

Під час дослідження кривошипно-коромислового просторового механізму газорозподілу двигуна внутрішнього згорання за заданими конструктивними параметрами ланок знайдено залежності:

1. Залежність радіуса кривошипа  $r$  та довжини шатуна  $d$  від величини розмаху  $\gamma$  коромисла за параметрів механізму  $a=60$  см,  $b=70$  см,  $c=60$  см,  $\beta=45^\circ$ ,  $\psi_1=135^\circ$ ,  $l=80$  см (рис. 2).
2. Залежність  $r$  і  $d$  від довжини коромисла за  $a=60$  см,  $b=70$  см,  $l=80$  см,  $\beta=45^\circ$ ,  $\gamma_1=135^\circ$ ,  $\gamma=80^\circ$  (рис. 3).
3. Залежність зміни кутової швидкості  $\omega_1/\omega$  (крива 1) та кутового пришвидшення  $\varepsilon_r/\omega^2$  (крива 2) кривошипа за  $a=60$  см,  $b=70$  см,  $l=80$  см,  $c=60$  см,  $\beta=45^\circ$ ,  $\psi_1=135^\circ$ ,  $\gamma=80^\circ$ ,  $r=33,23$  см,  $d=88,16$  см (рис. 4).

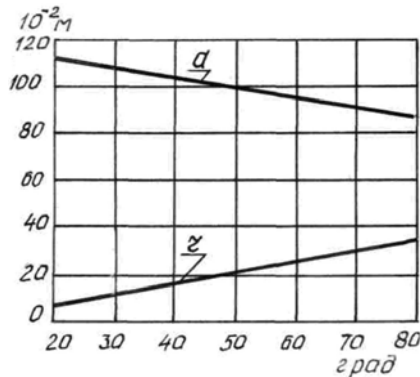


Рис. 2. Залежність радіуса кривошипа  $r$  та довжини шатуна  $d$  від величини розмаху  $\gamma$  коромисла

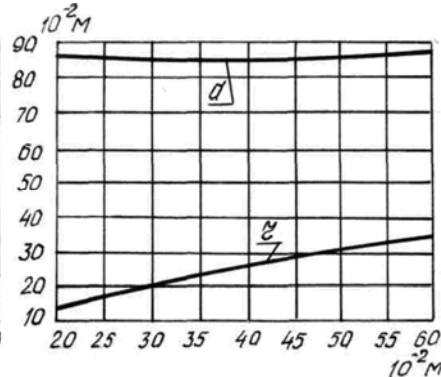


Рис. 3. Залежність  $r$  і  $d$  від довжини коромисла

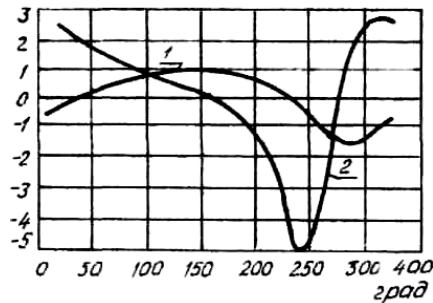


Рис. 4. Залежність зміни кутової швидкості  $\omega_1/\omega$  (крива 1) та кутового пришвидшення  $\varepsilon_r/\omega^2$  (крива 2)

**Висновки.** Отже, у роботі проведено аналітичне дослідження чотириланкового кривошипно-коромислового механізму газорозподілу двигуна внутрішнього згорання, визначено конструктивні та кінематичні параметри його ланок, отримано числові залежності радіуса кулачка  $r$  і довжини шатуна  $d$  від величини розмаху  $\gamma$  коромисла, а також залежність  $r$  і  $d$  від довжини коромисла.

## Література

1. Босой Е.С. Теория конструкций и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой и др. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1977. – 568 с.
2. Тракторы и автомобили / под ред. В.А. Скотникова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 439 с.
3. Токарев Г.А. К вопросу о синтезе пространственных механизмов методом геометрического преобразования пространства. / Г.А. Токарев // Труды Московского авиационного института. – М. – 1968. – Вып. 1. – С. 125-130.
4. Кореняко О.С. Теория механизмов и машин / О.С. Кореняко. – К. : Вид-во "Вища шк.", 1987. – 206 с.
5. Зиновьев В.А. Курс теории механизмов и машин / В.А. Зиновьев. – М. : Изд-во "Наука", 1975. – 384 с.
6. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин / Я.Т. Кіницький. – К. : Вид-во "Наук. думка", 2002. – 656 с.

### Ацбергер И.Л., Нищенко И.И., Нищенко И.О., Выходец В.В., Стукалец И.Г. Определение конструктивных и кинематических параметров механизма газораспределения двигателей внутреннего сгорания

Проведено аналітичне дослідження механізму газорозподілу двигателя внутрішнього згорання, визначено конструктивні та кінематичні параметри його звеньїв, знайдено залежності між зв'язками в процесі роботи механізму.

**Ключевые слова:** системы регулирования, аналитические методы, параметры, пространственные звенья, вращательные и сферические пары, математические зависимости, кривошип, коромысло, координаты точек, конструктивные и кинематические параметры.

### Atsberger Yo.L., Nishchenko I.I., Nishchenko I.O., Vykhodets' V.V., Stukalets' I.G. Determination of design and kinematic parameters of the timing mechanism of the internal combustion engines

The paper contains an analytical study of the timing mechanism of the internal combustion engine, identified structural and kinematic parameters of its parts, showing the relationship between links in the process mechanism.

**Keywords:** control systems, analytical methods, parameters, spatial level, rotational and spherical pairs, mathematical dependence, crank, rocker, the coordinates of points, structural and kinematic parameters.

УДК 534.111 Ст. викл. І.І. Верхола<sup>1</sup>, канд. техн. наук; асист. М.Б. Сокіл<sup>2</sup>, канд. техн. наук; викл. О.І. Хитряк<sup>1</sup>; доц. А.П. Сенік<sup>2</sup>, канд. фіз.-мат. наук

### ВПЛИВ ЗМІННОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ГНУЧКИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВІДНИХ СИСТЕМ НА ЧАСТОТНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ КОЛИВАНЬ

Досліджено вплив змінної в часі швидкості позовжнього руху гнучких елементів привідних систем на частотну характеристику коливань. В основу досліджень покладено методи Бубнова-Гальоркіна та WBKJ (Wentzel, Brillown, Kramers, Jeffrey's). Отримано розрахункові формули для різних режимів перехідних процесів (розгону і гальмування).

**Ключові слова:** змінна швидкість, методи Бубнова-Гальоркіна та WBKJ.

<sup>1</sup> Академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

<sup>2</sup> НУ "Львівська політехніка"

**Актуальність і огляд основних результатів.** Різні дослідження, пов'язані з динамічними процесами в однорідних нелінійно-пружних гнучких елементах систем приводів, проводились переважно за їх сталої швидкості поздовжнього руху [1-4]. Проте у більшості випадків ця величина є змінною в часі. Вважаючи її незмінною, накладаються значні обмеження, які призводять до певних неточностей проведених досліджень не тільки у кількісних, але і якісних характеристиках процесу. Адже відомо, що навіть стала швидкість поздовжнього руху впливає на стійкість коливань гнучких елементів [5], що може привести до їх зриву [5, 6], та з нею пов'язане таке явище, як самозахоплення. Тому врахування впливу змінної в часі швидкості руху гнучких елементів приводних систем на частоту їх власних коливань є актуальною проблемою.

**Постановка задачі та методика її розв'язування.** Нехай гнучкий елемент приводної системи рухається із поздовжньою швидкістю  $V = V(t)$ . Вважатимемо, що його поперечний переріз є незмінним, а маса рівномірно розподілена вздовж довжини. Математичною моделлю поперечних коливань такого гнучкого елемента є диференціальне рівняння [1-6]

$$u_{tt}(x,t) + 2V(t)u_{xt}(x,t) - (S\rho^{-1} - V^2(t))u_{xx}(x,t) + \rho^{-1}\dot{V}(t)u_x(x,t) = 0, \quad (1)$$

де:  $u(x,t)$  – поперечне переміщення перерізу гнучкого робочого елемента приводу з координатою  $x$  в довільний момент часу  $t$ ;  $S$  – натяг у гнучкому елементі приводу;  $\rho$  – його погонна маса.

Для його розв'язання використаємо основну ідею методу Бубнова-Гальоркіна [1], яка дає змогу рівняння (1) привести до вигляду

$$T''(t) + S\rho^{-1}(k\pi l^{-1})^2(1 - V^2(t)\rho S^{-1})T(t) = 0. \quad (2)$$

Оскільки  $S\rho^{-1}(k\pi l^{-1})^2$  є достатньо великою величиною, то, відповідно до методу WBKJ, поведінку розв'язків рівняння (2) за змінної швидкості руху описують функцією

$$g = \exp\left(\pm ik\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}}\int_0^t\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}dt\right). \quad (3)$$

Отож, лінійно незалежні розв'язки цього рівняння із змінними коефіцієнтами будемо шукати у вигляді

$$T_{1,2} = \exp\left(\pm i\frac{k\pi}{l}\sqrt{S\rho^{-1}}\int_0^t\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}dt\right)z(t, k\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}}), \quad (4)$$

де функція  $z(t, k\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}})$  є повільно змінною.

Шляхом диференціювання (4) з урахуванням (2) отримуємо рівняння для знаходження невідомої функції  $z(t, k\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}})$  у вигляді

$$\frac{d^2z}{dt^2} \pm 2i\frac{k\pi}{l}\sqrt{S\rho^{-1}}\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}\frac{dz}{dt} \pm i\frac{k\pi}{l}\sqrt{S\rho^{-1}}\frac{d}{dt}\left(\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}\right)z = 0 \quad (5)$$

$$\text{або} \quad \frac{l}{k\pi}\sqrt{S\rho^{-1}}\frac{d^2z}{dt^2} \pm 2i\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}\rho S^{-1}\frac{dz}{dt} \pm i\frac{d}{dt}\left(\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}\right)z = 0. \quad (6)$$

Вважають, що функція  $z(t, k\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}})$  є повільно змінною, а значить максимальні значення її першої та другої похідних є малими. Нехтуючи у наведених вище співвідношеннях величинами першого та другого порядку малими, знаходимо

$$z(t) = c(1 - V^2(t)\rho S^{-1})^{-0,25}. \quad (7)$$

Таким чином, лінійно незалежні розв'язки рівняння (2) мають вигляд

$$T_{1,2} = c_{1,2}(1 - V^2(t)\rho S^{-1})^{-0,25} \exp\left(\pm ik\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}}\int_0^t\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}dt\right) \quad (8)$$

$$\text{або} \quad T_1 = \bar{c}_1(1 - V^2(t)\rho S^{-1})^{-0,25} \cos\left(k\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}}\int_0^t\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}dt\right),$$

$$T_2 = \bar{c}_2(1 - V^2(t)\rho S^{-1})^{-0,25} \sin\left(k\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}}\int_0^t\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}dt\right).$$

У наведених вище співвідношеннях  $c, c_1, c_2$  – довільні сталі.

Загальний розв'язок можна представити у вигляді

$$T = a(t)\cos(\Omega(t) + \theta(t)), \quad (9)$$

де:  $a(t) = \bar{a}(1 - V^2(t)\rho S^{-1})^{-0,25}$ , ( $\bar{a}$  – довільна стала), а

$$\Omega(t) = k\pi l^{-1}\sqrt{S\rho^{-1}}\int_0^t\sqrt{1 - V^2(t)\rho S^{-1}}dt. \quad (10)$$

Нижче, на рис. 1-3 представлені графічні залежності зміни в часі частоти власних коливань гнучкого елемента для наступних законів зміни швидкості руху гнучких елементів  $V = V_0 \pm bt^2$  і  $V = V_0 \pm bt^3$ .

Із цих графічних залежностей випливає: для режиму розгону за кубічного закону зміни швидкості поздовжнього руху зрив коливань відбувається швидше на 28 %, ніж за квадратичного; для режиму гальмування – на 20 %.

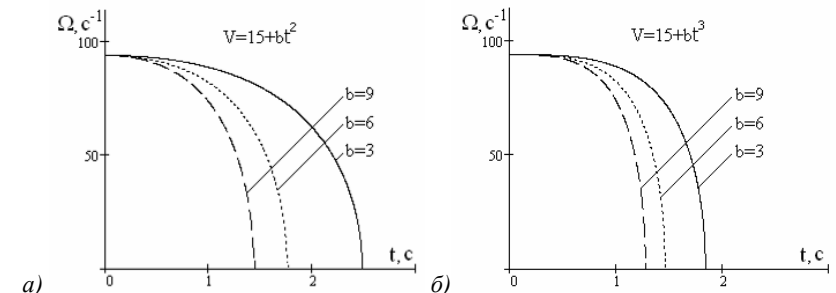


Рис. 1. Залежність частоти коливного процесу від часу (режим розгону)

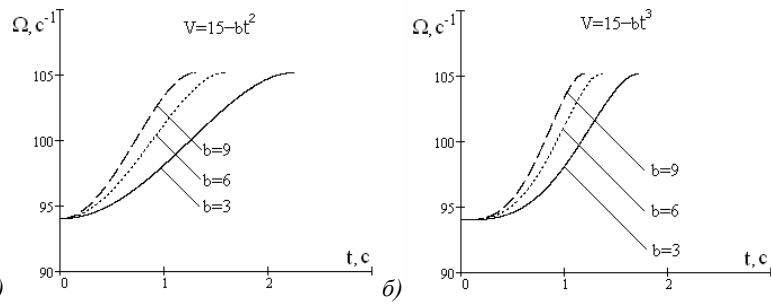


Рис. 2. Залежність частоти коливного процесу від часу (режим гальмування)

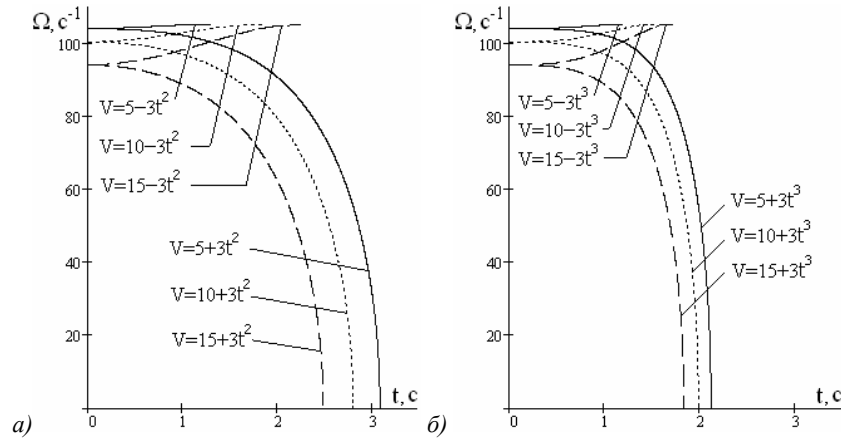


Рис. 3. Залежність частоти коливного процесу від часу для періоду розгону і гальмування за  $S = 280 \text{ Н}$ ,  $\rho = 0.25 \text{ кг/м}$  та  $V = V_0 \pm bt^2$

**Висновки.** Шляхом використання методу WBKJ, для лінійних аналогів систем отримано залежність для знаходження спектра власних частот коливань гнучких елементів за змінної швидкості їх поздовжнього руху. Розглянуто режими розгону і гальмування. На конкретних прикладах з'ясовано, що для періоду розгону зрив коливань відбувається за менший проміжок часу у випадку стрімкішої зміни швидкості поздовжнього руху, зокрема за кубічного закону зміни швидкості зрив коливань відбувається швидше на 28 %, ніж за квадратичного ( $V_0 = 15 \text{ м/с}$ ); для періоду ж гальмування – на 20 % ( $V_0 = 15 \text{ м/с}$ ).

### Література

1. Chen L-Q. The regular and chaotic vibrations of an axially moving viscoelastic string based on fourth order Galerkin truncation / Chen L-Q, Zhang N-H, Zu J-W // Journal of Sound and Vibration. – 2003. – № 261(1). – Pp. 764-773.
2. Lixin Z. Dynamic analysis of viscoelastic serpentine belt drive systems: A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of doctor of philosophy / Zhang Lixin – Department of mechanical and industrial engineering university of Toronto. – Kanada, 1999. – 349 p.
3. Marynowski K. Kelvin-Voigt versus Burgers internal damping in modelling of axially moving viscoelastic web / K. Marynowski, T. Kapitaniak // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2002. – № 37(7). – Pp. 1147-1161.

4. Мартинців М.П. Одне узагальнення методу Д'Аламбера для систем, які характеризуються поздовжнім рухом / М.П. Мартинців, М.Б. Сокіл // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.4. – С. 64-67.

5. Гашук П.М. Вимушені коливання рухомих одновимірних нелінійно-пружних систем і метод Ван-дер-Поля у їх дослідженні / П.М. Гашук, І.І. Назар // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.1. – С. 300-304.

6. Сокіл Б.І. Динамічні процеси у рухомих одновимірних системах і узагальнення методу Ван-дер-Поля для їх дослідження / Б.І. Сокіл, І.І. Назар // машинознавство : наук.-техн. і виробн. журнал. – 2006. – № 8. – С. 10-14.

### Верхола І.І., Сокіл М.Б., Хытряк О.І., Сеньк А.П. Влияние переменной скорости движения гибких элементов приводных систем на частотную характеристику колебаний

Исследовано влияние переменной во времени скорости продольного движения гибких элементов приводных систем на частотную характеристику колебаний. В основу исследований положены методы Бубнова-Галеркина и WBKJ (Wentzel, Brillouin, Kramers, Jeffrey's). Получены расчетные формулы для различных режимов переходных процессов (разгона и торможения).

**Ключевые слова:** переменная скорость, методы Бубнова-Галеркина та WBKJ.

### Verhola I.I., Sokil M.B., Khytriak O.I., Senik A.P. Influence of a variable speed drive systems of flexible elements on the frequency characteristics of oscillations

Investigate the influence of time variable velocity of the longitudinal motion of flexible components of drive systems in the frequency response of the oscillations. The research is based on the method of Bubnov-Galerkin WBKJ (Wentzel, Brillouin, Kramers, Jeffrey's). They are obtained formulas for different modes of transition (acceleration and deceleration).

**Keywords:** variable speed the method of Bubnov-Galerkin, the method of WBKJ.

УДК 684.4.059.4 Асист. О.М. Кушніт; доц. А.С. Кушніт, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

### ВОДОРОЗЧИННІ ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ МЕБЛЕВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Сучасний асортимент лакофарбової продукції для опорядження меблевих виробів включає широку гаму композицій, починаючи від нітроцелюлозних лаків і завершуючи поліуретановими та акриловими. З кожним роком вимоги до ЛФМ в Україні зростають, тому важливо використовувати матеріали, що відповідають умовам якості та екології. Водорозчинні лаки мають добрі адгезійні властивості та утворюють тонку еластичну плівку на деревині.

**Ключові слова:** опорядження, лаки, деревина, водорозчинні лакофарбові матеріали, екологія.

Сучасний асортимент лакофарбової продукції для опорядження меблів досить різноманітний і включає широку гаму композицій, починаючи від нітроцелюлозних лаків і завершуючи поліуретановими й акриловими.

Лаки розрізняють:

- за хімічним складом: водорозчинні, на основі штучних масляних смол (алкідні та уретаналкідні), поліуретанові на безводній основі, кислотно-отверджені, на основі смол формальдегідів;
- за технологічними властивостями (наприклад, за способом нанесення, в'язкості, текучості);