

machine have-point hardening point consumable-electrode are welding flux cored electrode.

Cutting elements, wear resistance, abrasive wear, point hardening, blade share.

УДК 631.3:62-231.3

КІНЕМАТИЧНИЙ АСПЕКТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

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

***А. М. Рубець, кандидат технічних наук
Білоцерківський національний аграрний університет***

Наведено основні параметри руху точок, що лежать на опорній поверхні гайки як тих, що визначають працездатність з'єднання. Виконання запропонованих дій під час проектування, виготовлення та використання різьбових з'єднань дозволить подовжити термін їх служби.

Різьбове з'єднання, техніка, кінематика.

Постановка проблеми. Сучасна сільськогосподарська техніка не можлива без використання різьбових з'єднань, загальна вартість яких складає близько 1 % вартості одиниці техніки, а вартість з'єднаних ними деталей – понад 90 %. Тому питання забезпечення надійності і довговічності різьбових з'єднань є надзвичайно актуальним. Вібрація сільськогосподарської техніки спричинює рух елементів різьбового з'єднання у трьох взаємно перпендикулярних напрямках: поступальний рух вздовж і обертальний рух навколо координатних осей. Внаслідок цього на гайку і різьбовий стрижень діють прискорення різного характеру які становлять як технічний так і науковий інтерес з огляду вивчення питання забезпечення працездатності різьбового з'єднання.

Метою досліджень є отримання залежностей зміни кінематичних параметрів точок опорної поверхні гайки від часу. У дослідженні використовуються теоретичні методи досліджень, зокрема теоретична механіка, математичний аналіз, механіка матеріалів. Теоретичні дослідження проведені з використанням середовища MatLab R-2007b.

© Я. М. Михайлович, А. М. Рубець, 2015

Аналіз останніх досліджень. На теперішній час проведено дослідження впливу на надійність різьбових з'єднань міцності, моменту загвинчування, якості виготовлення, умов роботи тощо.

Аналіз теоретичних рівнянь з розрахунку експлуатаційних властивостей різьбових з'єднань дозволив встановити параметри якості, що визначають їх довговічність [1].

Використання в процесі монтажу ультразвукових коливань приводить до зростання максимальних контактних тисків у зонах контакту і, як наслідок, підвищення міцності з'єднання. Ґрунтуючись на умові єдності процесів виготовлення та експлуатації різьбових з'єднань розроблена технологія гладкорізьбових з'єднань, що забезпечує підвищення надійності з'єднань «шпилька-корпус» з алюмінієвих і магнієвих сплавів і можливість автоматизації процесу складання [2].

Виявлення недосконалості методу контролю загвинчування різьбового з'єднання крутним моментом і пропозиція щодо підвищення точності завдання сили притискання з'єднаних деталей наведено в роботі [3].

Згадані роботи не висвітлюють однієї з причин послаблення різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки, тобто вібрації у трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

На основі теоретичних досліджень отримано залежність зміни відносної динамічної величини від часу, що можна використати для планування профілактичних заходів в кожному окремому випадку вібраційного навантаження різьбових з'єднань, які пружними і дисипативними параметрами виведені у нерезонансні режими роботи [4].

Аналіз існуючих методів контролю зусилля в стрижнях загвинченого з'єднання та використання способу контролю якості монтажу висвітлюється в роботі [5].

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 [6].

Вивчення кінематичного аспекту послаблення різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки носить наукоємний характер і потребує теоретичних досліджень ще й з огляду підвищення вимог до якості сучасної сільськогосподарської техніки.

Результати досліджень. Однією з причин послаблення різьбового з'єднання є взаємне кутове переміщення різьбового стрижня та гайки. Таке переміщення виникатиме за умови відповідного характеру вібрації з'єднаних деталей. Саморозгвинчування у випадку коливань, направлених під кутом 90° до осі різьбового стрижня, буде відбуватись в наслідок втрати монолітності контактів між деталями з'єднання. Це явище виникатиме при встановленні різьбового стри-

жня з зазором та без розвантаження стику з'єднаних деталей. Спостереження показали, що останнє має місце в конструкціях сільськогосподарських машин, а це сприятиме складному руху опорної поверхні гайки.

Серед кінематичних причин можна виділити наступні послаблення різьбового з'єднання: а) виникнення взаємних кутових переміщень навколо нейтральної лінії різьбового стрижня від крутних коливань з'єднаних деталей; б) коливання з'єднаних деталей (на яку опирається головка болта і гайка у болтовому з'єднанні, гайка у шпильковому і головка гвинта у гвинтовому) у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, за яких виникатимуть тангенційні складові, що повертатимуть різьбовий отвір відносно різьбового стрижня [6].

Найбільші навантаження на контакт з'єднаних деталей виникають в області резонансних режимів, внаслідок чого різьбові з'єднання послаблюються. В межах даної роботи дані питання не розглядаються. Розглянемо коливання різьбового з'єднання. Джерелом коливань контакту з'єднаних деталей є сумарні коливання, що надійшли до кожної із деталей і є результатом власних коливань деталей та вимушених коливань від рухомих робочих органів. Рух точки O 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. Працездатне різьбове з'єднання виконуватиме рух в межах пружних деформацій, що є характерним для нерезонансної зони.

Вібрація різьбового з'єднання характеризується амплітудою, частотою і початковою фазою і частіше становить суперпозицію коливань у кожному з напрямів (x , y , z). Заміряні на сільськогосподарській машині коливання різьбового з'єднання в точках O_1 та O_2 (рис. 1) можна звести до найпростішої параметричної форми:

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

Однією з функцій різьбового з'єднання є забезпечення стабільності притискання з'єднаних деталей і встановлюється у напрямку дії домінуючого навантаження вздовж осі. В конструкціях сільськогосподарської техніки також переслідують цей принцип. Проте аналіз коливання показує наявність осьових складових вібраційних навантажень у поєднанні із поперечними. Це створює сприятливі умови до послаблення контакту з'єднаних деталей і повертання різьбового отвору відносно різьбового стрижня. Ці обставини обумовлюють необхідне зусилля притискання.

Першою умовою щільності контакту з'єднаних деталей буде нульове значення різниці переміщень:

$$a_{1.3} \cos(\omega_{1.3} t + f_{1.3}) z_1 - a_{2.3} \cos(\omega_{2.3} t + f_{2.3}) = 0. \quad (2)$$

звідки, враховуючи різницю фаз як f , у загальному вигляді залежність зміни початкової фази:

$$\varphi = \arccos \left[\left(\frac{a_{1.3}}{a_{2.3}} \cos(\omega_{1.3} t) \right) \right] - \omega_{2.3} t. \quad (3)$$



Рис. 1. Вимірювання вібрації різьбового з'єднання техніки.

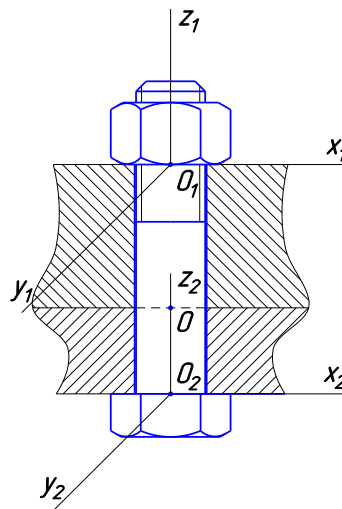


Рис. 2. Схема різьбового з'єднання.

Амплітуда відносних коливань різьбового з'єднання вздовж осей $O_1 z_1$ та $O_2 z_2$ (осі z_1 та z_2 співпадають) при однакових частотах у цих напрямках залежатиме від різниці початкових фаз коливань: амплітуда зростає від 0 до суми амплітуд $a_z = a_{1.3} + a_{2.3}$ при збільшенні різниці початкових фаз від 0 до 2π (рис. 3).

Частинний випадок виникає, коли амплітуди коливань під головою болта і гайки рівні за модулем (рис. 4):

$$f = (\omega_{1.3} - \omega_{2.3}) t.$$

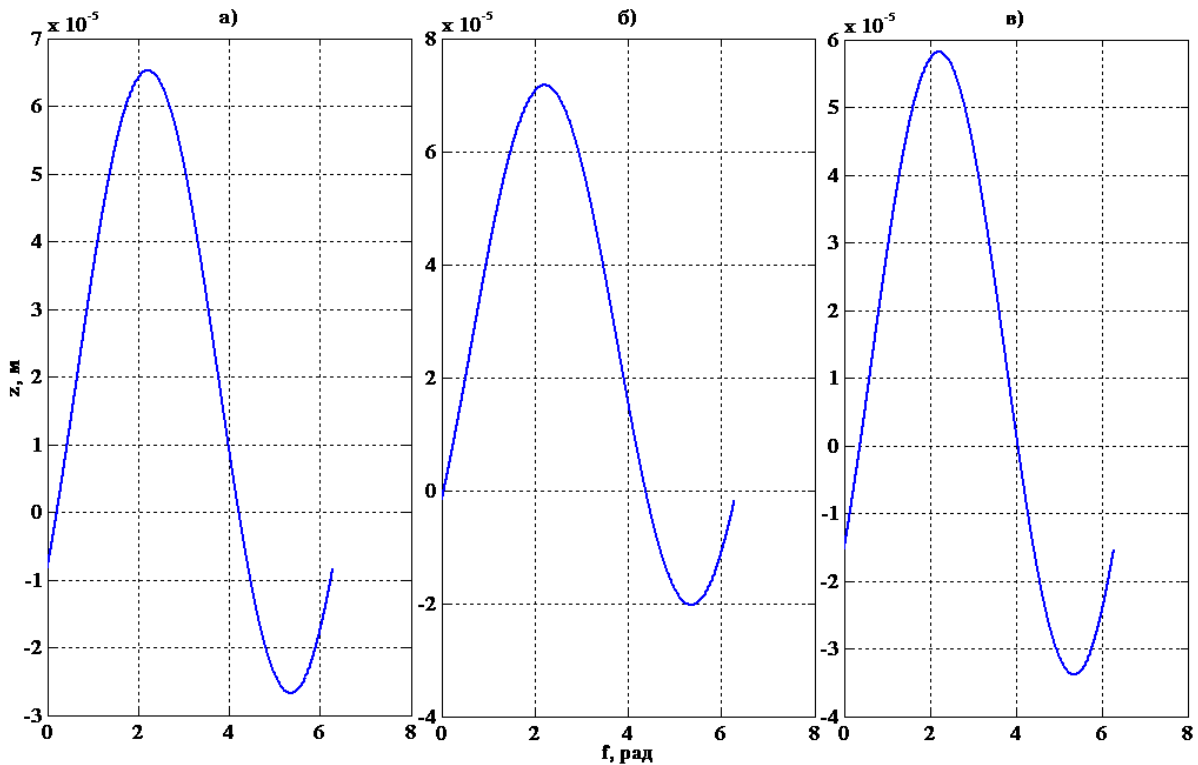


Рис. 3. Графік залежності зміни відносних переміщень від різниці амплітуд при відношенні кругових частот повздовжніх коливань: а) $\omega_{2,3}/\omega_{1,3}=0,5$; б) $\omega_{2,3}/\omega_{1,3}=1,0$; в) $\omega_{2,3}/\omega_{1,3}=2,0$.

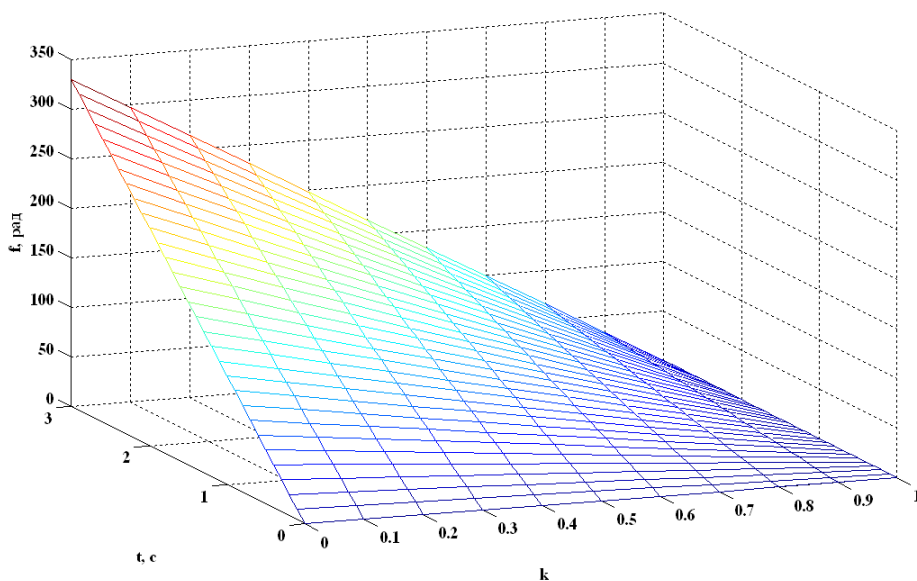


Рис. 4. Графік залежності зміни різниці початкових фаз f від часу t та відношення частот k .

Якщо і кругові частоти коливань однакові $\omega_{1,3} = \omega_{2,3}$ умовою працездатності різьбового з'єднання є рівність початкових фаз: $f = 0$.

Другою умовою щільності контакту буде відсутність крутного коливання в момент сприяння розкриттю стику за першою умовою. Для практики важливо розвести ці два явища у часі, що ускладню-

ється наявністю періодичної складової даних процесів. Вирішення даного питання можливе двома шляхами: 1 – мінімізація крутного ефекту в площині поперечній до осі різьбового стрижня; 2 – використання раціонально орієнтованої різьбової пари чи напрямку різьби.

Другий спосіб актуальний, коли в конструкції машини є можливість встановити різьбовий стрижень зворотного напрямку. Часто це не можливо зробити через рух технологічного матеріалу в місці планованому для встановлення стрижня, створення неможливим технічне обслуговування (ТО) через відсутність чи ускладнений доступ до з'єднання. Напрямок різьби знижує взаємозамінність і уніфікацію деталей, що позначається на вартості ТО та ремонту.

Мінімізація крутного ефекту у поперечній площині має свої особливості. В ідеальному випадку вона можлива за мінімізації або обнуління коливань у поперечному напрямку, що неможливо з огляду технічних можливостей. Отже мінімізація. Протягом періоду нормальної роботи різьбове з'єднання виконуватиме відносний рух в межах пружних деформацій, що є характерним для нерезонансної зони. У загальному випадку коливальної системи болтового з'єднання точки O_1 та O_2 виконуватимуть рух в площині XU за залежностями $y_1(x_1)$ та $y_2(x_2)$ відповідно (рис. 5).

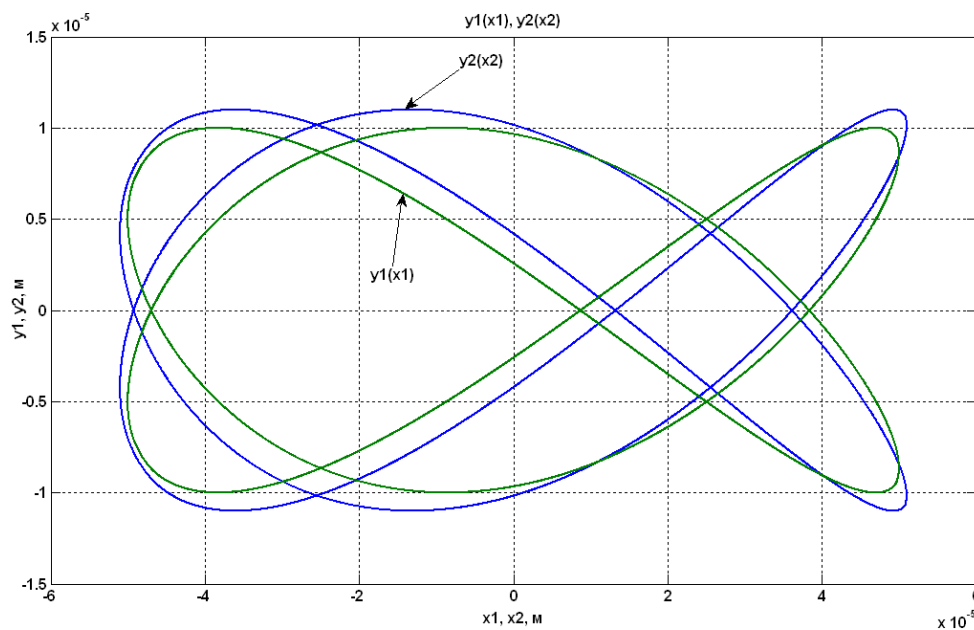


Рис. 5. Графік залежностей зміни переміщень в точках O_1 і O_2 .

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. Зниження амплітуди та частоти вібрації сільськогосподарських машин закладають на етапі проектування і виготовлення і обмежується сучасними досягненнями в машинобудуванні.

Зменшення впливу поперечної вібрації у напрямку x та y на опорній поверхні головки болта і гайки без зниження амплітуди та частоти коливань можливе зміною початкової фази.

Сумарне відхилення від положення рівноваги:

$$r_1 = \sqrt{[a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + f_{1.1})]^2 + [a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + f_{1.2})]^2},$$

має бути мінімізоване (рис. 6).

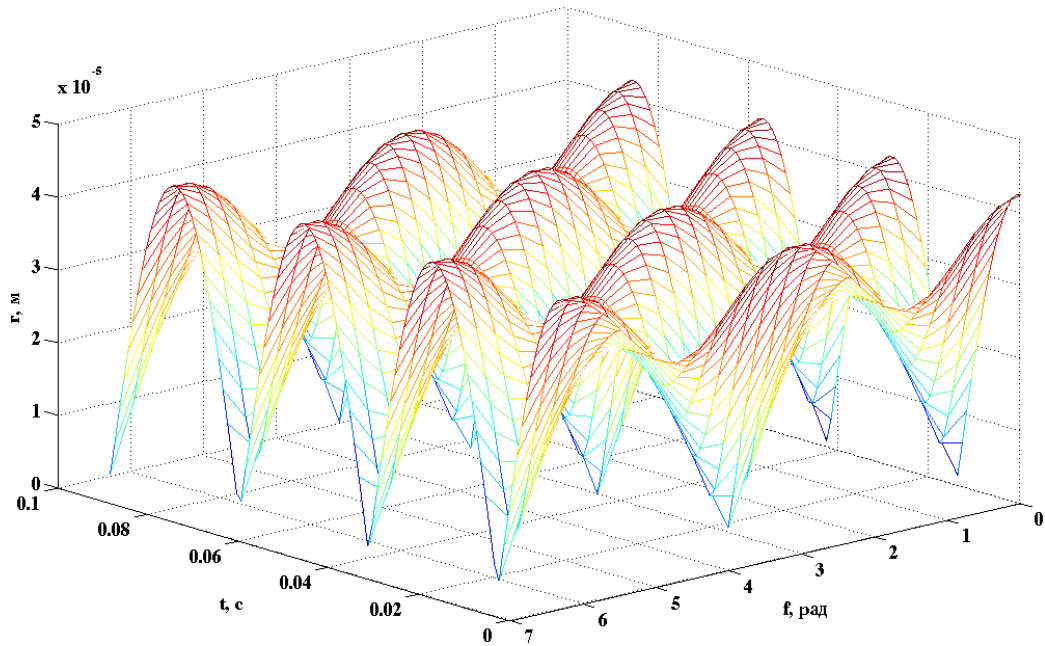


Рис. 6. Графік залежності зміни відхилення від положення рівноваги r від різниці початкових фаз f та часу t .

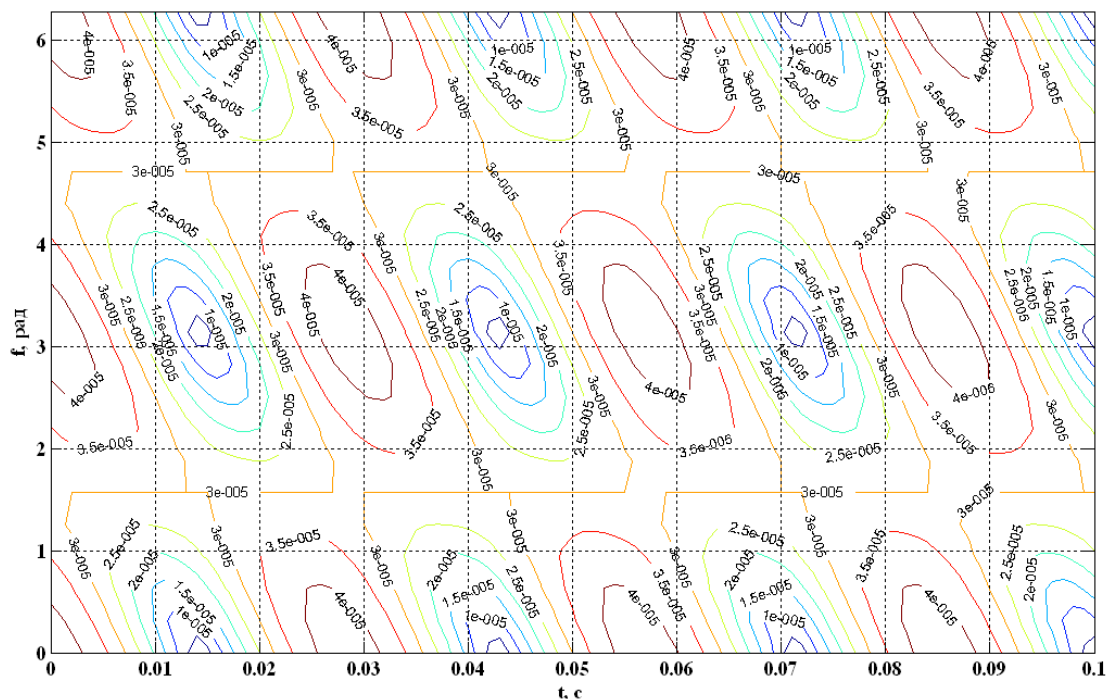


Рис. 7. Графік ліній рівня залежності $r(f, t)$.

Мінімальні значення добре зображуються графіком ліній рівня (рис. 7), де чітко видно точки (f, t) за найменшого значення величини r . Поява мінімумів є періодичним явищем за часом і різницею частот та в межах даної статті не розглядається.

В процесі роботи різьбового з'єднання на машинах з механічним приводом технічно неможливо змінити фазу коливань. Вирішення цього питання можливе на машинах із електроприводом (сервоприводом). Інформація із датчиків вібрації надходить до блоку управління і дає команду на електродвигун для зміни фази шляхом збільшення чи зменшення частоти обертання, після чого частота обертання стабілізується для забезпечення якості виконання технологічного процесу. Даний алгоритм є актуальним для машин із великою кількістю резонансних частот на робочих режимах.

Висновки

На основі теоретичних досліджень отримано залежність зміни початкової фази від впливових факторів, що дає можливість судити про осьові вібраційні навантаження різьбового з'єднання і планувати профілактичні заходи для окремого різьбового з'єднання та давати рекомендації щодо уточнення геометричних розмірів з'єднання.

Зменшення різниці початкових фаз поперечних коливань дозволить зменшити крутий ефект вібрації, що особливо актуально в момент відмінного від нуля значення різниці початкових фаз по вздовжніх коливань під опорною поверхнею головки болта і гайки.

Список літератури

1. Прокофьев А. Н. Технологическое обеспечение и повышение качества резьбовых соединений. Диссертация д. т. н. – Брянск, 2008. – 304 с.
2. Тепляков А. Ю. Повышение эффективности сборки и разборки резьбовых соединений путем применения ультразвуковых колебаний. Диссертация к. т. н. – Самара, 2004. – 192 с.
3. Соловьев В. Л. Пути обеспечения плотности стыка резьбовых соединений при производстве, техническом обслуживании и ремонте машин сельскохозяйственного назначения / В. Л. Соловьев // Омский научный вестник. – 2013. – №1(117). – С. 68–71.
4. Рубець А. М. Кінематика опорної поверхні гайки різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки / А. М. Рубець // Механізація та електрифікація сільськогосподарства. – Глеваха, 2014. – Вип. 99, т. 2. – С. 328–338.
5. Блаер И. Л. Качество сборки резьбовых соединений / И. Л. Блаер // Автоматизация и современные технологии. – 2003. – №7. – С. 13–20.
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.

Приведены основные параметры движения точек, лежащих на опорной поверхности гайки и головки болта, которые опреде-

ляют работоспособность соединения. Выполнение предложенных действий во время проектирования, изготовления и использования резьбовых соединений позволит продлить срок их службы.

Резьбовое соединение, техника, кинематика.

The basic parameters of movement of points lying on the supporting surface of the nut and bolt that determine of working ability of connection are shown. Implementation of the proposed action in the designing, manufacturing and usage of threaded connections will extend their working time.

Threaded connection, machinery, kinematics.

УДК 001.32

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РОЗРОБКИ КАФЕДРИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА СИСТЕМОТЕХНІКИ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА П.М. ВАСИЛЕНКА**

***Д. Г. Войтюк, кандидат технічних наук,
член-кореспондент НААН***

Л. В. Аніскевич, доктор технічних наук

В. В. Теслюк, доктор сільськогосподарських наук

Наведені основні результати науково-технічної та інноваційної діяльності за останні роки функціонування кафедри.

Наука, техніка, дослідження, інновації, кафедра.

Однією з тенденцій розвитку сучасного сільськогосподарського виробництва передових країн світу є впровадження системи точного землеробства (СТЗ) – практичного застосування змінних норм (доз) внесення технологічних матеріалів (насіння, пестицидів, добрив тощо) у відповідності до унікальних особливостей кожної елементарної ділянки поля. Система точного землеробства дозволяє максимально ефективно використовувати потенціал сільськогосподарських угідь при значному зменшенні техногенного навантаження на навколишнє середовище.

В руслі цієї передової тенденції розвитку сучасного рослинництва на кафедрі функціонує Проблемна лабораторія "Точне землеробство" (ПЛТЗ), науковим керівником якої є професор Войтюк Д. Г. і який очолив наукову школу технологій точного землеробства.

© Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Теслюк, 2015