

умивальників передбачаються банки з 1% -им розчином оцтової кислоти або змивочної пасти на основі ОП-7 для попереднього обмивання рук з подальшим миттям їх теплою водою з милом. Перед їжею і палінням обов'язково необхідно мити руки і полоскати порожнину рота. Для обтирання рук застосовуються разові серветки. Застосування рушників загального користування не дозволяється.

Питну воду для працюючих на ділянках пайки слід подавати через фонтанчики, які встановлюються за межами паяльних ділянок, але поблизу них.

Паяльні роботи повинні виконуватися робітниками в передбаченому для цього спецодязі, який забороняється відносити додому. У приміщеннях, де виконується пайка, забороняється зберігати спецодяг, особисті речі, приймати і зберігати їжу, питну воду, а також палити. Знаходиться в приміщеннях для їжі, їдальнях і буфетах в робочому одязі забороняється.

Після закінчення роботи необхідно прийняти теплий душ, почистити зуби зубним порошком і прополоскати порожнину рота водою.

**Висновки.** Формування безпечного та здорового виробничого середовища при виконанні паяльних робіт має забезпечуватися роботодавцем відповідно до нового нормативно-правового документа з охорони праці «Правила охорони праці під час паяльних робіт». Небезпечні та шкідливі виробничі чинники, які мають місце при виконанні паяльних робіт, призводять до ряду професійних захворювань, які слід вчасно попереджувати, забезпечуючи відповідні умови праці та лікувально-профілактичне харчування.

### Інформаційні джерела.

1. Ткачук К. Н., Зацарний В. В., Сабарно Р. В. та інші. Охорона праці та промислова безпека: Посібник. – Київ: Лібра, 2010. – 559 с.
2. Охорона праці в галузі телекомунікацій. Навчальний посібник/ С.А. Гавриш, А.С. Гавриш – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 432 с.
3. Професійні хвороби / за ред. проф. В.А. Капустника, проф. І.Ф. Костюк. – 3-є вид., переробл. і допов. – К. : ВСВ «Медицина», 2011. – 480 с.
4. Правила охорони праці під час паяльних робіт від 06.02.2014 №118.

УДК 621.82

Гевко Б.М. д.т.н, Комар Р.В. к.т.н, Клендій В.М., Навроцька Т.Д.  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## РОЗРАХУНОК ГНУЧКИХ ВАЛІВ ГВИНТОВИХ МЕХАНІЗМІВ

*Механізми з гвинтовими пристроями і гнучкими валами отримали широке використання у всіх галузях народного господарства завдяки концентрації різних операцій у поєднанні з транспортуванням. Гнучкі вали отримали широке використання в інструментальній виробництві в якості приводних елементів інструментів для доведення поверхонь пуансонів і матриць, модельного оснащення та інші, а також гнучкі вали використовують в різних приладах, наприклад спідометрах автомобілів та інших транспортних засобів і механізмів. Запропонована конструкція гнучкого вала (ГВ), яка виконана у вигляді багатозахідних пружин кручення, в якого суміжні шари виконані з протилежними напрямками навивання, кінці яких жорстко закріплені до центрального жорсткого вала.*

**Ключові слова:** навивання, подовження подача, гвинтова заготовка.

*Механизмы с винтовыми устройствами и гибкими валами получили широкое применение во всех отраслях народного хозяйства благодаря концентрации различных операций в сочетании с транспортировкой. Гибкие валы получили широкое применение в инструментальном производстве в качестве приводных элементов инструментов для доведения поверхностей пуансонов и матриц, модельной оснастки и прочее, а также гибкие валы используют в различных приборах, например спидометрах автомобилей и других транспортных средств и механизмов. Предложенная конструкция гибкого вала (ГВ), которая выполнена в виде многозаходных пружин кручения, у которого смежные слои выполнены с противоположными направлениями навивки, концы которых жестко закреплены в центральному валу.*

**Ключевые слова:** навивки, продольная подача, винтовая заготовка.

*Mechanisms of screw flexible shafts and devices are widely used in all sectors of the economy due to the concentration of different operations in conjunction with transportation. Flexible shafts are widely used in tool production as the driving elements of instruments for bringing the surfaces of punches and matrices of model rigging, etc., as well as flexible shafts are used in various devices, such as speedometers cars and other vehicles and equipment. The design of a flexible shaft (GW), which is designed as a large number of western torsion springs, in which adjacent layers are made with opposite directions of coiling, the ends of which are rigidly fixed to the central shaft hard.*

**Keywords:** coiling, traverse screw blank.

**Аналіз останніх результатів дослідження.** Питанням розроблення конструкцій і методами розрахунку механізмів машин з приводними гнучкими валами присвячені праці Павлище В.Т. [1], Овчаренко Б.З., Міняйло А.В., Мазоренко Д.І., Тіщенко Л.М. [2], Іванов М.Н. [3], Решетов Д.Н. [4] та багато інших. Однак при цьому не враховані спеціальні умови роботи гнучких валів у гвинтових механізмах. Тому тема є актуальною і має важливе народно господарське значення.

**Мета роботи** – дослідження залежності величини пружної деформації спіралей комбінованого пружинного елемента гнучкого вала від навантаження, яке створює обертовий момент.

**Реалізація роботи.**

Нами розроблена конструкція гвинтового конвеєра з гнучким привідним валом [6], яка зображена на рис. 1.

Гнучкий вал зображено на (рис.2), який виконано у вигляді багатозахідних пружин кручення, в якого суміжні шари виконані з протилежними напрямками навивання, кінці яких жорстко закріплені до центрального жорсткого вала. У даній конструкції кожний навивний шар виконано із двох скручених дротів малого діаметра, який по зовнішньому діаметру є у взаємодії з аналогічним шаром, виконано з двох дротів малого діаметра з протилежним напрямком навивання.

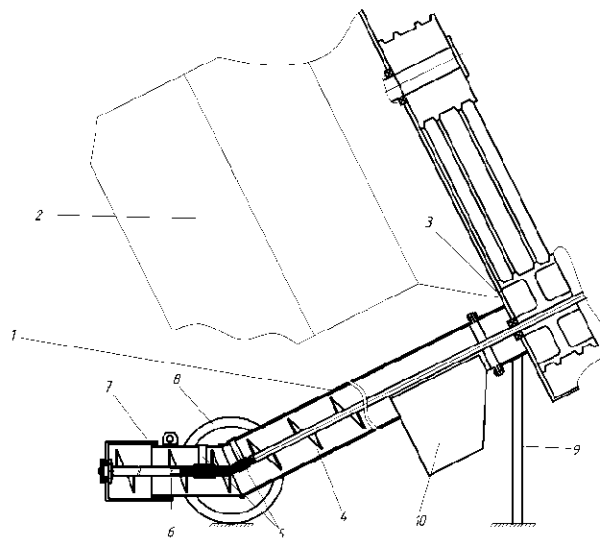


Рисунок 1 – конструкція гвинтового конвеєра з гнучким привідним валом  
1 – верхня труба; 2 – стійка; 3 – електропривод; 4 – верхній шнек з валом; 5 – проміжні опори верхнього і нижнього шнека 6 з валом; 7 – патрубок; 8 – опорні колеса; 9 – регульовальна опора висоти конвеєра; 10 – вивантажувальний патрубок.

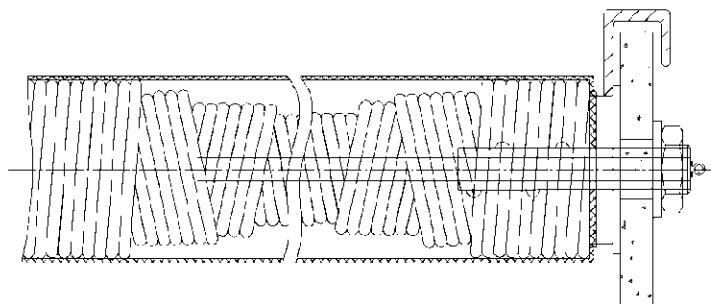


Рисунок - 2. Конструкція гнучкого вала

Метою наших досліджень є визначення залежності величини пружної деформації спіралей комбінованого пружинного елемента гнучкого вала від навантаження, яке створює обертовий момент.

В класичному випадку, при дії на спіраль навантаження у вигляді обертального моменту, відбувається зміна її лінійної довжини, кроку та діаметральних розмірів, які взаємопов'язані із зміною кута закручування спіралі. Оскільки у даній конструкції довжина спіралей обмежена відстанню між з'єднуваними валами, то змінною величиною є діаметри спіралей гнучкого вала. Збільшення навантаження приводить до зменшення існуючого зазору  $\delta_{max}$  між спіралями внаслідок того, що протилежні частини гнучкого вала закручуються одна відносно одної на певний кут, при цьому спіралі із взаємно протилежним напрямком навівання контактують між собою, що приводить до підвищення сумарної жорсткості гнучкого вала і надає йому здатність сприймати значні навантаження без руйнування. Негативною ознакою такої конструкції є те, що збільшення жорсткості пружного елемента спричиняє виникнення додаткового радіального навантаження на підшипники та опори валів, а також призводять до осової деформації останніх. Тому встановлення діапазону зазору  $\delta_{max}$  між спіралями пружного елемента є важливим фактором, який має суттєвий вплив на експлуатаційні характеристики гнучкого вала.

Розглянемо пружну деформацію витка спіралі для випадку коли закручування здійснюється проти напрямку її навівання, тобто відбувається збільшення діаметра спіралі (рис.3а). В загальному випадку початкова довжина витка спіралі

$$l_{01} = \frac{\pi d_{01}}{\cos \lambda}, \quad (1)$$

де  $d_{01}$  – середній діаметр витка спіралі до деформації;  $\lambda$  - кут підйому витка.

При пружній деформації початкова довжина витка збільшується на величину  $l'_1$ , яка зв'язана з кутом закручування  $\varphi$  співвідношенням

$$l'_1 = \frac{\pi d'_1}{360 \cdot \cos \lambda} \varphi, \quad (2)$$

де  $d'_1$  – середній діаметр пружно деформованого витка.

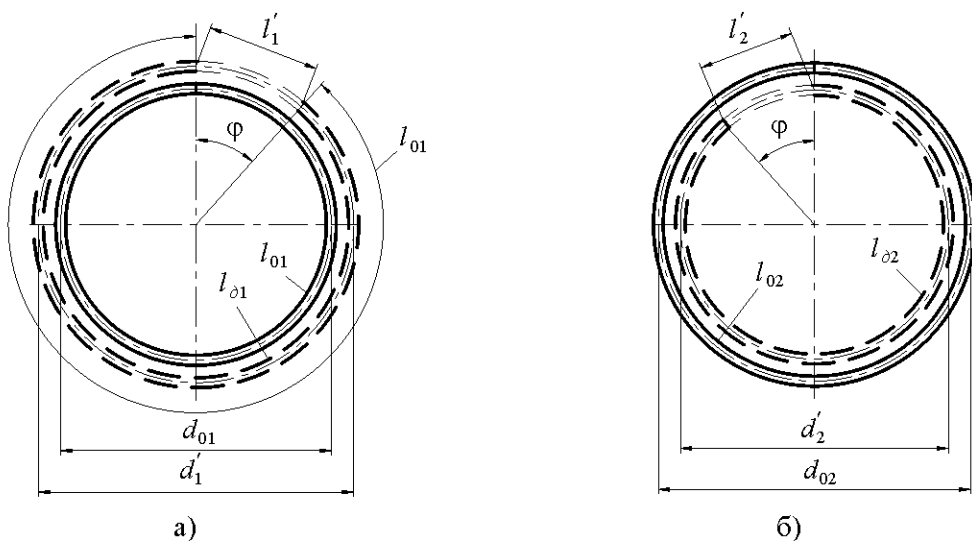


Рисунок 3 – Розрахункові схеми пружної деформації витків спіралей гнучкого вала

Загальну довжину пружно деформованого витка спіралі можна знайти за формулою

$$l_{01} = \frac{\pi d'_1}{\cos \lambda}, \quad (3)$$

або

$$l_{01} = l_{01} + l'_1 = \frac{\pi d_{01}}{\cos \lambda} + \frac{\pi d'_1}{360 \cdot \cos \lambda} \varphi. \quad (4)$$

Прирівнявши формули (3) і (4) отримаємо залежність для визначення діаметра пружно деформованого витка спіралі

$$d'_1 = \frac{d_{01}}{1 - \frac{\varphi}{360}}. \quad (5)$$

Величина пружної деформації (рис.4)

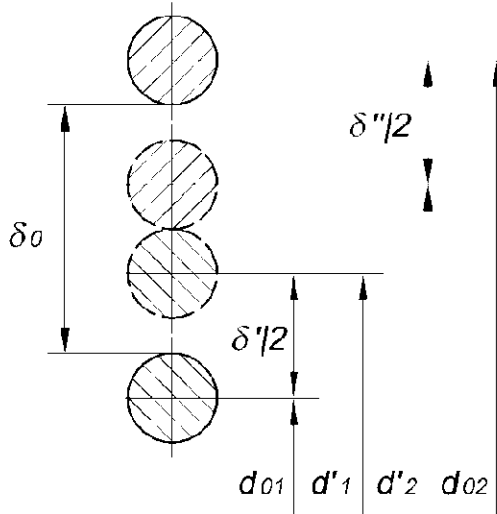


Рисунок 4 - Схема для визначення діапазону зазору між спіралями

$$\delta' = d'_1 - d_{01} = d_{01} \left( \frac{1}{1 - \frac{\varphi}{360}} - 1 \right). \quad (6)$$

У випадку коли дія обертального моменту спричиняє закручування спіралі, тобто зменшення її діаметра внаслідок пружної деформації (рис. 2б), залежність (4) запишеться наступним чином

$$l_{\delta 2} = l_{02} - l'_2 = \frac{\pi d_{02}}{\cos \lambda} - \frac{\pi d'_2}{360 \cdot \cos \lambda} \varphi, \quad (7)$$

звідки діаметр пружно деформованого витка

$$d'_2 = \frac{d_{02}}{1 + \frac{\varphi}{360}}. \quad (8)$$

Величина пружної деформації буде рівна

$$\delta'' = d_{02} - d'_2 = d_{02} \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{\varphi}{360}} \right), \quad (9)$$

відповідно поточна зміна зазору між спіралями

$$\delta_{\text{ном}} = \frac{\delta' + \delta''}{2}. \quad (10)$$

З урахуванням залежностей (6) і (9) поточна зміна зазору  $\delta_{\text{ном}}$  між спіралями пружного гвинтового елемента буде рівна

$$\delta_{\text{ном}} = 0,5 \cdot \left[ d_{01} \left( \frac{1}{1 - \frac{\varphi}{360}} - 1 \right) + d_{02} \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{\varphi}{360}} \right) \right]. \quad (11)$$

Дійсний зазор  $\delta$  між спіралями є різницею між початковим значенням  $\delta_0$  і його поточною зміною  $\delta_{\text{ном}}$  та з урахуванням залежності (11) рівний

$$\delta = \delta_0 - 0,5 \cdot \left[ d_{01} \left( \frac{1}{1 - \frac{\varphi}{360}} - 1 \right) + d_{02} \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{\varphi}{360}} \right) \right]. \quad (12)$$

За рівністю (12) можна дослідити зміну зазору із співвідношення зміни діаметрів спіралей внаслідок закручування гнучкого вала, а при його проектуванні необхідно враховувати навантаження і пружні характеристики спіралей. Тому для встановлення залежності зміни зазору від навантаження у вигляді обертального моменту, що сприймає гнучкий вал, конструктивних параметрів і пружних властивостей спіралі розглянемо випадок зміни  $\delta$  з використанням залежності [1]

$$\varphi = \frac{T \pi D i_n}{E I_o}, \quad (13)$$

де  $T$  – значення обертового моменту;  $D$  – середній діаметр спіралі;  $i_n$  – кількість витків;  $E$  – модуль пружності матеріалу при згині;  $I_o$  – осьовий момент інерції перерізу витка.

Для пружин, що працюють на кручення, кут закручування під дією моменту визначають за формулою, яка враховує вище вказані параметри і рівностей (5) і (8), які описують співвідношення між зміною діаметра і кутом закручування спіралі. У випадку коли закручування здійснюється проти напрямку її навівання, тобто відбувається збільшення діаметра спіралі початковий діаметр можна визначити із наступного співвідношення

$$d_{01} = d'_1 \left( 1 - \frac{\varphi}{360} \right), \quad (14)$$

а діаметр спіралі згідно рівності (13) буде рівний

$$d_{01} = \frac{\varphi EI_{c1}}{T \pi i_{c1}}. \quad (15)$$

Прирівнявши отримані залежності отримаємо формулу для визначення діаметра спіралі після деформації

$$d'_1 = \frac{\varphi EI_{c1}}{T \pi i_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)}. \quad (16)$$

Якщо виразити осьовий момент інерції перерізу витка спіралі через його конструктивні параметри, а кількість витків спіралі  $i_{c1}$  через співвідношення

$$i_{c1} = \frac{L_{c1}}{t_{c1}}, \quad (17)$$

де  $L_{c1}$  - лінійна довжина робочої частини спіралі;  $t_{c1}$  - крок спіралі, то рівність (16) набуде наступного вигляду

$$d'_1 = \frac{\varphi E r_1 t_{c1}}{4 T L_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)}, \quad (18)$$

де  $r_1$  - радіус спіралі.

Аналогічно для випадку зменшення діаметра спіралі залежність (18) з врахуванням співвідношення (8) запишеться як

$$d'_2 = \frac{\varphi E r_2 t_{c2}}{4 T L_{c2} \left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)}. \quad (19)$$

Поточну зміну зазору між спіралями окрім формули (10) можна виразити через різницю діаметрів спіралей після пружної деформації (рис.3)

$$\delta_{nom} = \frac{d'_2 - d'_1}{2}, \quad (20)$$

а з врахуванням залежностей (18) і (19) рівність (20) набуде наступного вигляду

$$\delta_{nom} = 0,5 \cdot \left[ \frac{\varphi E}{4 T} \left( \frac{r_1 t_{c1}}{L_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)} - \frac{r_2 t_{c2}}{L_{c2} \left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)} \right) \right]. \quad (21)$$

При умові, що поперечні перерізи, крок і кількість витків спіралей пружного елемента є ідентичними рівність (21) можна записати наступним чином

$$\delta_{nom} = 0,5 \cdot \left[ \frac{\varphi E r}{4 T} \left( \frac{1}{\left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)} \right) \right]. \quad (22)$$

З врахуванням залежності (22) рівність (12) для визначення дійсного зазору  $\delta$  між спіралями, в залежності від навантаження і їх пружних характеристик, можна представити у наступному вигляді

$$\delta = \delta_0 - 0,5 \cdot \left[ \frac{\varphi E r}{4 T} \left( \frac{1}{\left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)} \right) \right]. \quad (24)$$

Значення обертового моменту, що сприймає гнучкий вал можна знайти із співвідношення

$$T = \frac{\varphi E r}{16 \delta_{nom}} \left( \frac{1}{\left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)} \right). \quad (25)$$

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

В загальному випадку залежність між жорсткістю та моментом, що сприймає гнучкий вал можна виразити через кут закручення [2]

$$T = C \varphi. \quad (26)$$

То з врахуванням залежності (26) кут закручування і величину обертального моменту можна замінити рівноцінним значенням жорсткості  $C$ , яка є функцією кута закручування гвинтового пружного елемента. Відповідно жорсткість пружного комбінованого елемента буде рівною

$$C = \frac{Er}{16\delta_{nom}} \left( \frac{1}{\left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)} \right). \quad (27)$$

Для встановлення взаємовпливу конструктивно-силових параметрів комбінованого гвинтового пружного елемента на характеристики гнучкого вала, провівши розрахунок, за допомогою ПЕОМ, при наступних значеннях змінних параметрів  $T = 10..60$  Н·м;  $r = 0,002..0,01$  м;  $i_c = 5..15$ ;  $C = 3..27$  Н·м/рад;  $\delta_0 = 0,005..0,015$  м;  $\varphi = 5..165^\circ$ , вище наведених рівнянь графічною побудовою було отримано характеристики гнучкого вала  $T = f(\varphi)$  і залежності  $\delta = f(T; C; \varphi)$  при змінних значеннях конструктивних параметрів комбінованого пружного гвинтового елемента.

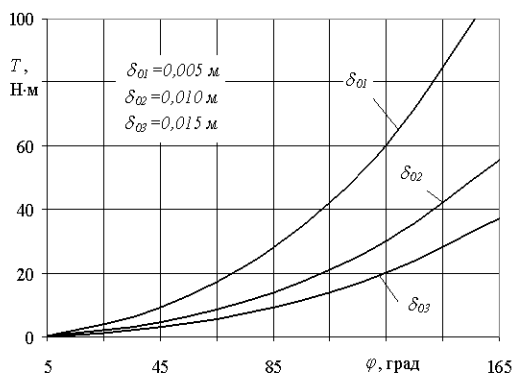


Рисунок 5 - Характеристика гнучкого вала  $T = f(\varphi)$

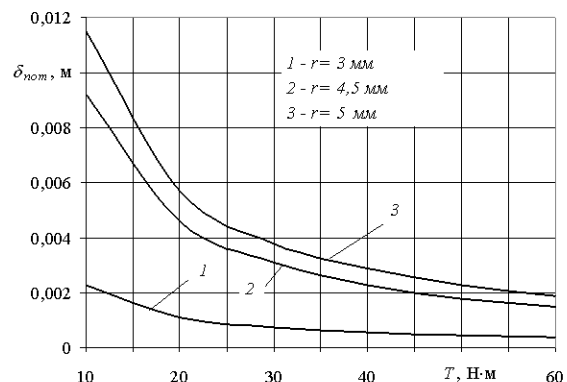


Рисунок 6 - Залежність зміни поточної величини зазору  $\delta_{nom} = f(T)$  при різних значеннях поперечного перерізу витків спіралей

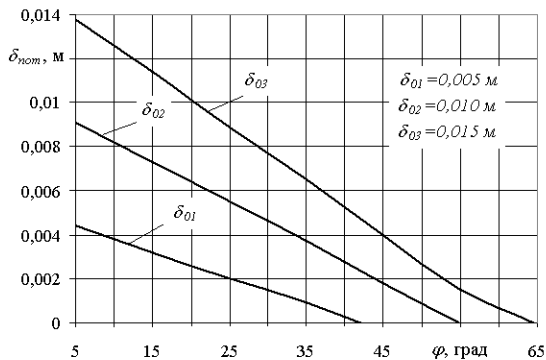


Рисунок 7 - Залежність зміни поточної величини зазору  $\delta_{nom} = f(\varphi)$  при різних значеннях початкового зазору  $\delta_0$

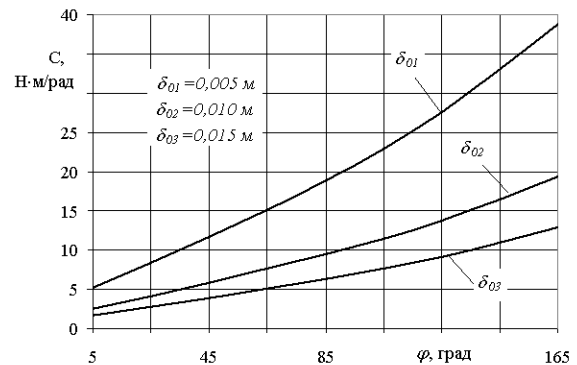


Рисунок 8 - Залежність зміни жорсткості  $C = f(\varphi)$  при різних значеннях початкового зазору  $\delta_0$  між спіралями

Згідно отриманої методом графічної побудови характеристики  $T = f(\varphi)$  вала можна зробити висновок, що даному гнучкому валу властива нелінійна характеристика, тобто даний пристрій характеризується змінною жорсткістю. А саме жорсткість вала збільшується із збільшенням пружної деформації гвинтового пружного елемента під дією навантаження, що є важливим показником і забезпечує стабільне функціонування приводу при резонансних режимах.

Проаналізувавши залежності  $\delta = f(T; \varphi)$  встановлено, що конструктивно-силові параметри гвинтового елемента мають визначальний вплив на діапазон його пружної деформації, яка характеризує пружні властивості гнучкого вала.

Так як значення  $\delta$  обмежується також міцністю спіралей пружного гвинтового елемента то умова міцності для комбінованого пружно-гвинтового елемента гнучкого вала буде наступною

$$\sigma = \frac{\varphi E r k'}{4\delta} \left( \frac{t_{c1}}{L_{c1} \left( 1 - \frac{\varphi}{360} \right)} - \frac{t_{c2}}{L_{c2} \left( 1 + \frac{\varphi}{360} \right)} \right) \leq [\sigma], \quad (28)$$

де  $k'$  - коефіцієнт кривизни витків;  $[\sigma]$  - допустиме напруження згину.

Кут закручування гнучкого вала пов'язаний із зміною величини зазору між спіралями лінійною залежністю згідно якої встановлено, що для валів з початковим значенням зазору  $\delta_0 = 0,005$  м оптимальний кут закручування знаходиться в межах  $\varphi = 40..43^\circ$ , для  $\delta_0 = 0,01$  м -  $\varphi = 53..55^\circ$  і для  $\delta_0 = 0,015$  м кут закручування  $\varphi = 63..65^\circ$ . Аналізом отриманої залежності виявлено, що при однакових параметрах навантаження і пружних характеристиках спіралей дане співвідношення справджується і для більших значень зазору.

Функція  $C = f(\varphi)$  свідчить про лінійне збільшення початкового значення жорсткості пружного гвинтового елемента паралельно із збільшенням кута закручування вала. Зокрема при менших значеннях зазору ( $\delta = 0,005$  м) жорсткість пружного елемента в 1,9...3 рази більша ніж для більших значень зазорів ( $\delta = 0,01..0,015$  м) при однакових кутах закручування гнучкого вала, що пояснюється ширшим діапазоном пружної деформації спіралей без їх контакту.

#### Інформаційні джерела

1. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин./ В.Т. Павлище// - К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
2. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам./ О.А. Ряховский, С.С. Иванов// - Л.: Политехника, 1991. – 384 с.
3. Иванов М.Н. Детали машин./ М.Н. Иванов// – М.: Высшая школа 1991. – 383с.
4. Решетов Д.Н. Детали машин./ Д.Н. Решетов //– М.: Машиностроение, 1989. 496 с.
5. Овчаренков Б.З. та інші Розрахунки і проектування деталей машин. Харків 2008. 316с.
6. Патент №10250 Україна. Гвинтовий конвеєр з гнучким приводним валом . Гевко Б.М. та інші Бюл. №11, 2005.

УДК 546.212

Н.В. Глухова, к.т.н

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»

#### СТАТИСТИЧНИЙ ТА СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ КІРЛІАНОГРАМ

*Для оцінки інтегральних характеристик рідиннофазних об'єктів використовується метод отримання зображень шляхом фіксації газорозрядного випромінювання зразка в електромагнітному полі високої напруженості (ефект Кірліан). Результатом реєстрації картини світіння є зображення на фотоматеріалі (кірліанограма). З метою виявлення характерних ознак та класифікації груп досліджуваних зразків рідиннофазних об'єктів пропонуються методики статистичного та спектрального аналізу отриманих експериментальним шляхом кірліанограм. Спектральний аналіз зображень газорозрядного випромінювання реалізований з використанням вейвлет-перетворення. Обраний підхід забезпечує вивчення кірліанограм з різними рівнями деталізації.*

**Ключові слова:** газорозрядна візуалізація, ефект Кірліан, рідиннофазний об'єкт, статистичний аналіз, спектральний аналіз, вейвлет.

*Для оценки интегральных характеристик жидкофазных объектов используется метод получения изображений путем фиксации газоразрядного излучения образца в электромагнитном поле высокой напряженности (эффект Кирлиан). Результатом регистрации картины свечения является изображение на фотоматериале (кирлианограмма). С целью выявления характерных особенностей и классификации групп исследуемых образцов жидкофазных объектов предложены методики статистического и спектрального анализа полученных экспериментальным путем кирлианограмм. Спектральный анализ изображений газоразрядного излучения реализован с использованием вейвлет-преобразования. Выбранный подход обеспечивает изучение кирлианограмм с разными уровнями детализации.*

**Ключевые слова:** газоразрядная визуализация, эффект Кирлиан, жидкофазный объект, статистический анализ, спектральный анализ, вейвлет.