

*reconstruction of a modern pig-breeding farms and complexes in the conditions of growing shortage of energy resources, attention is paid to energy saving systems of microclimate, based on the reduction of heat losses with ventilation emissions through protecting designs, as well as on the use of alternative energy and currently used in domestic practice the methods and techniques of removal of pig manure areas.*

*In the construction and reconstruction of modern farms and complexes in the conditions of growing shortage of energy resources an important issue is the introduction of energy saving technologies. The most energy-intensive parameters and different heating and ventilation. The cost is 45...50% of the total cost of the equipment for the complex.*

*Alternative energy sources focuses primarily on biofuels, the production of which can be carried on its own resource base. Such power sources include a diesel fuel substitute from vegetable oils, biogas produced in the digesters, liquid and solid fuels – pyrolysis products of manure and industrial waste.*

*In addition to biofuels intensively revive and moderniziruyutsya energy sources based on wind strength. The wider application of wind energy in the pig requires further research. Very limited and of dubious importance such sources of energy as solar radiation. The high cost of solar panels currently is not justified.*

**Keywords: pigs, husbandry, energy-saving technologies, heating system, ventilation system, wind power, biofuels**

УДК 631.3:62-231.3

## **КОЛИВАННЯ ГВИНТОВОГО З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПІД ВПЛИВОМ ПОПЕРЕЧНОЇ ВІБРАЦІЇ**

**Я. М. Михайлович, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України**

**А. М. Рубець, кандидат технічних наук  
Білоцерківський національний аграрний університет  
e-mail: yaroslav\_m@ukr.net**

**Анотація.** Запропоновано аналітичні залежності кінематичних параметрів точок осьової лінії різьбового стрижня гвинтового з'єднання. Отримані результати характеризують кінематичну навантаженість з'єднання.

Кінематичні параметри різьбових з'єднань є достатньо інформативними для практики. На основі аналізу залежностей можна судити про доцільність використання того чи іншого

© Я. М. Михайлович, А. М. Рубець, 2016

способу забезпечення працездатності різьбового з'єднання. Подальші дослідження з введенням у залежності крім модулів напрямки векторів швидкостей та прискорень дозволять робити рекомендації про доцільність встановлення гвинтів з відповідним напрямом гвинтової лінії різьби.

Наявність максимумів і мінімумів на графіках прискорень періодичного чи стохастичного характеру до  $27,5 \text{ рад/с}^2$  свідчить про кінематичну навантаженість різьбового з'єднання і актуалізує забезпечення точності розрахунків з'єднання на міцність і точності надання зусилля попереднього загвинчування.

Критичними зонами в роботі гвинтового з'єднання є моменти вищенаведених екстремумів у поєднанні з позаддовжніми коливаннями різьбового з'єднання, коли фази мінімумів чи максимумів співпадають з фазами осьових вібраційних навантажень. Ці умови потребують подальшого вивчення.

**Ключові слова:** різьбове з'єднання, сільськогосподарська техніка, кінематика

**Постановка проблеми.** Гвинтові з'єднання сільськогосподарської техніки знаходяться під впливом вібраційних навантажень у трьох координатних напрямках. Вивчення кінематики відповідальних точок з'єднання під впливом такого характеру вібрації є актуальними з огляду необхідності підвищення ресурсу різьбових з'єднань.

Вібраційне навантаження в напрямку поперечному до осі різьбового стрижня спричинює відповідний рух площини контакту опорної поверхні головки гвинта і приєднуваної деталі. Відтак, опорна поверхня зазнає кутових переміщень, аналіз яких дозволить виявити критичні режими роботи різьбового з'єднання і спланувати запобіжні заходи для уникнення відмови.

**Аналіз останніх досліджень.** На теперішній час ведуться дослідження кінематики різьбового з'єднання: аналіз впливу вібрації у напрямі, поперечному до осі різьбового стрижня на працездатність з'єднання, дозволив отримати залежність зміни величини відносного переміщення з'єднаних деталей, від часу та зусилля їх притискання [1].

Запропоновано забезпечувати необхідний ресурс різьбового з'єднання шляхом вибору параметрів різьбового з'єднання, за яких відбуватиметься врівноваження коливань, а результуючі коливання матимуть меншу інтенсивність впливу [2].

Встановлено, що протягом роботи болтових з'єднань критичними є почергові косі послаблення опорної поверхні гайки у поєднанні із дією крутного моменту у бік розгвинчування [3].

Відносні коливання з'єднаних деталей при впливі поперечної вібрації виникають тоді, коли амплітуда сумарної вимушеної сили достатньо велика порівняно із силою тертя, а поблизу резонансних режимів наявність сухого тертя не обмежує амплітуду відносних коливань з'єднаних деталей [4].

Зменшення різниці початкових фаз поперечних коливань дозволить зменшити крутий ефект вібрації, що особливо актуально в момент відмінного від нуля значення різниці початкових фаз повздовжніх коливань під опорною поверхнею головки болта і гайки [5]. Одним з шляхів підвищення наробітку різьбового з'єднання до послаблення є оптимізація довжини різьбового стрижня з огляду на його згинальну податливість та необхідність забезпечення певної жорсткості у осьовому напрямку [6].

З огляду літературних джерел стає зрозумілою потреба у подальшому вивченні питання кінематики різьбового з'єднання.

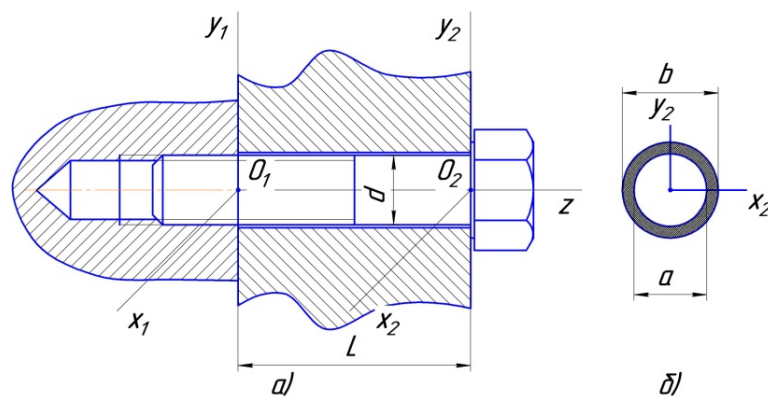


Рис. 1. Гвинтове з'єднання: а) ескіз; б) опорна поверхня головки гвинта.

**Метою досліджень** є отримання і аналіз залежностей зміни кінематичних параметрів гвинтового з'єднання, що працює в умовах поперечної вібрації. У дослідженні використовуються теоретичні методи досліджень, зокрема теоретична механіка, математичний аналіз, механіка матеріалів. Теоретичні дослідження проведені з використанням пакетів прикладних програм MatLab R-2007b, Mathcad 14.

**Результати досліджень.** До моменту надання необхідного зусилля притискання з'єднані деталі гвинтового з'єднання мають різні амплітуди, частоти та початкові фази. Після монтажу з'єднання не значні коливання поглинаються, а залишаються коливання робочі, вплив яких на різьове з'єднання обумовлює технічний стан з'єднання протягом певного наробітку.

Рух точки, що лежать на нейтральній лінії різьбового стрижня буде задаватись характером вібрації з'єднаної деталі, на яку

опирається гайка. Коливання точок на відріжку  $O_1 O_2$  можна звести до найпростішої параметричної форми:

$$\begin{cases} x_1 = a_{x1} \sin(\omega_{x1}t + \varphi_{x1}) \\ y_1 = a_{y1} \sin(\omega_{y1}t + \varphi_{y1}) \\ z_1 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = a_{x2} \sin(\omega_{x2}t + \varphi_{x2}) \\ y_2 = a_{y2} \sin(\omega_{y2}t + \varphi_{y2}) \\ z_2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Протягом періоду нормальної роботи різьбове з'єднання виконуватиме відносний рух в межах пружних деформацій. Точки, що лежать на нейтральній лінії різьбового стрижня, виконуватимуть складний рух (рис. 2). Різні значення частот, початкових фаз та амплітуд задаватимуть кутові відхилення різьбового стрижня і гайки відносно положення рівноваги.

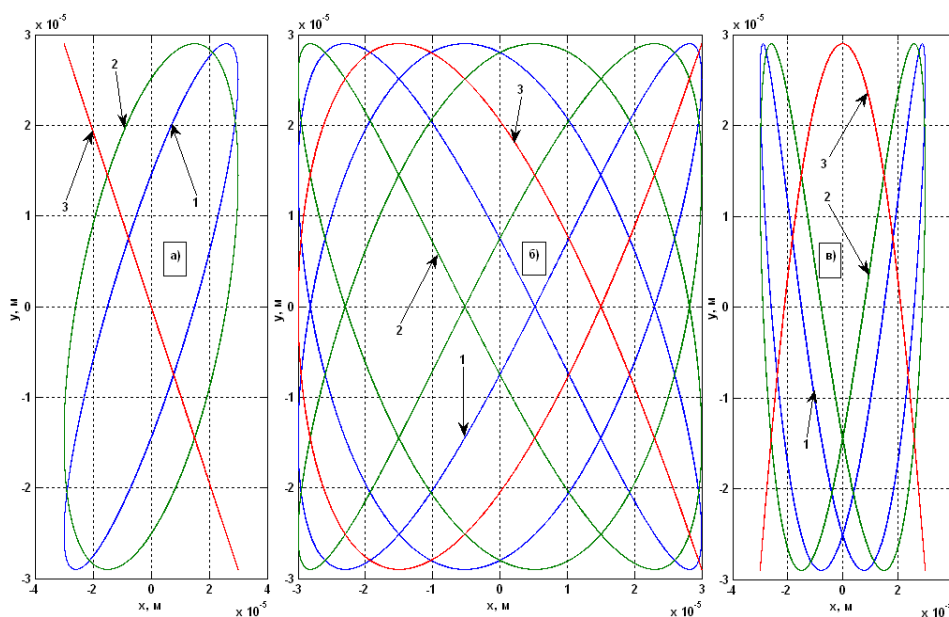


Рис. 2. Траєкторія руху точки  $O_2$  за різниці початкових фаз коливань 1 –  $\pi/6$ , 2 –  $\pi/3$ , 3 –  $\pi$ : а- $\omega_x/\omega_y=1$ ; б- $\omega_x/\omega_y=1,5$ ; в- $\omega_x/\omega_y=2$ .

До моменту послаблення різьбового з'єднання опорна поверхня головки гвинта різьбового з'єднання працюватиме під впливом результуючого коливання, яке надійшло від інших деталей та робочих органів машини. Математичний опис сумарного вібраційного навантаження в даній роботі не приводиться.

Враховуючи прийняте спрощення, що різниця осевого переміщення точок  $O_1$  та  $O_2$  дорівнює нулю ( $z=0$ ), кут повороту відрізка  $L$  (осьова лінія різьбового стрижня) відносно площини  $O x_1 y_1$  визначається залежністю:

$$L \cos(\gamma) = l_k \text{ або } \gamma = \arccos\left(\frac{l_k}{L}\right). \quad (2)$$

Підставляючи залежність, що наведена вище, отримаємо:

$$\gamma = \arccos\left(\frac{\sqrt{(x_{O2}-x_{O1})^2+(y_{O2}-y_{O1})^2}}{L}\right). \quad (3)$$

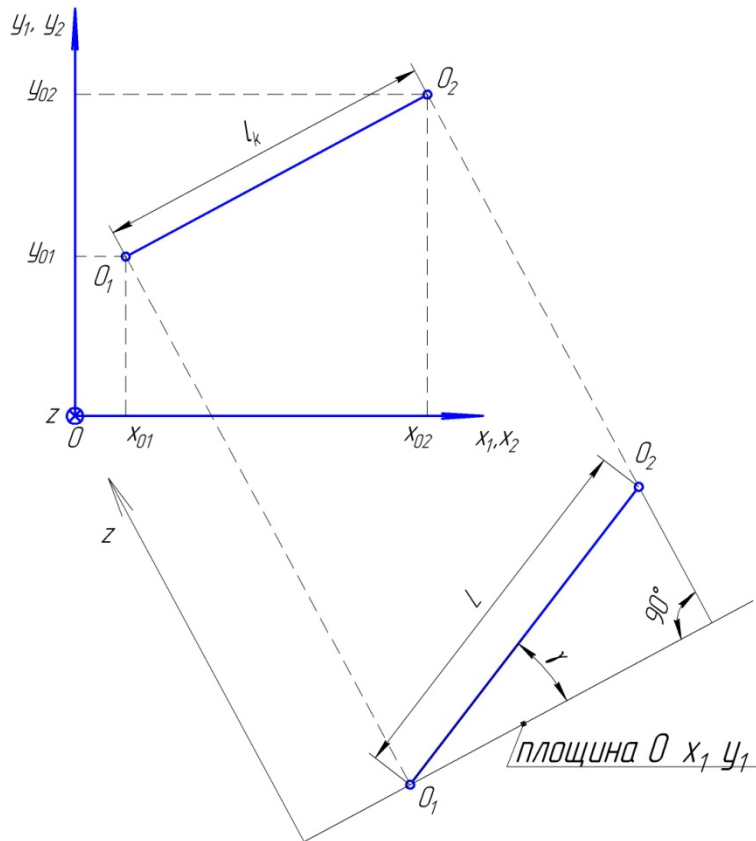


Рис. 3. Схема до визначення переміщень.

Враховуючи значення координат  $x$  та  $y$  отримаємо загальну залежність зміни кута відхилення осьової лінії різьбового стрижня від вертикалі:

$$\gamma_B = \frac{\pi}{2} - \arccos \left( \frac{\sqrt{(a_{x2} \sin(\omega_{x2}t + \varphi_{x2}) - a_{x1} \sin(\omega_{x1}t + \varphi_{x1}))^2 + (a_{y2} \sin(\omega_{y2}t + \varphi_{y2}) - a_{y1} \sin(\omega_{y1}t + \varphi_{y1}))^2}}{L} \right). \quad (4)$$

Диференціюючи отриману залежність по часу, отримаємо загальний вираз зміни кутової швидкості:

$$\omega = - \frac{2 \left( a_{x2} \omega_{x2} \cos(\omega_{x2}t) - a_{x1} \omega_{x1} \cos\left(\omega_{x1}t + \frac{\pi}{k_1}\right) \right) \left( a_{x1} \sin\left(\omega_{x1}t + \frac{\pi}{k_1}\right) - a_{x2} \sin(\omega_{x2}t) \right) + 2L \sqrt{\left( a_{x1} \sin\left(\omega_{x1}t + \frac{\pi}{k_1}\right) - a_{x2} \sin(\omega_{x2}t) \right)^2 + \left( a_{y1} \sin\left(\omega_{y1}t + \frac{\pi}{k_2}\right) - a_{y2} \sin(\omega_{y2}t) \right)^2} + 2 \left( a_{y2} \omega_{y2} \cos(\omega_{y2}t) - a_{y1} \omega_{y1} \cos\left(\omega_{y1}t + \frac{\pi}{k_2}\right) \right) \left( a_{y1} \sin\left(\omega_{y1}t + \frac{\pi}{k_2}\right) - a_{y2} \sin(\omega_{y2}t) \right)}{\sqrt{1 - \frac{\left( a_{x1} \sin\left(\omega_{x1}t + \frac{\pi}{k_1}\right) - a_{x2} \sin(\omega_{x2}t) \right)^2 + \left( a_{y1} \sin\left(\omega_{y1}t + \frac{\pi}{k_2}\right) - a_{y2} \sin(\omega_{y2}t) \right)^2}{L^2}}}. \quad (5)$$

де:  $k_1, k_2$  – число кратності початкової фази відповідно точки  $O_1$  та  $O_2$ ;  $L$  – товщина приєднуваної деталі, м.

Графіки залежностей кута повороту від різних значень початкових фаз наведено на рис. 4.

З графіка видно, що залежність зміни є періодичною функцією у випадку кратних частот. На графіку кутових прискорень коливань (рис. 5) простежуються випадкові пікові значення, що досягають

$27,5 \text{ c}^{-2}$ . Дане явище виникає через накладання коливань різної кругової частоти, амплітуди та підсилюється різницею початкових фаз. Наявність піків свідчать про кінематичну навантаженість різьбового з'єднання кутовими коливаннями відносно осі OZ.

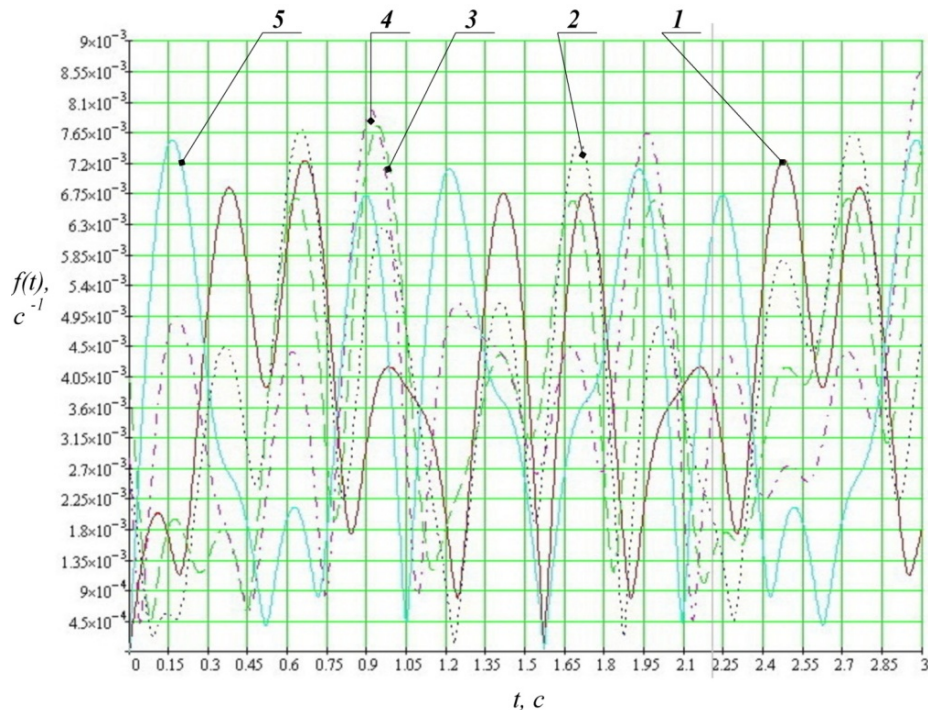


Рис. 4. Графіки залежностей кута повороту від різних значень початкових фаз: 1 – 0; 2 –  $\pi/4$ ; 3 –  $\pi/2$ ; 4 –  $3\pi/4$ ; 5 –  $\pi$ .

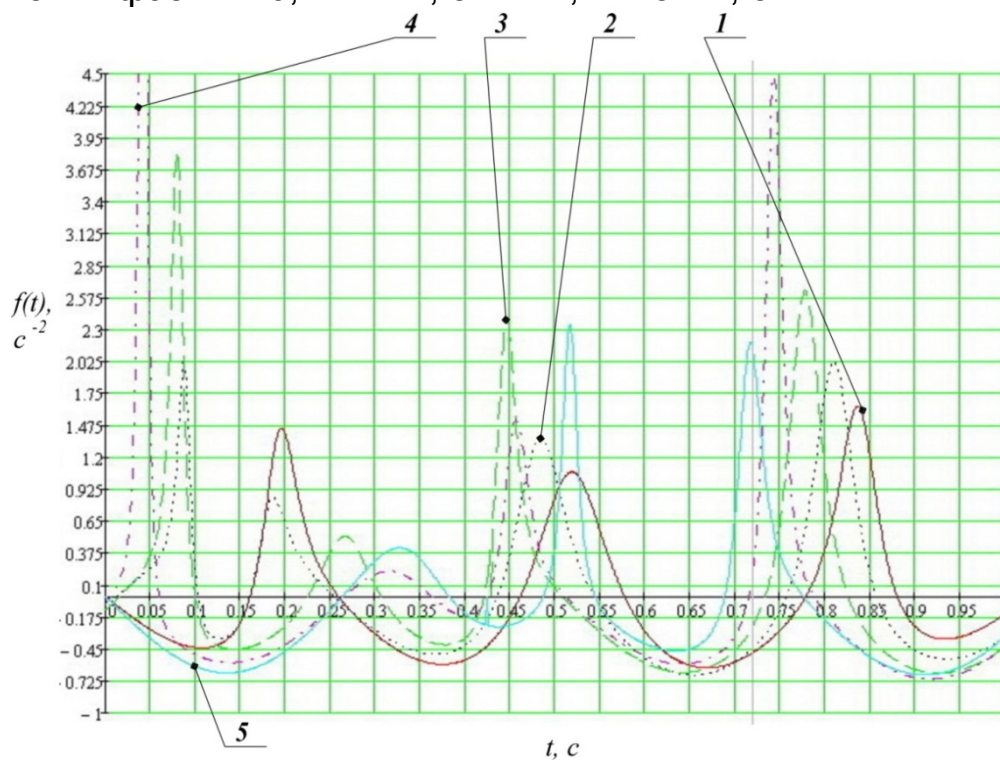


Рис. 5. Графіки залежностей кутового прискорення від різних значень початкових фаз: 1 – 0; 2 –  $\pi/4$ ; 3 –  $\pi/2$ ; 4 –  $3\pi/4$ ; 5 –  $\pi$ .

Вираз кутового прискорення має порівняно великі розміри і в статті не наводимо. З графіка видно, що при всіх інших незмінних параметрах прискорення змінюється за спадною функцією зі збільшенням товщини приєднуваної деталі  $L$  (рис. 6).

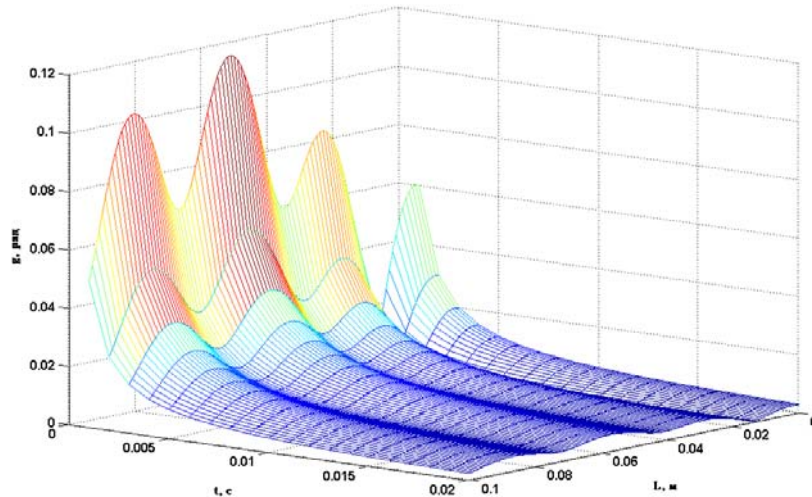


Рис. 6. Графік залежності зміни кута нахилу різьбового стрижня від товщини приєднуваної деталі та часу.

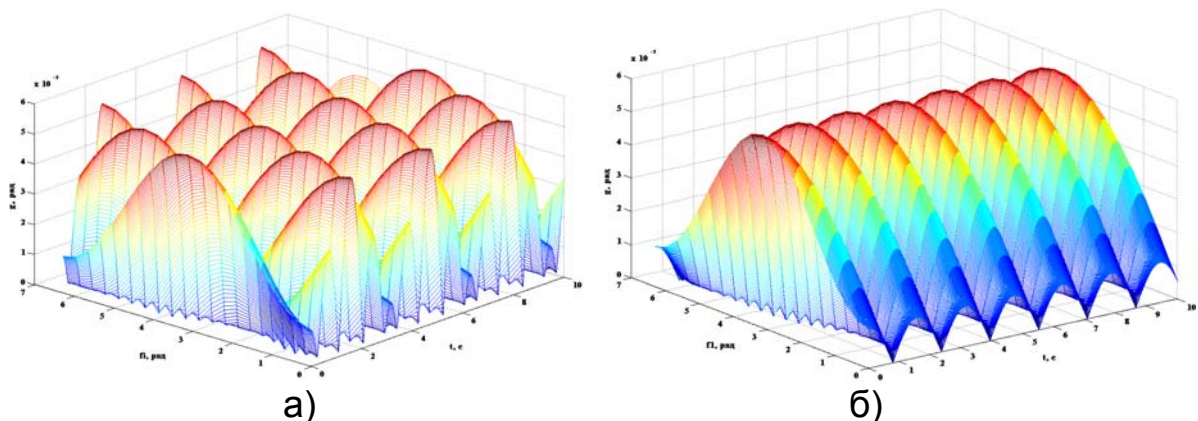


Рис. 7. Графік залежності зміни кута нахилу різьбового стрижня від частоти коливань та часу при однакових частотах (а) та кратних (б).

За однакового значення частот та нульової різниці фаз поперечних коливань по координатних площинах  $Ox_1y_1$  та  $Ox_2y_2$  кут повороту  $\gamma$  буде змінюватись з періодичною появою максимумів та мінімумів. Підвищення піків спостерігається при наявності зсуву фаз коливань. У випадку коливань кратних частот та амплітуд в точках  $O_1$  та  $O_2$  величина відхилення різьбового стрижня від осі  $OZ$  описується періодичною залежністю з почерговими піками (рис. 7). Мінімальні значення кутів повороту розміщуються в колі множини точок за синхронності (синфазних) переміщень точок  $O_1$  та  $O_2$ : коли поворот осі стрижня відсутній, виникає паралельний рух з траєкторіями опорних точок у вигляді фігур Ліссажу.

## Висновки

1. Кінематичні параметри різьбових з'єднань є достатньо інформативними для практики. На основі аналізу залежностей можна судити про доцільність використання того чи іншого способу забезпечення працездатності різьбового з'єднання. Подальші дослідження з введенням у залежності крім модулів напрямки векторів швидкостей та прискорень дозволять робити рекомендації про доцільність встановлення гвинтів з відповідним напрямом гвинтової лінії різьби.

2. Наявність максимумів і мінімумів на графіках прискорень періодичного чи стохастичного характеру до  $27,5 \text{ рад/с}^2$  свідчить про кінематичну навантаженість різьбового з'єднання і актуалізує забезпечення точності розрахунків з'єднання на міцність і точності надання зусилля попереднього загвинчування.

3. Критичними зонами в роботі гвинтового з'єднання є моменти вищенаведених екстремумів у поєднанні з повздовжніми коливаннями різьбового з'єднання, коли фази мінімумів чи максимумів співпадають з фазами осьових вібраційних навантажень. Ці умови потребують подальшого вивчення.

## Список літератури

1. Рубець А. М. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів. Автореферат дис. канд. техн. наук / А. М. Рубець. – К., 2009. – 20 с.
2. Михайлович Я. М. Підвищення наробітку різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки до послаблення / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2. – С. 178–185.
3. Рубець А. М. Робота болтового з'єднання сільськогосподарської техніки в умовах 3-D вібрації / А. М. Рубець // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке, 2013. – Вип. 17 (31), кн. 1. – С. 252–260.
4. Рубець А. М. Пружні коливання різьбового з'єднання в поперечному напрямку під дією двох збурюючих сил різної амплітуди, частоти та початкової фази / А. М. Рубець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 192–201.
5. Михайлович Я. М. Кінематичний аспект забезпечення працездатності різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2015. – Вип. 226. – С. 65–73.
6. Рубець А. М. Рух точок нейтральної лінії різьбового стрижня шпилькового з'єднання сільськогосподарської техніки під впливом поперечної вібрації / А. М. Рубець // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 2. – С. 19–21.

## References

1. Rubets', A. M. (2009). Obgruntuvannya periodychnosti tekhnichnoho obsluhovuvannya riz'bovykh z'yednan' zernozbyral'nykh kombayniv [Rationale for the



frequency of maintenance of threaded connections combine harvesters]. Avtoreferat dys. kand. tekhn. nauk. K., 20.

2. *Mykhaylovych, Ya. M., Rubets', A. M.* (2012). Pidvyshchennya narobitku riz'bovykh z'yednan' sil's'kohospodars'koyi tekhniky do poslablennya [Improving the achievements of threaded connections agricultural machinery to weakening]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energetics AIC. K., Vyp. 170, ch. 2. 178–185.

3. *Rubets', A. M.* (2013). Robota boltovoho z'yednannya sil's'kohospodars'koyi tekhniky v umovakh 3-D vibratsiyi [Work bolting of agricultural machinery in the conditions of the 3-D vibration]. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnyts'ke, Vyp. 17 (31), kn. 1. 252–260.

4. *Rubets', A. M.* (2009). Pruzhni kolyvannya riz'bovoho z'yednannya v poperechnomu napryamku pid diyeyu dvokh zburyuyuchykh syl riznoyi amplitudy, chastoty ta pochatkovoyi fazy [Elastic vibrations of a threaded connection in the transverse direction under the action of two disturbing forces of varying amplitude, frequency and initial phase]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. K., Vyp. 134, ch. 2. 192–201.

5. *Mykhaylovych, Ya. M., Rubets', A. M.* (2015). Kinematychnyy aspekt zabezpechennya pratsezdatnosti riz'bovoho z'yednannya sil's'kohospodars'ki tekhniky [Kinematic aspect of ensuring the health of the threaded connection of agricultural machinery]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energetics AIC. K., Vyp. 226. 65–73.

6. *Rubets', A. M.* (2014). Rukh tochok neytral'noyi liniyi riz'bovoho stryzhnya shpyl'kovoho z'yednannya sil's'kohospodars'koyi tekhniky pid vplyvom poperechnoyi vibratsiyi [Movement of the points of the neutral line of the threaded rod shelkovogo connection of agricultural machinery under the influence of transverse vibrations]. Equipment and technologies for agriculture. 2. 19–21.

## **КОЛЕБАНИЯ ВИНТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОПЕРЕЧНОЙ ВИБРАЦИИ**

***Я. Н. Михайлович, А. М. Рубец***

**Аннотация.** *Предложены аналитические зависимости кинематических параметров точек осевой линии резьбового стержня винтового соединения. Полученные результаты характеризуют кинематическую нагрузку соединения.*

*Кинематические параметры резьбовых соединений являются достаточно информативными для практики. На основе анализа зависимостей можно судить о целесообразности использования того или иного способа обеспечения работоспособности резьбового соединения. Дальнейшие исследования с введением в зависимости кроме модулей направления векторов скоростей и ускорений позволят делать рекомендации о целесообразности установки винтов с соответствующим направлением винтовой линии резьбы.*

Наличие максимумов и минимумов на графиках ускорений периодического или стохастического характера до  $27,5 \text{ рад/с}^2$  свидетельствует о кинематическую нагрузку резьбового соединения и актуализирует обеспечения точности расчетов соединения на прочность и точности предоставления усилия предварительного завинчивания.

Критическими зонами в работе винтового соединения есть моменты вышеприведенных экстремумов в сочетании с продольными колебаниями резьбового соединения, когда фазы минимумов или максимумов совпадают с фазами осевых вибрационных нагрузок. Эти условия требуют дальнейшего изучения.

**Ключевые слова:** резьбовое соединение, сельскохозяйственная техника, кинематика

## **FLUCTUATIONS OF SCREW CONNECTIONS OF AGRICULTURAL MACHINERY UNDER THE INFLUENCE OF TRANSVERSE VIBRATION**

**Ya. M. Mykhalovych, A. M. Rubets**

**Abstract.** *The analytical dependence of the kinematic parameters of axial points of the threaded rod screw connections. The obtained results characterize the kinematic load of the connection.*

*The kinematic parameters of threaded connections are informative enough for practice. Based on the dependency analysis to judge the appropriateness of a particular method of ensuring the health of the threaded connection. Further research with the introduction of the subject in addition to the modules of the vectors of velocities and accelerations will make recommendations about the feasibility of mounting screws with the appropriate direction of the helix of the thread.*

*The presence of maxima and minima in the graphs of accelerations periodic or stochastic character to  $27.5 \text{ rad/s}^2$  indicates the kinematic load of the threaded connection and updates ensure accuracy of calculations of connection strength and precision the granting of a preliminary effort of screwing.*

*Critical areas in the work of the screw connection, there are moments of above extrema in combination with the longitudinal oscillation of the threaded connection, when the phase minimums or maximums coincide with the phase of the axial vibration loads. These conditions require further study.*

**Keywords:** threaded connection, agricultural machinery, kinematics