейєрами

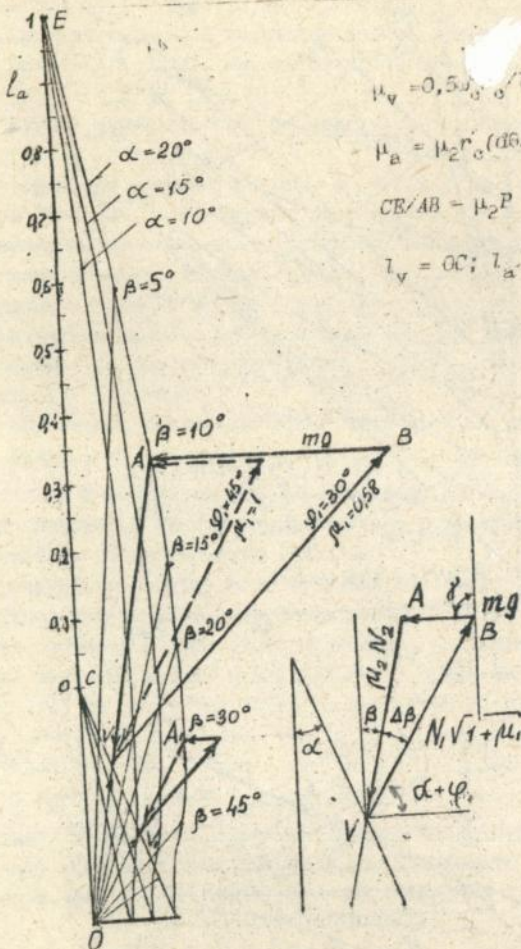


Рис. 6.

на діаметр спіралі розраховують по ітераційній залежності

$$D_i = \sqrt[3]{\sigma^2 D_{i-1} + 8Q / (k_{\text{ТФП}} \omega)} \quad (21)$$

параметри H , a та a_2 визначають аналогічно (19).

Розміщення точок оптимуму (відповідно A , B , C) для різних розрахункових схем показано на рис.5.

На основі проведених досліджень розроблена також методика графоаналітичного розрахунку, з використанням номограми, приведеної на рис.6.

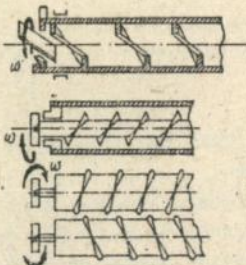
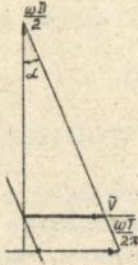
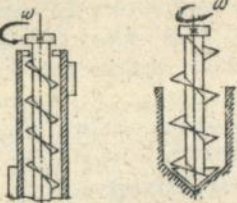

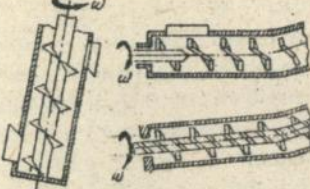

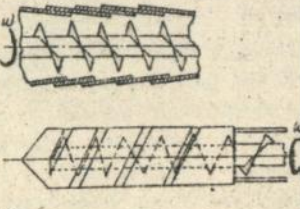

Розділ 6. КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГВИНТОВИХ КОНВЕЙЕРІВ ТА ІХ СИНТЕЗ

На основі векторного аналізу процесу транспортування вантажу гвинтовими конвейерами встановлено, що напрямок траси, в залежності від режимів, характеризується певним значенням кута β і діапазоном його зміни, на чому і ґрунтується їх класифікація по принципу транспортування, рис. 1. В табл. 2 приведені схеми гвинтових конвейерів різноманітного призначення і характерні плани швидкостей, а також їх реалізація в конструкціях, захищених авторськими свідоцтвами. Показана доцільність вибору конкретних типів конвейерів в залежності від намічених задач. Крім цього, виділені перспективні схеми конвейерів та інших гвинтових механізмів, які дозволяють керувати параметрами транспортування в процесі їх роботи.

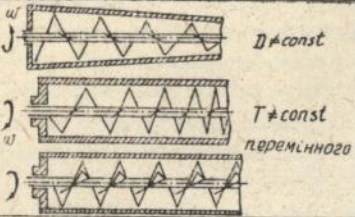
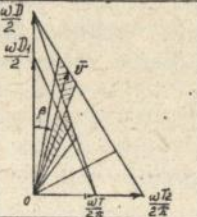
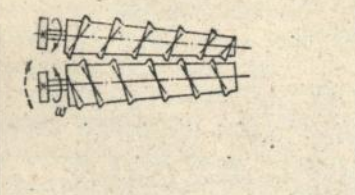
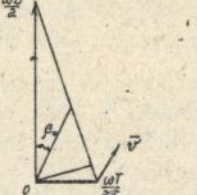
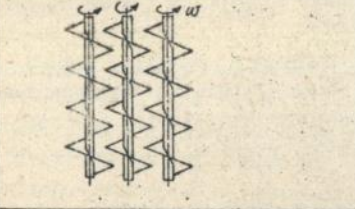
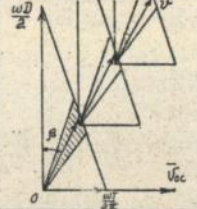
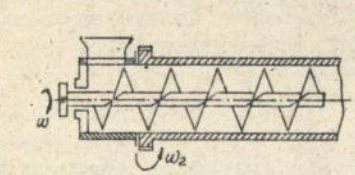
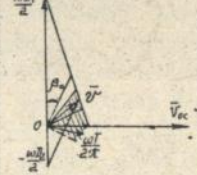
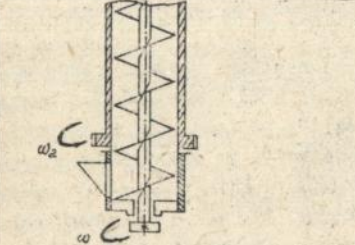
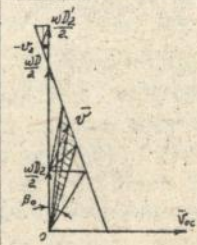
Проведені дослідження дозволили намітити перспективні напрямки розробок нових гвинтових конвейерів з яких необхідно відмітити оптимізацію їх експлуатаційних та конструктивних параметрів і розробку технологічного забезпечення виготовлення гвинтових стрічок відповідних розмірів і якості, застосування прогресивних технологій їх виготовлення і сучасних матеріалів, розробку комплексних модулів і конвейерів із можливою зміною траси завантаження і розвантаження та гнучких гвинтових конвейерів, використання робочих органів з перемінними параметрами, наданням додаткових рухів робочим органам, розширення технологічних можливостей гвинтових механізмів шляхом поєднання функцій транспортування та сепарації, очищення, сортування, змішування, видавлювання, пересування, подрібнення і т. д.

В результаті детального аналізу гвинтових конвейерів проведений синтез їх конструкцій з використанням таких технічних

Аналіз кінематичних схем гвинтових конвейєрів.

	Структурна схема	План швидкостей	Авторські свідчення
тихохідні			№ І384253 № І451079 № І696349
вертикальні			№ І724563
швидкохідні			№ І315369 № І344697 № І384492 № І345530 № І488232 № І666408
нагрівлені			№ І640070 № І710465 № І645219

Продовження таблиці 2.

	структурна схема	план швидкостей	авторські свідоцтва
перемінні	 <p>$D \neq const$ $T \neq const$ перемінного</p>		<p>№ I611505 № I558811 № I620399</p>
багато-функціональні			<p>№ I274642 № I318193 № I645031</p>
сумішені			<p>№ I665916</p>
керовані			<p>Перспективна схема</p>
регульовані			<p>Перспективна схема</p>

рішень, як придання поверхні конвейєра анізотропних властивостей, зміна форми робочих органів та виконання їх складними, використання нових матеріалів, які надають нові властивості робочим органам, виключення певних елементів чи включення нових, надання їм додаткових рухів та інших.

Проведені дослідження дозволили розробити нові конкурентоздатні конструкції конвейєрів, очисників, змішувачів та інших виконавчих механізмів. Приведені дані по промислового впровадженню та економічній ефективності розробок.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Реалізація проблеми оптимального проектування гвинтових конвейєрів і синтезу їх нових конструкцій з розширеними технологічними можливостями здійснена на основі: нових результатів теоретичних досліджень швидкохідних гвинтових конвейєрів; побудови базової оптимізаційної моделі і розробки інженерної методики розрахунку гвинтових конвейєрів, що дозволяє вперше комплексно визначати оптимальні параметри режимів роботи і конструктивні параметри робочих органів; розробці методів векторного кінематичного аналізу гвинтових конвейєрів і синтезу нових технологічних рішень. При цьому отримані наступні результати:

1. В результаті проведення комплексних досліджень рішення актуальної задачі по створенню оптимізаційної моделі гвинтового конвейєра і реалізації відповідної багатопараметричної задачі нелінійного програмування. Встановлено, що на зміну експлуатаційних параметрів швидкохідних конвейєрів вирішальний вплив мають обмеження по мінімальному значенню коефіцієнту швидкохідності P , а на зміну конструктивних параметрів - обмеження по продуктивності та технологічні обмеження на виготовлення спіралі.

2. Проведений структурно-кінематичний аналіз гвинтових механізмів, на базі якого синтезовані нові конструкції з розширеними технологічними можливостями. Розроблені нові конкурентоздатні конструкції гвинтових конвейєрів та механізмів.

3. Виведені залежності для кінематичного розрахунку швидкохідних похилих гвинтових конвейєрів, з т.ч. і нестационарних, і формулювання обмежень на зміну параметрів оптимізації.

4. Запропонований векторний аналіз процесу транспортування на основі планів швидкостей і прискорень, розроблені графо-аналітичні методи розрахунку гвинтових конвейерів.

5. Встановлена зона оптимальних режимів транспортування при яких питома енергоємність w гвинтового конвейера мінімальна. Із збільшенням коефіцієнтів тертя вантажу до поверхні спіралі величина оптимальної кутової швидкості гвинта конвейера підвищується, а до поверхні жолоба - понижуються.

6. Встановлено, що для нестационарних гвинтових конвейерів із змінною трасою параметр швидкохідності P повинен бути більшим, ніж для вертикальних і критерієм експлуатаційної придатності такого конвейера може бути умова обмеження зміни осьової швидкості не більше 30%.

7. Визначена залежність між кутами тертя матеріалу до поверхонь конвейера і нахилу спіралі, що мінімізує енергетичні затрати. Для переміщення сипучих матеріалів із коефіцієнтом зовнішнього тертя до 0,5 оптимальний крок спіралі становить 0,9 діаметра, для матеріалів із коефіцієнтом тертя 0,5...0,8 - 0,8...0,9 і для матеріалів із коефіцієнтом тертя більше 0,8 - крок спіралі повинен становити 0,6...0,8 його діаметра.

8. Запропонована інженерна методика вибору конструктивних параметрів, експлуатаційних параметрів гвинтових конвейерів.

9. Проведено відпрацювання спіралей на технологічність, розроблені відповідні рекомендації по вибору оптимальних шляхів виготовлення спіралей із заданими параметрами.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНІ В ТАКИХ РОБОТАХ

1. Гевко Б.М., Рогатинский Р.М. Винтовне подаяние механизмы сельскохозяйственных машин. - Львов: Вища шк.Изд-во при Львов. ун-те, 1989.-176 с.

2. Рогатинський Р.М. Динаміка матеріальної частинки в рухомих гвинтовому конвейері // Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні: Тези доп. н.-т. конф./ТП. - Тернопіль, 1992.- С. 133.

3. Рогатинський Р.М. Оптимізація робочих органів гвинтових конвейерів з центральним валом // Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні: Тези доп. н.-т. конф. / ТП. - Тернопіль, 1992.- С. 84.

4. Рогатынский Р.М., Данильченко Л.Н. Исследования поперечного изгиба полос при обработке в штампах // Технология и организация производства.- 1990, № 4.- 18 с.- Деп. в УкрНИИТИ, №1160- Ук-90 Деп.

5. Рогатынский Р.М., Шпак Р.В. Гвинтові конвейери з витими жолобами// Прогресивні технології і обладнання в машині- і приладобудуванні:Тези доп. н.-т. конф. / ТПІ.- Тернопіль, 1992.- С. 84.

6. Гашин С.В., Рогатынский Р.М. Опыт и эффективность внедрения безотходной технологии изготовления спиралей шнековых механизмов, // Экономические проблемы ресурсосберегающих и безотходных производств и использование вторичных ресурсов. Секция 4: Тез. докл. н.-т. конф./ ИЭП. АН.СССР. - Донецк, 1987.- С. 74-75.

7. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Оптимизация конструктивных параметров винтовых конвейеров // Изв. вузов. Машиностроение.- 1987.- № 5.- С.109-114.

8. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Выбор оптимальных параметров шнеков. // Изв. вузов. Машиностроение.- 1983.- №6.- С. 105-109.

9. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Влияние внешних зон на формообразование винтовых лент // Изв. вузов. Металлургия.- 1986.- №9.- С.55-58.

10. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. К выбору оптимальных параметров спиралей шнеков. // Конструирование и технология производства с. - х. машин: Межвуз сб./ - К., 1983.- Вып. 14.- С.48-57.

11. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Технологическое обоснование выбора оптимальных параметров шнеков // Повышение технико-эксплуатационных показателей машиностроительной продукции конструкторскими и технологическими методами: Тез. докл. н.-т. конф. - Хабаровск. 1980.- С.80-83.

12. А.с. № 1082534, МК В21НЗ/12. Способ изготовления спиралей шнеков. / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатынский - Бюл № 12, 1984.

13. А.с. № 12115810, МК В21Д11/06. Устройство для изготовления спиралей шнеков. / Б.М. Гевко, О.И. Дубык, Р.М. Рогатынский и др. - Бюл № 9, 1986.

14. А.с. № 1225643, МК В21Д11/06. Устройство для калибровки витка спирали по шагу. / Б.М. Гевко, О.И. Дубык, Р.М. Ро-

гатинский и др. - Бюл N 15, 1986.

15. А.с. N 1274642, МК А01Д33/08. Шнековый очиститель коренеклубнеплодов от примесей. / Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинский и др. - Бюл N 45, 1986.

16. А.с. N 1384253, МК А01Д33/08. Устройство для очистки, транспортировки и сортировки коренеклубнеплодов. / Б.М. Гевко, Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинский и др. - Бюл. N 12, 1988.

17. А.с. N 1384492, МК В65G33/16. Гибкий шнековый конвейер. / Б.М. Гевко, Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинский - Бюл. N 12, 1988.

18. А.с. N 1732128, МК В21Д11/06. Устройство для навивки широкополосных спиралей. / Б.М. Гевко, Д.Л. Радук, Р.М. Рогатинский и др. - Бюл. N 48, 1989.

19. А.с. N 1558811, МК В65G33/00. Винт винтового конвейера. / Б.М. Гевко, Д.Л. Радук, Р.М. Рогатинский и др. - Бюл. N 15, 1990.

20. А.с. N 1563307, МК В21Д11/06. Устройство для непрерывной навивки спиралей шнеков. / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинский, М.И. Пилипец и др. - Бюл. N 18, 1990.

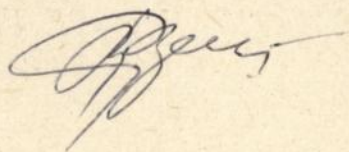
21. А.с. N 1610224, МК G01В3/20. Устройство для измерения геометрических параметров спирали шнека. / Гевко Б.М., Капацила Б.Б., Рогатинский Р.М. и др. - Бюл. N 44, 1990.

22. А.с. N 1611505, МК В21Д11/06. Способ изготовления спиралей шнеков и устройство для его осуществления. / О.М. Шаблий, Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинский и др. - Бюл. N 45, 1990.

23. А.с. N 1640070, МК В65G33/16. Винтовой конвейер. / Б.М. Гевко, И.Б. Гевко, Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинский - Бюл. N 13, 1991.

24. А.с. N 1645031, МК В07В1/14. Способ сортировки коренеплодов и устройство для его осуществления. / Б.М. Гевко, Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинский - Бюл. N 16, 1991.

25. А.с. N 1724563, МК В66Д3/00. Лебедка. / Б.М. Гевко, Ю.Е. Паливода, Р.М. Рогатинский - Бюл. N 13, 1992.



Підписано до друку 20.04.93. Формат 60 x 84 1/16.
Друк офсетний. Папір друкарський № 1. Ум. друк. арк.
1,63. Обл.-вид. арк. 1,07, Тираж 120 прим. Зам. № 1861.

282001, Тернопіль, Довга, 21, Обласна друкарня.

AB 27.345