

Кутові коливання болтового з'єднання сільськогосподарської техніки в умовах поперечної вібрації

Рубець А. М., к. т. н.

Білоцерківський Національний аграрний університет

Розглянуто коливання опорних поверхонь гайки і головки болта протягом роботоздатного стану різьбового з'єднання. Отримані аналітичні залежності параметрів коливань можна використовувати для симулятивного моделювання роботи різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки.

Різьбове з'єднання, сільськогосподарська техніка, кінематика

ВСТУП

Понад 2/3 з'єднань сучасної сільськогосподарської техніки складають різьбові. Всі різьбові з'єднання сільгосптехніки знаходяться під впливом вібраційних навантажень у трьох взаємоперпендикулярних напрямках. Вплив такого характеру вібрації на роботоздатність з'єднання є цікавим з технічної і наукової точок зору.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Під впливом вібраційних навантажень опорна поверхня гайки і головки болта виконує складні рухи навколо власного положення рівноваги: поступальний рух вздовж координатних осей і обертальний рух навколо координатних осей. Внаслідок цього гайка і болт зазнають кутових переміщень, аналіз яких дозволить виявити режими роботи різьбового з'єднання.

МЕТА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є отримання залежностей зміни відносних кінематичних параметрів різьбового з'єднання, що працює в умовах поперечної вібрації від впливових факторів. 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

На основі досліджень впливу вібрації у напрямі, поперечному до осі різьбового стрижня на

роботоздатність з'єднання отримана залежність зміни величини відносного переміщення з'єднаних деталей, від часу та зусилля їх притискання [1].

Встановлено можливість забезпечення роботоздатності різьбових з'єднань шляхом вибору параметрів різьбового з'єднання за яких відбуватиметься самоврівноваження коливань, а результуючі коливання матимуть меншу інтенсивність впливу [2].

Динаміка різьбового з'єднання, як двомасової коливальної системи, під впливом ультразвукових коливань розглядається в роботі [3].

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

З огляду літературних джерел стало відомо, що питання кінематики різьбового з'єднання потребує подальших досліджень.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Взаємне кутове переміщення опорних поверхонь головки болта і гайки виникатиме за умови відповідного характеру вібрації з'єднаних деталей. Серед них можна виділити наступні умови:

1) виникнення відносних кутових переміщень із-за статичних або динамічних крутих коливань з'єднаних деталей (опорної поверхні головки болта і гайки) навколо нейтральної лінії різьбового стрижня;

2) наявність таких відносних коливань з'єднаних деталей у трьох взаємноперпендикулярних напрямках, за яких у складному русі опорної поверхні гайки виникатимуть тангенційні складові, які повертатимуть гайку відносно різьбового стрижня.

Колівання з'єднаних деталей мають різні параметри до моменту надання необхідного зусилля їх притискання. Після монтажу з'єднання не значні коливання поглинаються, а залишаються коливання робочі, вплив яких на різьове з'єднання потребує наукової уваги.

Рух точки, яка лежить на перетині площини опорної поверхні гайки (головки болта) і нейтральної лінії різьбового стрижня 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.

Коливання різьбового з'єднання в точках O_1 та O_2 (рис. 1)

можна звести до найпростішої параметричної форми:

$$\begin{cases} x_1 = a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + \varphi_{1.1}) \\ y_1 = a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + \varphi_{1.2}) \\ z_1 = a_{1.3} \cos(\omega_{1.3}t + \varphi_{1.3}) \end{cases} \begin{cases} x_2 = a_{2.1} \cos(\omega_{2.1}t + \varphi_{2.1}) \\ y_2 = a_{2.2} \cos(\omega_{2.2}t + \varphi_{2.2}) \\ z_2 = a_{2.3} \cos(\omega_{2.3}t + \varphi_{2.3}) \end{cases} \quad (1)$$

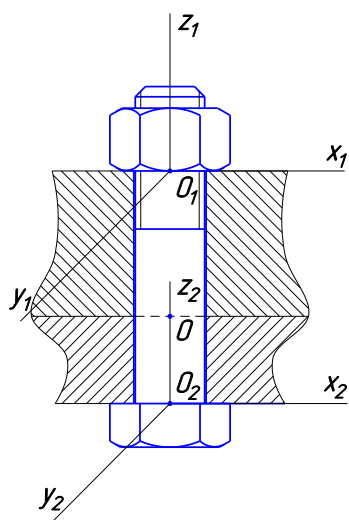


Рис. 1. Ескіз різьбового з'єднання

Розглянемо рух точки у площині ХУ, як частинний випадок просторового руху точки. Протягом періоду нормальної роботи різьбове з'єднання виконуватиме відносний рух в межах пружних деформацій, що є характерним для нерезонансної зони. Точки, що

лежать на перетині площин опорних поверхонь головки болта і гайки та нейтральної лінії різьбового стрижня виконуватимуть складний рух (рис. 2).

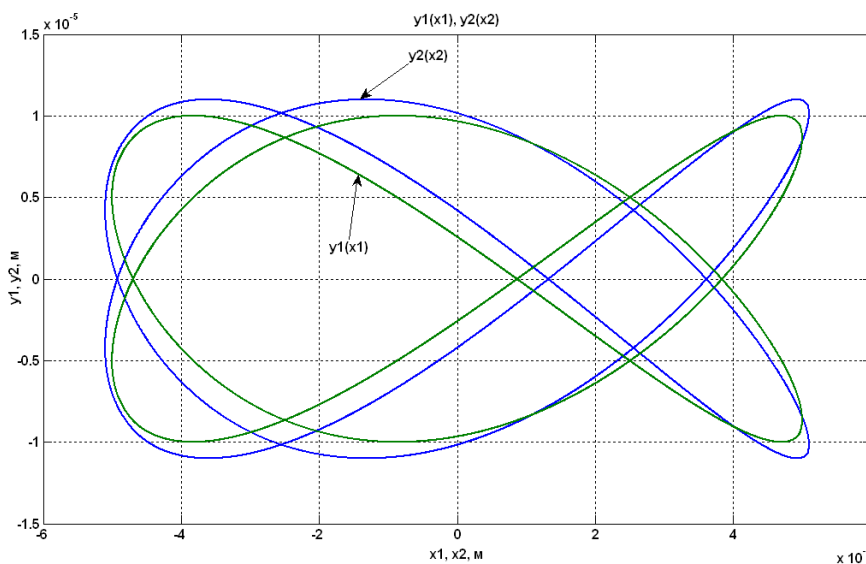


Рис. 2. Графік залежностей зміни переміщень в точках O_1 та O_2 .

Різні значення частот, початкових фаз та амплітуд задаватимуть кутові відхилення різьбового стрижня і гайки відносно положення рівноваги. Дане явище відбуватиметься до моменту послаблення різьбового з'єднання. У загальному випадку коливальної системи болтового з'єднання точки O_1 та O_2 виконуватимуть рух в площині ХУ за залежностями $y_1(x_1)$ та $y_2(x_2)$ відповідно.

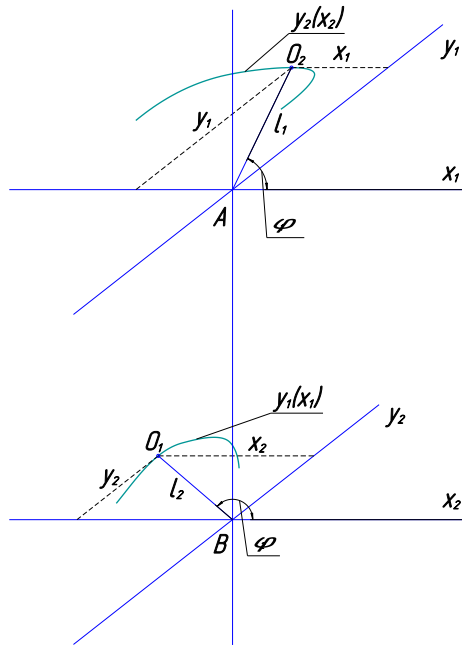


Рис. 3. Схема до виведення залежності зміни кута повороту радіуса від часу.

Кут повороту відрізків l_1 та l_2 визначається координатами точок O_1 та O_2 відповідно:

$$\begin{cases} l_1 \cos(\varphi_1) = x_1; & l_2 \cos(\varphi_2) = x_2 \\ l_1 \sin(\varphi_1) = y_1; & l_2 \sin(\varphi_2) = y_2 \end{cases} \quad (1)$$

Кут повороту радіуса запишемо виразом:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \arctg \left\{ \frac{a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + \varphi_{1.2})}{a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + \varphi_{1.1})} \right\} \\ \varphi_2 = \arctg \left\{ \frac{a_{2.2} \cos(\omega_{2.2}t + \varphi_{2.2})}{a_{2.1} \cos(\omega_{2.1}t + \varphi_{2.1})} \right\} \end{cases} \quad (2)$$

Ненульові значення кутів φ_1 та φ_2 (рис. 4) свідчать про навантаженість різьбового з'єднання кутовими коливаннями відносно осі OZ . Для практики актуальним є аналіз різниці кутових коливань опорної поверхні болта і гайки:

$$\varphi = \arctg \left\{ \frac{a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + \varphi_{1.2})}{a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + \varphi_{1.1})} \right\} - \arctg \left\{ \frac{a_{2.2} \cos(\omega_{2.2}t + \varphi_{2.2})}{a_{2.1} \cos(\omega_{2.1}t + \varphi_{2.1})} \right\} \quad (3)$$

Одинакові значення початкових фаз та кругових частот вздовж осей x_2 , y_2 , x_1 , y_1 дають сталі значення функції, що є очевидним, оскільки траєкторіями руху точок O_1 та O_2 будуть прямі лінії у певних чотвертях системи координат (залежно від початкових фаз).

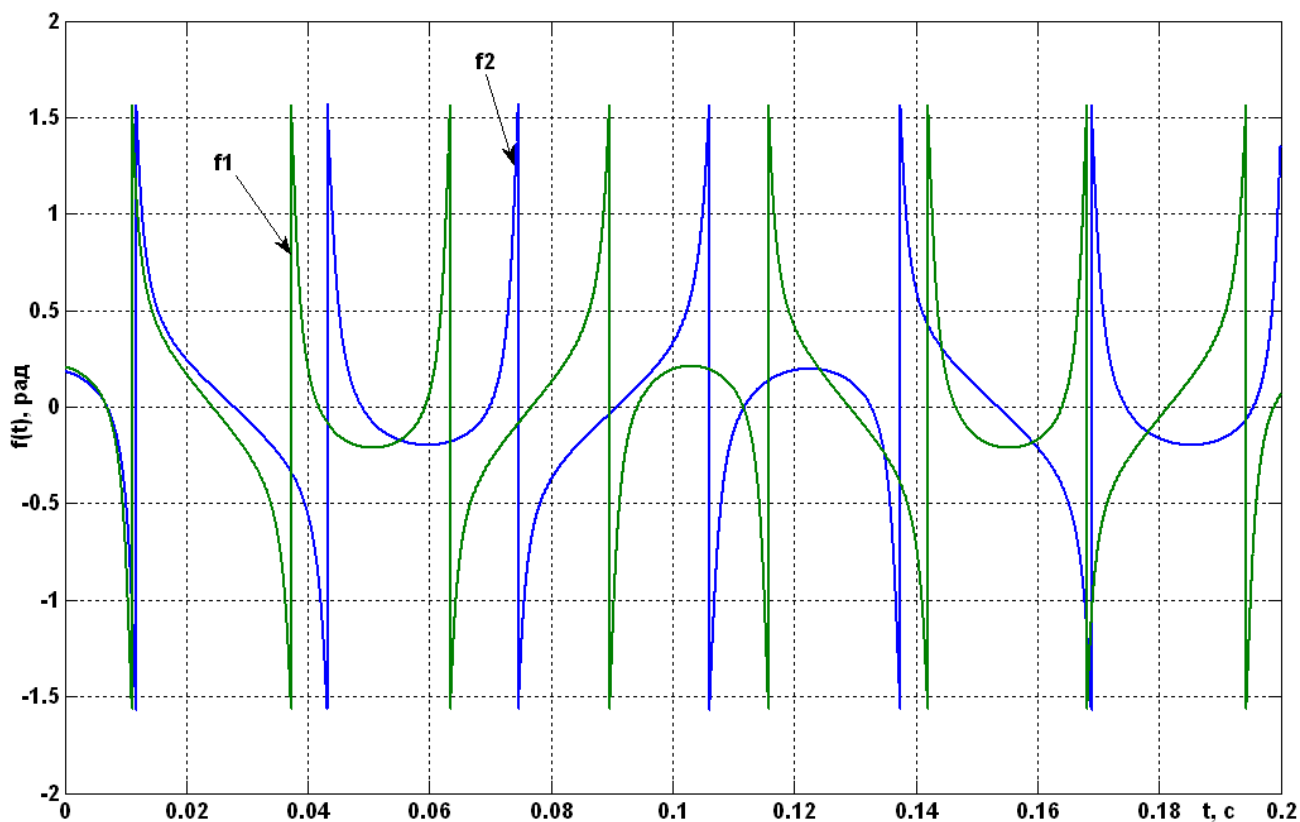


Рис. 4. Графік залежності кутів φ_1 та φ_2 .

Довільні значення амплітуд, кругових частот і початкових фаз відображаються на графіку $\varphi(t)$ неперіодичною функцією (рис. 5, а). Аналогічно поводить графік функції і при рівних значеннях початкових фаз та різних значень частот (рис. 5, в). Періодичною функція стає при однакових частотах коливань з'єднаних деталей.

Виокремимо частинні випадки. При домінуючому додатному значенні результуючого кута φ (рис. 5, б) досліджувана точка різьбового з'єднання виконуватиме рух за годинниковою стрілкою (дивлячись на різьбовий стрижень зі сторони головки болта). Внаслідок обкочування опорної поверхні головки болта по площині контакту з'єднуваної деталі відносний рух гвинтові пари буде виконуватись домінуюче в напрямку розгвинчування.

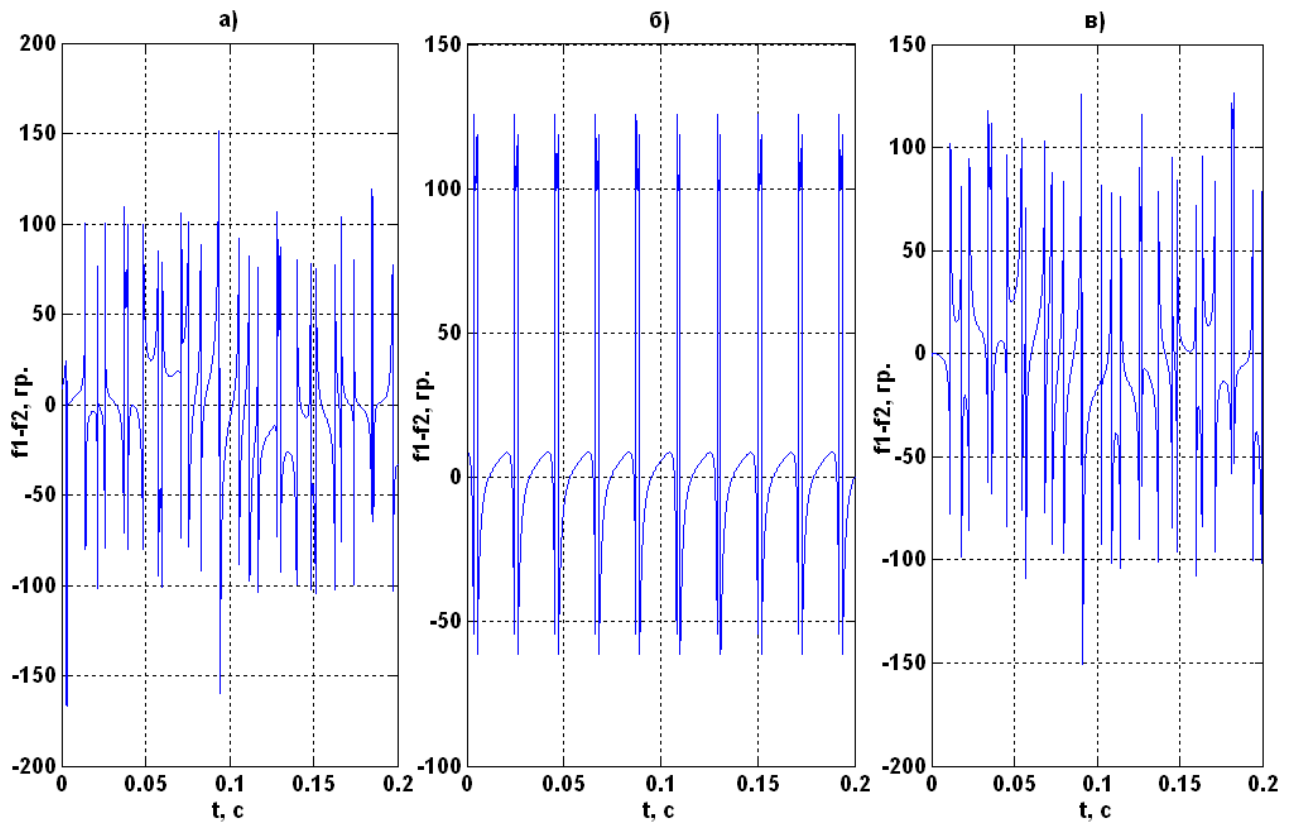


Рис. 5. Графіки залежностей кута φ від часу: а) за довільних параметрів коливань; б) за однакових частот і довільних інших параметрів коливань; в) за однакових початкових фаз і довільних інших параметрів.

При домінуючому від'ємному значенні результуючого кута φ досліджувана точка різьбового з'єднання виконуватиме рух проти годинникової стрілки. Внаслідок обкочування опорної поверхні головки болта по площині контакту з'єднуваної деталі домінуючі відносні коливання гвинтової пари «різьбовий стрижень-гайка» буде виконуватись в напрямку загвинчування. На основі аналізу графіку $\varphi(t)$ можна судити про доцільність встановлення правозахідної чи лівозахідної різьби або використання того чи іншого способу стопоріння різьбового з'єднання. З аналізу залежності видно, що за певної різниці частот амплітуда кута повороту зростає інтенсивніше і до більшої величини (рис. 6); при цьому відбувається збільшення амплітуди кута повороту у бік загвинчування чи розгвинчування залежно від знаку різниці фаз.

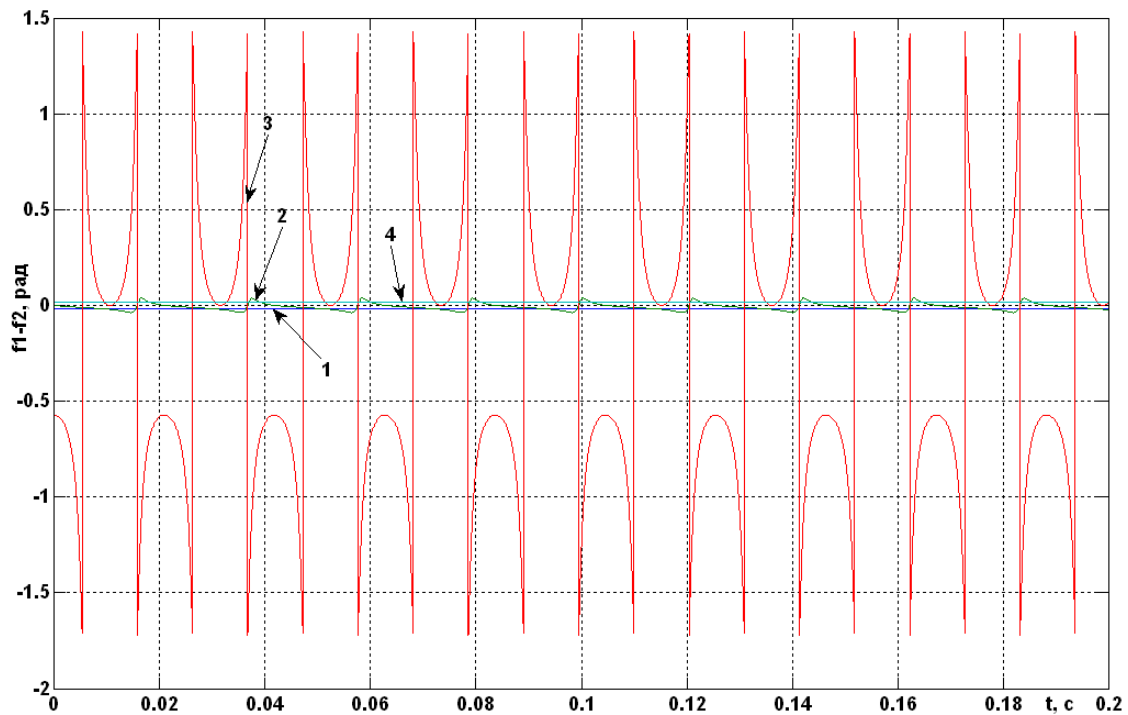


Рис. 6. Графік залежності зміни відносного кута повороту точок O_1 та O_2 від часу при різниці початкових фаз: 1) $\varphi_{1.2} - \varphi_{2.2} = \varphi_{1.1} - \varphi_{2.1} = 0$; 2) $\varphi_{1.2} - \varphi_{2.2} = \varphi_{1.1} - \varphi_{2.1} = \pi/4$; 3) $\varphi_{1.2} - \varphi_{2.2} = \varphi_{1.1} - \varphi_{2.1} = 3\pi/4$; 4) $\varphi_{1.2} - \varphi_{2.2} = \varphi_{1.1} - \varphi_{2.1} = \pi$.

ВИСНОВОК

На основі аналізу графіку $\varphi(t)$ можна судити про доцільність встановлення правозахідної чи лівозахідної різьби або використання того чи іншого способу стопоріння різьбового з'єднання. Використовуючи даний спосіб під час проектування чи доробки сільськогосподарської машини можна досягти максимальної відповідності необхідних параметрів різьбових з'єднань умовам роботи машини, а використання симулятивного моделювання даного процесу дозволить прогнозувати ресурс різьбового з'єднання і запланувати профілактичні дії на етапі її використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рубець А. М. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів. Автореферат дис. канд. тех. наук. – 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. – Київ, 2012. – Вип. 170. Ч. 2, – С. 178–185.

3. Шуваев И. В. Повышение качества резьбовых соединений путем применения ультразвука. Автореферат дис. канд. тех. наук. – Самара, 2009. – 19 с.

4. 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. – Київ, вип. 134, ч. 2., 2009. – С. 192–201.

Угловые колебания болтового соединения сельскохозяйственной техники в условиях поперечной вибрации

Рубец А. М., к. т. н.

Белоцерковский Национальный аграрный университет

Рассмотрено колебание опорных поверхностей гайки и головки болта в течение работоспособного состояния резьбового соединения. Получены аналитические зависимости параметров колебаний можно использовать для симулятивного моделирования работы резьбового соединения сельскохозяйственной техники.

Резьбовое соединение, сельскохозяйственная техника, кинематика

Summary

Angular vibrations of screw-bolt connection of agricultural technique in the conditions of transversal vibration

Rubets A. M.

Bila Tserkva National agricultural university

Oscillation of underlayments of nut and head of screw-bolt during the working state of screw-thread connection is considered. The resulting analytical dependences of parameters of vibrations can be used for a simulation of work of screw-thread connection of agricultural technique.

Threaded connection, agricultural technique, kinematics