

УДК 631.3:62-231.3

КІНЕМАТИКА ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ ГАЙКИ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

А.М. Рубець, канд. техн. наук

Білоцерківський Національний аграрний університет

Розглянуто траєкторію руху точки, що лежить на перетині площини опорної поверхні гайки і нейтральній лінії різьбового стержня. Отримані залежності можуть бути використані для дослідження процесу послаблення різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки.

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

Вступ. На сучасній сільськогосподарській техніці використовується до 6000 різьбових з'єднань. На відміну від стаціонарних машин, всі різьбові з'єднання сільгосптехніки знаходяться під впливом вібраційних навантажень у трьох взаємоперпендикулярних напрямках. Вплив такого характеру вібрації на роботоздатність з'єднання є не достатньо вивченим.

Постановка проблеми. Під впливом вібраційних навантажень опорна поверхня гайки виконує складні рухи навколо власного положення рівноваги: поступальний рух вздовж і обертальний рух навколо координатних осей. Внаслідок цього на гайку і шайбу діють прискорення різного характеру, які становлять як технічний, так і науковий інтерес з огляду вивчення питання забезпечення необхідного міжпрофілактичного ресурсу різьбового з'єднання.

Мета та методи дослідження. Метою дослідження є отримання залежностей зміни кінематичних параметрів точки, що лежить на перетині площини опорної поверхні гайки і нейтральної лінії різьбового стержня від часу. У дослідженні використовуються теоретичні методи досліджень, зокрема теоретична механіка, математичний аналіз, механіка матеріалів. Теоретичні дослідження проведені з використанням середовища MATLAB R-2007b.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню динаміки різьбових з'єднань сільгосптехніки останнім часом приділяється особлива увага.

В результаті дослідження вібрації різьбових з'єднань у напрямі, поперечному до осі стержня отримано залежність зміни відносного переміщення з'єднаних деталей від часу [1].

Якості збирання з'єднань та взаємодії між їх витками присвячені роботи І. Л. Блаера [2], на основі яких параметри різьби, що змінюються в допустимих межах у значній мірі впливають на якість загвинчування. В роботі дано рекомендації щодо усунення цих недоліків. Розрахунки коефіцієнтів тертя і оптимального крутного моменту загвинчування різьбового з'єднання досліджено в роботі [3]. Аналіз існуючих методів контролю зусилля в стрижнях загвинченого з'єднання та використання способу контролю якості монтажу висвітлюється в роботі [4].

Згадані роботи розглядають питання забезпечення необхідних початкових параметрів різьбового з'єднання і не порушують питання причин послаблення різьбових з'єднань за умови забезпечення відповідності цих параметрів технічним умовам.

Динаміка різьбового з'єднання під впливом ультразвукових коливань як двомасової коливальної системи розглядається в роботі Шуваєва І. В. [5].

Коливання різьбового з'єднання вивчається в роботі [6], де концентрують увагу на контактні нормальні та дотичні деформації в різьбовому з'єднанні.

Кінематичні параметри шпилькових з'єднань дозволяють судити про доцільність встановлення шпильок з відповідним напрямом гвинтової лінії різьби або використання того чи іншого способу стопоріння різьбового з'єднання [7].

З огляду літературних джерел стало відомо, що вивчення питання кінематики і динаміки різьбового з'єднання потребує подальшого розвитку.

Основний зміст досліджень. Не враховуючи раптової відмови, на теперішній час відомо декілька причин послаблення різьбового з'єднання, основними з яких є:

- взаємне кутове переміщення різьбового стержня і гайки;
- залишкова деформація видовження або стискання (у тому числі контактна) складових різьбового з'єднання;
- періодичне утворення зазору в контакті спряжуваних деталей.

Друга та третя причина, що полягає у розкритті стику з'єднаних деталей зовнішнім змінним навантаженням, є найбільш вивченою і частіше за інших використовується при розрахунку міжпрофілактичного терміну використання різьбових з'єднань.

Взаємне кутове переміщення різьбового стержня і гайки виникатиме за умови відповідного характеру вібрації з'єднаних деталей. Серед них можна виділити наступні умови:

- 1) виникнення взаємних кутових переміщень із-за статичних або динамічних крутних коливань з'єднуваної деталі (опорної поверхні гайки) навколо нейтральної лінії різьбового стержня;
- 2) наявність таких коливань з'єднаних деталей (головним чином з'єднуваної деталі, на яку опирається гайка) у трьох взаємоперпендикулярних напрямках, за яких у складному русі опорної поверхні гайки виникатимуть тангенціальні складові, які повертатимуть гайку відносно різьбового стержня.

Досліджено, що саморозгвинчування у випадку коливань, направлених під кутом 90° до осі різьбового стержня, буде відбуватись внаслідок втрати монолітності контактів між деталями з'єднання. Дане явище буде виникати при встановленні різьбового стержня з зазором, що часто практикують під час виробництва сільгосптехніки; це також сприятиме складному руху опорної поверхні гайки.

Аналізуючи залежності зміни сили притискання з'єднаних деталей від впливових факторів, слід відзначити, що відносні коливання виникають, коли амплітуда сумарної збурюючої сили достатньо велика в порівнянні із силою тертя, а в околі резонансних режимів наявність сухого тертя не обмежує амплітуду відносних коливань з'єднаних деталей. Виведення різьбового з'єднання з резонансної зони є одним із способів збільшення наробітку до послаблення [1].

З практики відомо, що різьбові з'єднання, які працюють у нерезонансній зоні також послаблюються, а серед них є й ті, що відповідають за безпеку роботи оператора, виконання технологічного процесу тощо.

Розглянемо коливання різьбового з'єднання, які спричинені приєднуваною деталлю за відносно нерухомою деталлю 1 (рис. 1). Рух точки В відносно деталі 1 характерний також для болтового з'єднання, коли до розгляду береться різниця коливань заміряних на опорній поверхні головки болта і опорній поверхні гайки. Роботоздатне різьбове з'єднання виконуватиме рух у межах пружних деформацій, що є характерним для нерезонансної зони.

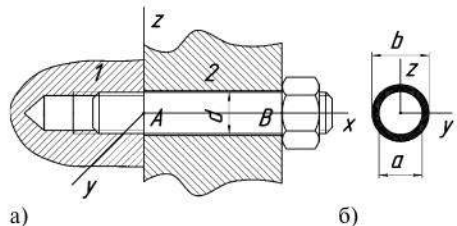


Рис. 1. Різьбове з'єднання:

а — ескіз різьбового з'єднання; б — опорна поверхня

Рух точки, яка лежить на перетині площини опорної поверхні гайки і нейтральній лінії різьбового стержня буде задаватись характером вібрації з'єднуваної деталі, на яку опирається гайка, як результат коливань, отриманих від деталей і механізмів, що надійшли до цього з'єднання.

Вібрація різьбового з'єднання характеризується амплітудою, частотою і початковою фазою і частіше становить суперпозицію коливань у кожному з напрямів (x, y, z). Коливання різьбового з'єднання можна звести до найпростішої параметричної форми:

$$\begin{cases} \delta = a_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1); \\ y = a_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2); \\ z = a_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3). \end{cases} \quad (1)$$

Зображені на рис. 2 графіки $y(x), y(z), x(z)$ є траєкторіями руху точки у відповідних площинах при складанні взаємоперпендикулярних коливань (фігури Ліссажу). Траєкторія руху точки у просторі $z(x, y)$ є результирующим переміщенням точки у трьох взаємоперпендикулярних напрямках.

Розглянемо рух точки у площині YZ , як частинний випадок просторового руху точки. Графіки нормального, дотичного і повного прискорення точки B виглядатимуть наступним чином (рис. 3). Сумарне прискорення в площині YZ , перпендикулярній до осі обертання гайки, створюватиме кутові прискорення, які можна визначити діленням проекції прискорення, а на площину YZ на відстань до осі OX . Прискорення викликатиме крутний момент, який може діяти як у бік загвинчування, так і в бік розгвинчування гайки залежно від початкових фаз.

Відстань d до осі OX в довільний момент часу з відомих математичних залежностей запишеться так (рис. 4):

$$d = \sqrt{z^2 + y^2} \cdot \cos(\alpha + \beta - \gamma - 90), \quad (2)$$

де кут α — є кутом нахилу дотичної до графіку $y(z)$ в довільній точці.

$$\alpha = \arctg \left(\frac{\dot{z}}{\dot{y}} \right),$$

β — кут нахилу лінії дії повного прискорення.

$$\beta = \arctg \left(\frac{a_n}{a_\tau} \right),$$

де a_n, a_τ — нормальна і дотична складова прискорення.

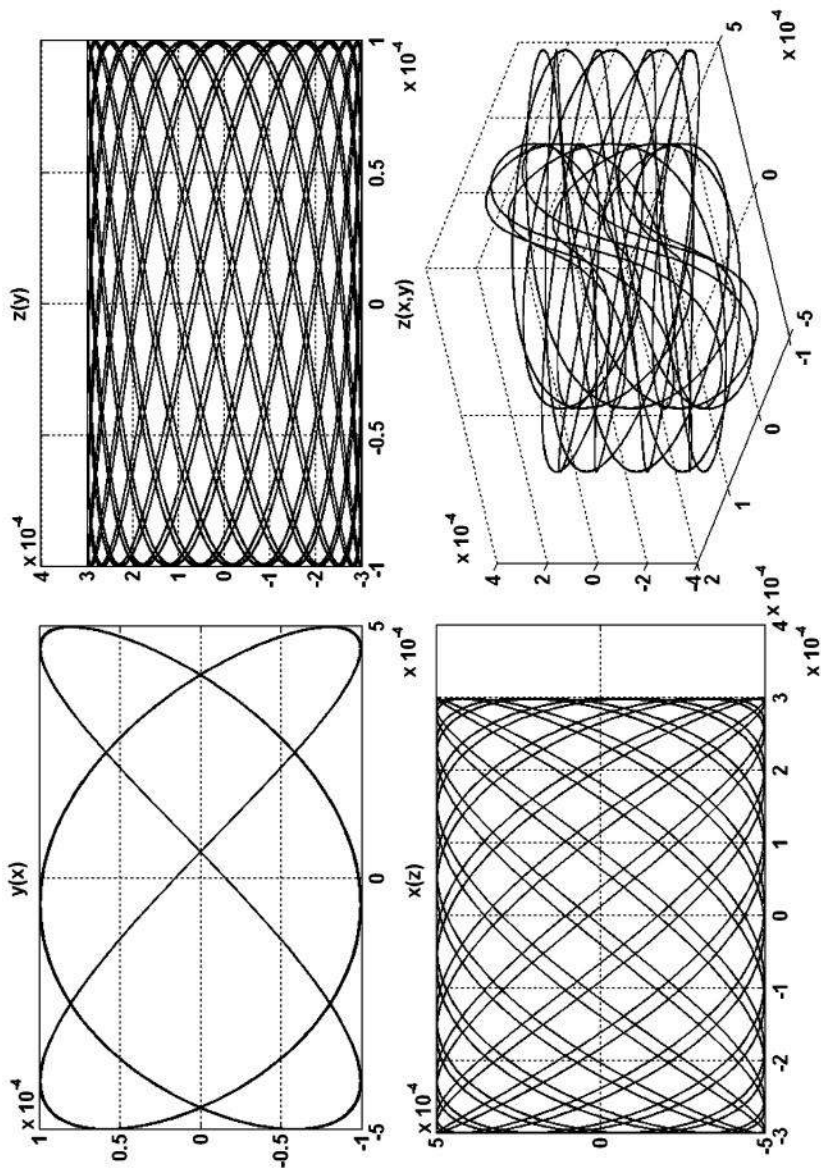


Рис. 2. Траекторія руху точки, що лежить на перетині площини опорної поверхні гайки і нейтральної лінії різьбового стрижня в площинах YX , ZY , XZ та в просторі

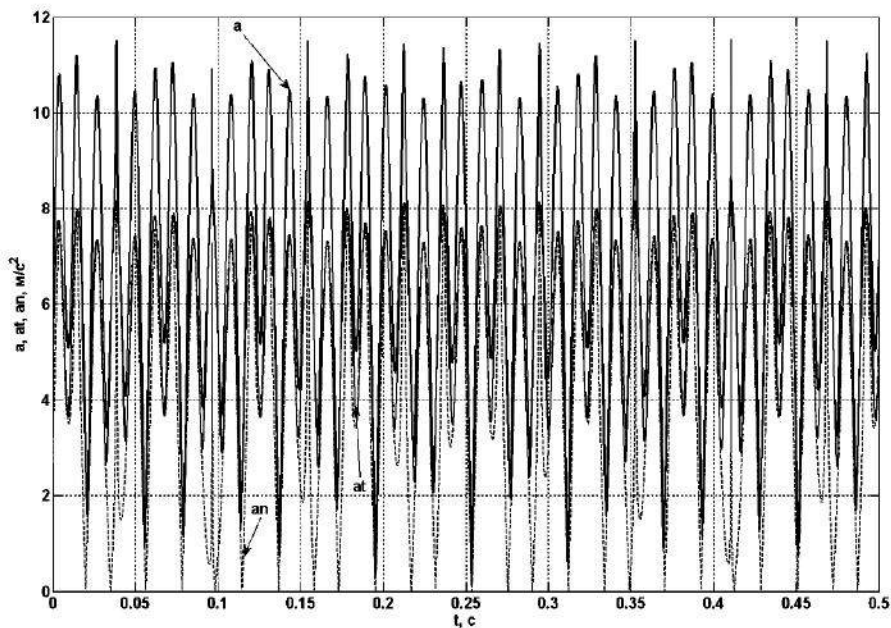


Рис. 3. Залежність зміни нормального a_n , дотичного a_t і повного прискорення від часу

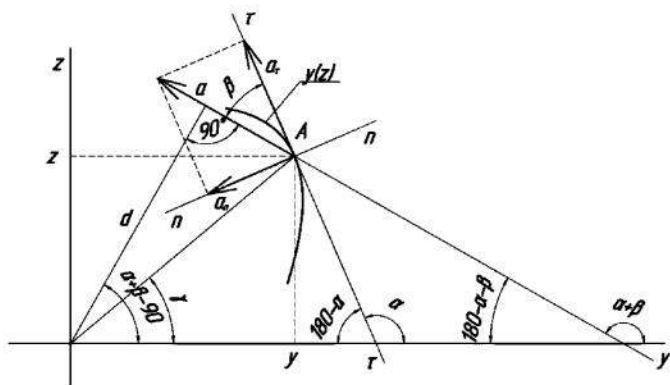


Рис. 4. Схема до визначення відстані d до осі OX

Кут γ

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left(\frac{z}{y} \right).$$

$$d = \sqrt{(a_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3))^2 + (a_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2))^2} \times \cos \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{a_3 \omega_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3)}{a_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{a_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3)}{a_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)} \right) - \frac{\pi}{2} \right) \quad (3)$$

Відношення величини моменту сили відносно осі OZ до маси ($\text{м}^2/\text{с}^2$):Момент сили відносно осі OZ

$$M = m \cdot a \cdot d,$$

де a — повне прискорення.

Враховуючи, що повне прискорення:

$$a = \left\{ \frac{\left(-a_2 \omega_2^2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \cdot a_3 \omega_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3) - a_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \cdot (-a_3 \omega_3^2 \sin(\omega_3 t + \varphi_3)) \right)^2}{(a_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2))^2 + (a_3 \omega_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3))^2} + \left(-a_2 \omega_2^2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \right)^2 + \left(-a_3 \omega_3^2 \sin(\omega_3 t + \varphi_3) \right)^2 \right\}^{0.5},$$

залежність відношення M/m , як величини, що характеризує енергетику кутових коливань точки B запишеться так:

$$\frac{M}{m} = \left\{ \frac{\left(-a_2 \omega_2^2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \cdot a_3 \omega_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3) - a_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \cdot (-a_3 \omega_3^2 \sin(\omega_3 t + \varphi_3)) \right)^2}{(a_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2))^2 + (a_3 \omega_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3))^2} + \left(-a_2 \omega_2^2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \right)^2 + \left(-a_3 \omega_3^2 \sin(\omega_3 t + \varphi_3) \right)^2 \right\}^{0.5} \times \sqrt{(a_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3))^2 + (a_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2))^2} \times \cos \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{a_3 \omega_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3)}{a_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{a_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3)}{a_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)} \right) - \frac{\pi}{2} \right). \quad (4)$$

Підставивши значення параметрів вібрації різьбового з'єднання, заміряних у польових умовах, отримаємо графік залежності зміни відносної величини (відношення моменту до маси) від часу (рис. 5).

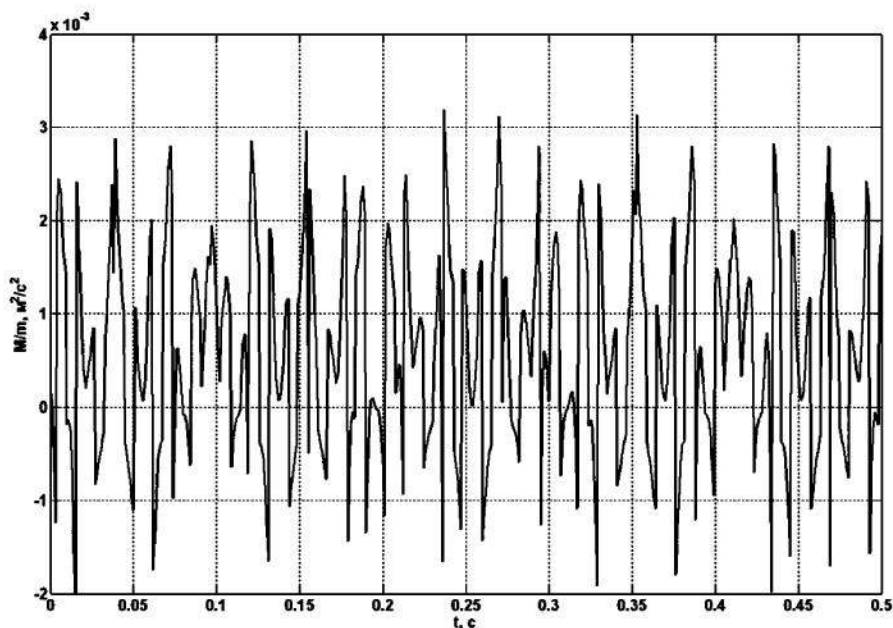


Рис. 5. Залежність зміни відносної величини M/m від часу

З графіка видно, що відносна величина, яка має розмірність Дж/кг, діятиме як у бік загвинчування, так у бік розгвинчування різьбового з'єднання і в ідеальних умовах взаємного кутового переміщення не викликати, оскільки гайка має вісь симетрії, яка проходить через нейтральну лінію різьбового стержня. Критичним станом при роботі таких з'єднань будуть почергові косі послаблення опорної поверхні гайки у поєднанні із дією крутного моменту у бік розгвинчування. Косі послаблення у контакті опорної поверхні гайки виникатимуть із зсувом фаз $\theta=\pi$ відносно координати точки $A(z; y)$ за рахунок згинальних коливань різьбового стержня. Це справедливо у випадку коливань деталі 2 відносно основи 1 (рис. 1). Допустима неперпендикулярність опорної поверхні та осової лінії гайки, непаралельність поверхонь з'єднаних деталей у поєднанні із коливаннями моменту створюють умови для взаємного кутового мікропереміщення гайки та різьбового стержня. Підвищення тертя на опорній поверхні гайки здатне мінімізувати згадане вище явище.

Графік залежності зміни відносної величини M/m від різниці початкових фаз і часу відображає періодичні піки вздовж ліній нахилених під кутом до осі Ot , які не є критичними, оскільки коливання чергуються з від'ємних до додатних (рис. 6).

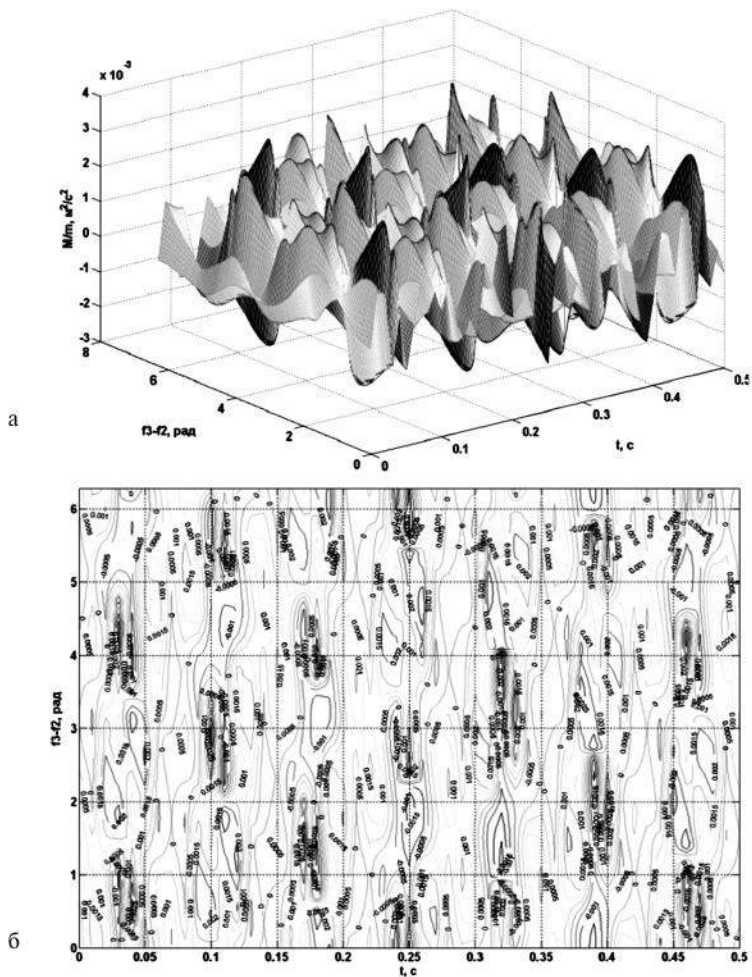


Рис. 6. Графік залежності зміни відносної величини M/m від різниці початкових фаз $\beta_3 - \beta_1$ і часу t :

а — графік поверхні; б — контурний графік даної залежності

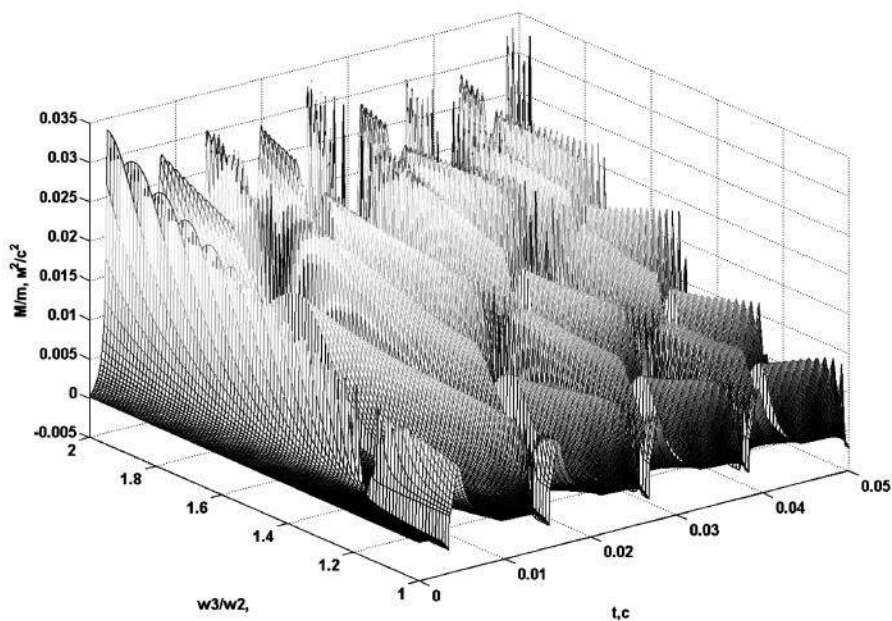


Рис. 7. Графік залежності зміни відносної величини M/m від відношення частот ω_3/ω_2

Найбільш критичними для цих коливань будуть відношення частот взаємоперпендикулярних коливань ω_3/ω_2 (рис. 7): при збільшенні відношення частот у 2 рази відносна величина M/m зростає у 4,7 раза.

Висновок. На основі теоретичних досліджень отримано залежність зміни відносної величини моменту сили від часу, що можна використати для планування профілактичних заходів у кожному окремому випадку вібраційного навантаження різбових з'єднань, які пружними і дисипативними параметрами виведені у нерезонансні режими роботи.

Аналіз залежності зміни величини відношення моменту до маси від часу показує, що за відмінної від нуля різниці фаз коливань крива починає перетинати вісь t і приймати від'ємні значення. Дану характеристику доцільно використовувати при симулятивному моделюванні роботи різбового з'єднання під впливом вібраційного навантаження у двох взаємоперпендикулярних напрямках.

Бібліографія

1. Рубець А. М. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів./ автореф. дис. ... канд. техн. наук. — К., 2009. — 20 с.
2. Блаер И. Л. Взаимодействие витков затянутой резьбы / И. Л. Блаер // Машиностроитель, 2005. — № 5. — С. 33-39.
3. Блаер И. Л. Качество сборки резьбовых соединений / И. Л. Блаер // Автоматизация и современные технологии, 2003. — № 7. — С. 13-20.
4. Блаер И. Л. Расчетные схемы резьбовых соединений / И. Л. Блаер // Вестник машиностроения, 2007. — № 10. — С. 3-8.
5. Шуваев И. В. Повышение качества резьбовых соединений путем применения ультразвука. Автореферат дис. канд. тех. наук. — Самара, 2009. — 19 с.
6. Перфильева Н. В. Динамическая модель механического контактирования условно-неподвижных соединений./ автореф. дис. ... докт. тех. наук. — Томск, 2003. — 39 с.
7. 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.

КИНЕМАТИКА ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГАЙКИ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрена траектория движения точки, которая лежит на пересечении плоскости опорной поверхности гайки и нейтральной линии резьбового стержня. Полученные зависимости могут быть использованы для исследования процесса ослабления резьбового соединения сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: резьбовое соединение, сельскохозяйственная техника, кинематика.

THE KINEMATICS OF SUPPORTING SURFACE OF NUT OF THREADED CONNECTION OF AGRICULTURAL TECHNIQUE

Trajectory of the point, which lies at the intersection of the plane of the supporting surface of the nut and neutral line of threaded rod is considered. The resulting dependences can be used to study the process of threaded connection loosening of agricultural technique.

Key words: threaded connection, agricultural technique, kinematics.