

УДК 631.3:62-231.3

СИНХРОННІ ТА НЕСИНХРОННІ РІЗЬБОВІ З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Я. М. Михайлович¹, А. М. Рубець²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

²Білоцерківський національний аграрний університет, Україна.

Кореспонденція авторів: yaroslav_m@ukr.net, a-rubets@ukr.net.

Історія статті: отримано – травень 2018, акцентовано – вересень 2018.

Бібл. 9, рис. 8, табл. 1.

Анотація. Виокремлено два типи з'єднань за характером вібрації на опорних поверхнях головки болта та гайки. Отримано залежності зміни окремих кінематичних параметрів синхронних та несинхронних різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки.

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

Постановка проблеми

Розповсюдженість різьбових з'єднань на сучасній сільгосптехніці виокремлює питання забезпечення їх працездатності та справності на високий рівень поряд з надійністю робочих органів машин [1]. Аналіз вібраційного навантаження різних різьбових з'єднань дозволив розділити їх на 2 групи за характером вібрації на опорних поверхнях головки болта та гайки. Науковий та технічний інтерес складає виокремлення характерних властивостей їх руху під впливом вібрації.

Аналіз останніх досліджень

На теперішній час відомо багато досліджень, спрямованих на підвищення наробітку різьбового з'єднання до їх послаблення в умовах вібрації [2, 3], в яких в тій чи іншій мірі використовуються сучасні підходи до контактної взаємодії деталей.

Енергетичний аспект коливань різьбового з'єднання, з точки зору причин послаблення, вивчався авторами Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao [4]. В роботі розглядаються два підходи до визначення послаблення різьбового з'єднання: 1-розсіювання енергії хвиль (підхід заснований на лінійному акустичному методі); 2-віброакустична модуляція (підхід заснований на нелінійному методі).

Для детального аналізу, планування операцій технічного обслуговування тощо, різьбові з'єднання поділяють на декілька груп, основними з яких можна вважати:

- за призначенням;
- за способом забезпечення необхідного наробітку до послаблення;

- за навантаженням (та його характером);
- за геометричними параметрами.

Мета досліджень

Теоретичні дослідження і аналіз вібраційного навантаження спонукає виокремити нову групу з'єднань за характером вібрації на опорних поверхнях головки болта та гайки. Літературний огляд показав, що в наявних дослідженнях дане питання висвітлене не в повній мірі, що спонукає до проведення дослідження характеристик різьбових з'єднань указаних груп.

Результати досліджень

Об'єктом дослідження є вібрація різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки. До обробки в дослідженні брались реальні записи вібрації різьбового з'єднання зернозбирального комбайна. Результати досліджень отримано з використанням методів теоретичної механіки, математичного аналізу та статистичної обробки.

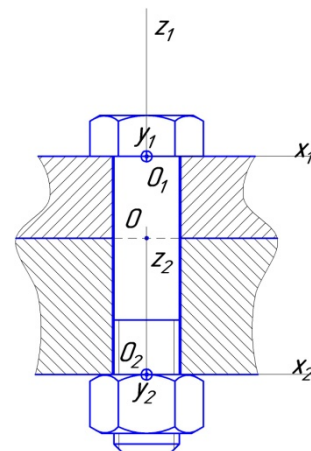


Рис. 1. Ескіз різьбового з'єднання (осі O_1Y_1 та O_2Y_2 направлені в бік спостерігача).

Вібрація в трьох взаємно-перпендикулярних напрямках є результатом дії рухомих мас робочих

органів, технологічного матеріалу та впливу явища дисипації. Вібрація, що вивчалась в цьому дослідженні, є вимушеною, виміряна на ustalених режимах роботи машини і існує як результат балансу енергії, що надходить до коливальної системи та енергії, що затрачується на тертя.

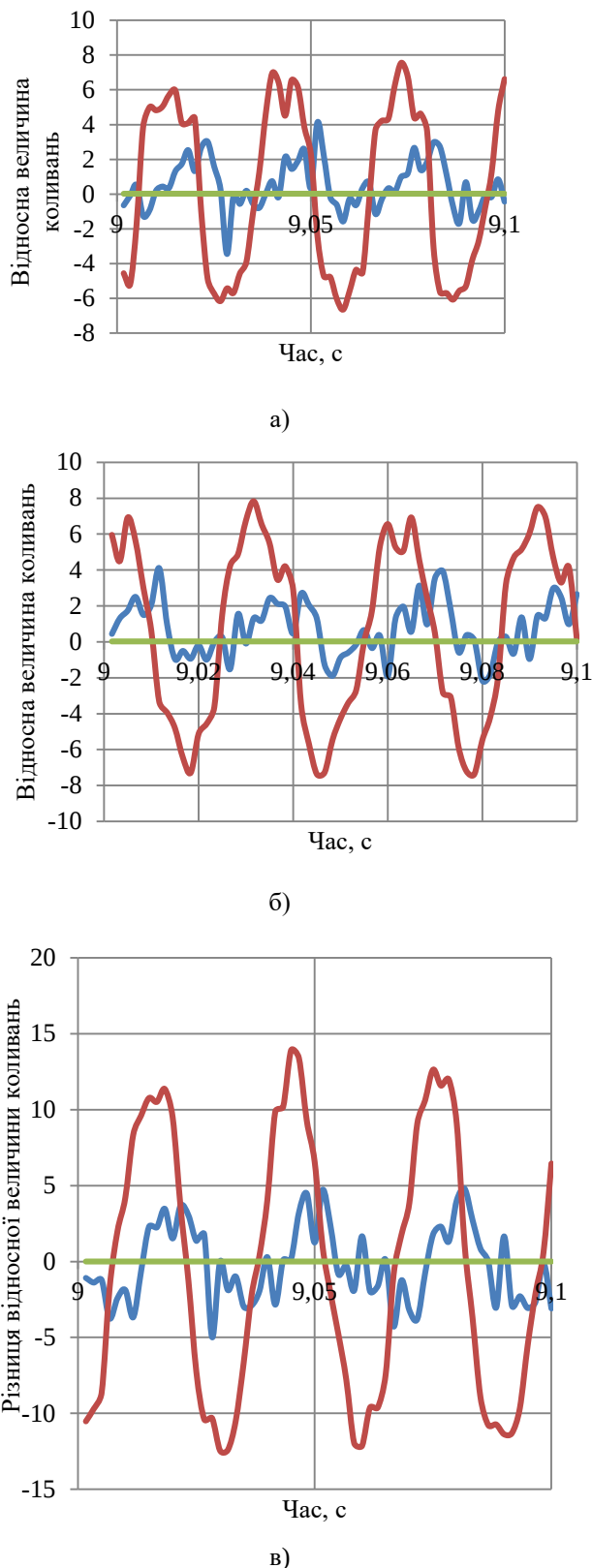


Рис. 2. Колювання опорної поверхні гайки O_1 (а), головки болта O_2 (б) та різниця переміщень напрямків $X_1 - X_2$; $Y_1 - Y_2$; $Z_1 - Z_2$ несинхронного з'єднання.

Примітка. Оскільки ці та подальші графіки використовуються для загального опису синхронних та не синхронних з'єднань позначати на рисунку належність кривих певним осям втрачає актуальність.

В частинному випадку вібрація з'єднуваних деталей у відповідних напрямках має різні параметри до моменту надання необхідного зусилля їх притискання. Після монтажу з'єднання не значні колювання поглинаються, а залишаються колювання робочі, вплив яких на різьбове з'єднання є визначальним. Вібрація різьбового з'єднання є результатом складання колювань, що виникають в деталях і механізмах та надходять до цього з'єднання. Аналіз заміряної вібрації болтового з'єднання на зернозбиральних комбайнах (рис. 1) дозволяє задати її аналітичний вираз [5]:

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

В дослідженні [6] введено поняття синхронне та несинхронне з'єднання. Виокремимо частинні випадки для вібрації з'єднань (табл. 1).

У випадку, коли в одному з напрямків вібрація відсутня:

$$\begin{aligned} z_1 &= 0 \text{ та } z_2 = 0 \\ y_1 &= 0 \text{ та } y_2 = 0 \\ x_1 &= 0 \text{ та } x_2 = 0, \end{aligned}$$

маємо плоский рух на опорній поверхні головки болта та гайки. Можливий випадок комбінації, наприклад, нульове значення в напрямку осі $O - Y$ та несинхронне в обох інших напрямках $O - Z$ та $O - X$ (рис. 2).

Дослідження кінематичних параметрів різьбових з'єднань актуально як наукової, так і з практичної точки зору [7, 8, 9]. Зокрема, актуальним є вивчення частинних випадків для використання їх з прикладною метою. Для синхронного з'єднання точки O_1 та O_2 виконуватимуть плоский рух, проте це явище характерне більше для стаціонарних машин на масивному фундаменті та достатньо збалансованими рухомими масами.

У випадку не нульової різниці колювань у повздовжньому напрямку це буде діагностичним ознакою перевантаження різьбового стрижня в осьовому напрямку. У багатьох випадках різьбових з'єднань сільгосптехніки у даному напрямку спостерігається недовантаження з'єднань. У випадку нульової різниці колювань у повздовжньому напрямку колювання відбуватимуться лише у площинах XY у вигляді складних фігур Ліссажу (рис. 4). Дана залежність має складну форму від амплітуд, частот та початкових фаз колювання. За графіком можна визначити відношення частот колювань по осях OX та OY ; для точки O_1 :

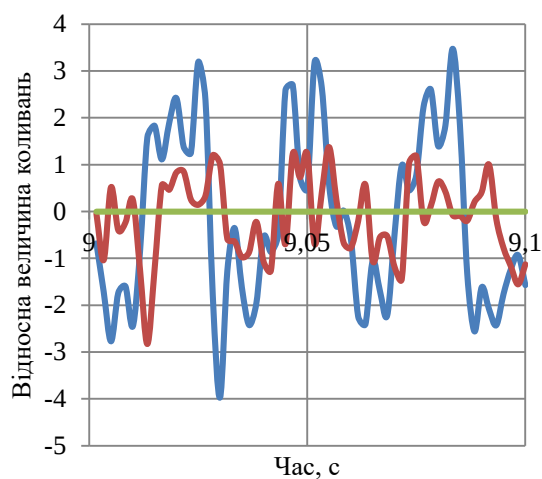
$$\frac{\omega_{x1}}{\omega_{y1}} = \frac{6}{20} = \frac{1}{3,33}$$

для точки O_2

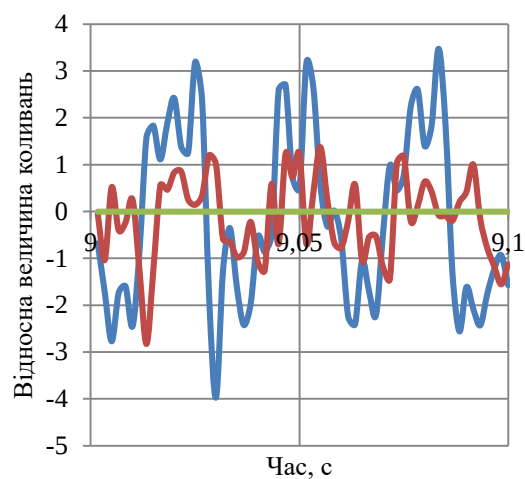
$$\frac{\omega_{x2}}{\omega_{y2}} = \frac{8}{20} = \frac{1}{2,50}$$

Таблиця 1. Характеристика з'єднань.

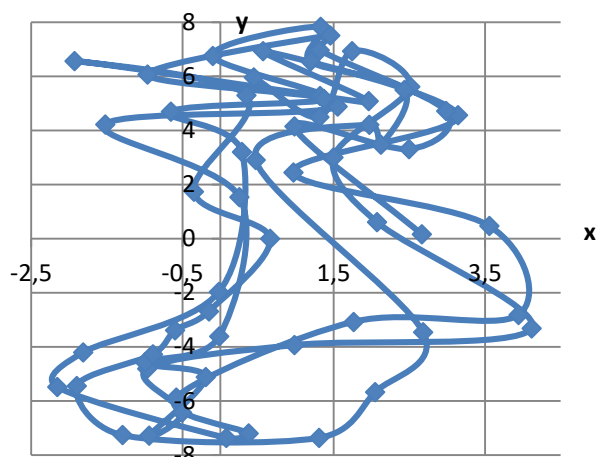
Тип з'єднання	Параметри вібрації
Синхронне	$x_1 - x_2 = 0; y_1 - y_2 = 0; z_1 - z_2 = 0$
Несинхронне	$x_1 - x_2 \neq 0; y_1 - y_2 \neq 0; z_1 - z_2 \neq 0$
Частково синхронне	$x_1 - x_2 = 0; y_1 - y_2 = 0; z_1 - z_2 \neq 0$
	$x_1 - x_2 = 0; y_1 - y_2 \neq 0; z_1 - z_2 \neq 0$
	$x_1 - x_2 \neq 0; y_1 - y_2 = 0; z_1 - z_2 = 0$
	$x_1 - x_2 \neq 0; y_1 - y_2 = 0; z_1 - z_2 \neq 0$
	$x_1 - x_2 \neq 0; y_1 - y_2 \neq 0; z_1 - z_2 = 0$
	$x_1 - x_2 = 0; y_1 - y_2 \neq 0; z_1 - z_2 = 0$



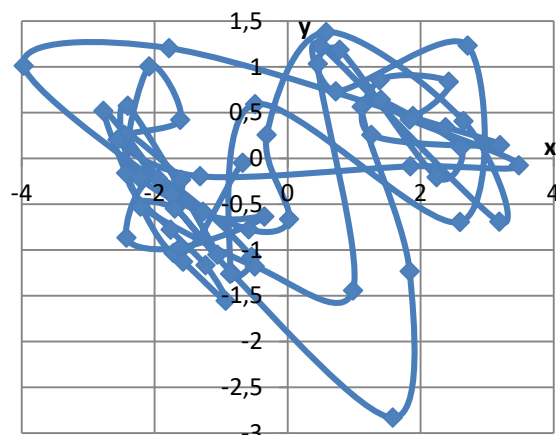
а)



б)

 Рис. 3. Коливання опорної поверхні гайки O_1 (а), головки болта O_2 (б) синхронного з'єднання.


а)



б)

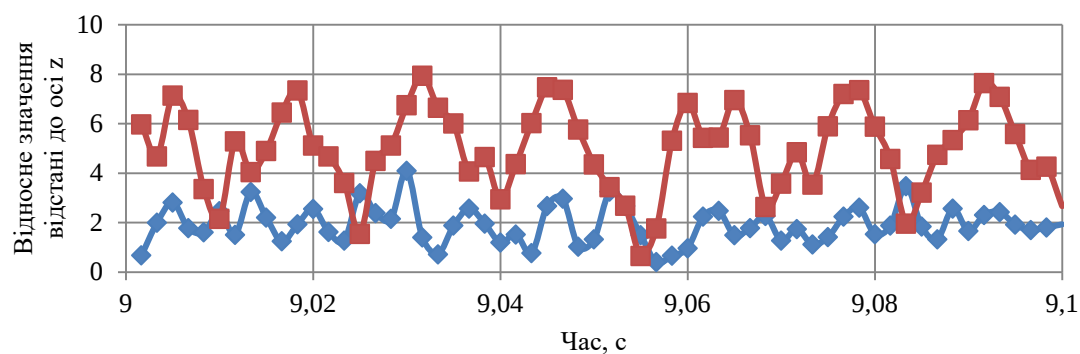
 Рис. 4. Графік руху точки O_1 (а) та O_2 (б) в площині координатних осей XY.


Рис. 5. Графік залежності зміни відстані до положення рівноваги для несинхронного з'єднання з нульовим значенням коливань в напрямку OZ.

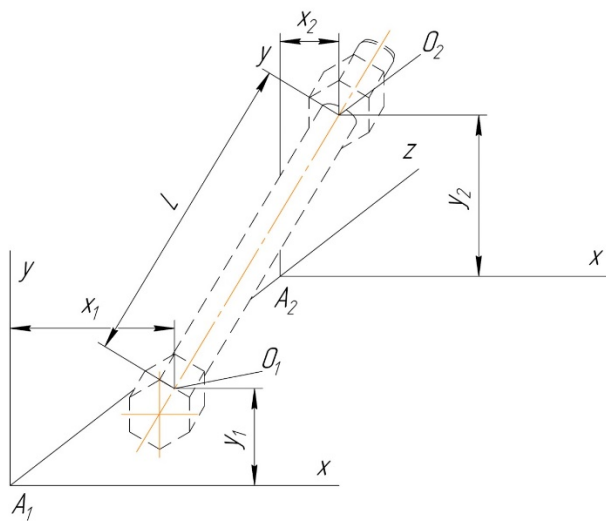


Рис. 6. Схема для визначення кутів між віссю болта і площинами YY та XX.

Для даного фрагменту, що взятий за приклад, кругові частоти по осі OY точки O₁ та O₂ дорівнюють одна одній:

$$\omega_{y1} = \omega_{y2}$$

Для несинхронного з'єднання характерне не нульове значення кута повороту осьової лінії різьбового стрижня відносно положення рівноваги.

Величину кутів можна визначити, використовуючи рис. 6 наступною залежністю [6]:

$$\varphi_x = \arctg\left(\frac{x_1 - x_2}{L}\right)$$

$$\varphi_y = \arctg\left(\frac{y_1 - y_2}{L}\right)$$

де L – сумарна товщина з'єднаних деталей, м.

Із залежності (1) зрозуміло, що на кут повороту осі різьбового стрижня чинять вплив амплітуди, частоти та початкові фази, а також сумарні товщини з'єднаних деталей L .

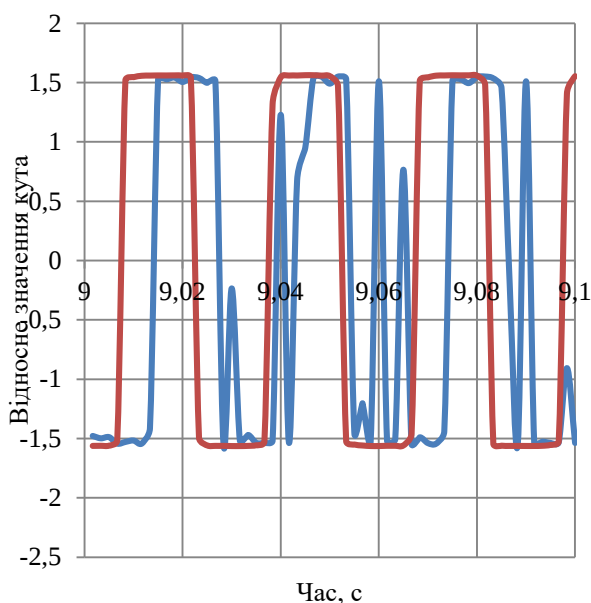


Рис. 7. Залежність зміни відносного значення кута повороту осьової лінії різьбового стрижня відносно осей XX та YY від часу для несинхронного з'єднання.

Кутові переміщення не синхронного з'єднання мають стрімкі піки та сталі значення на певному значенні кута (рис. 7).

Кутова швидкість осьової лінії різьбового з'єднання відносно осі OZ виявило так званий крен у бік домінуючого кута і коливання його значення біля положення рівноваги близько 0,003 рад/с. Даний крен обумовлений робочими вібраційними навантаженнями на різьбове з'єднання і пружно-дисипативними характеристиками контакту з'єднуючих та з'єднуваних деталей (рис. 8).

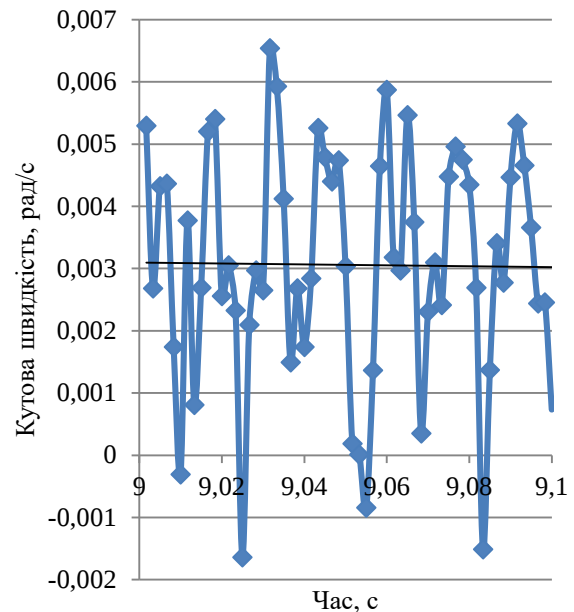


Рис. 8. Графік залежності зміни кута повороту осі різьбового стрижня відносно осі положення статичної рівноваги від часу (лінія тренду показана тонкою спадаючою лінією).

Висновки

1. Завдяки аналізу вібрації опорної поверхні головки болта і гайки розкрито характерні ознаки синхронного та несинхронного з'єднання.
2. Числовий аналіз вібрації різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки дозволяє судити про навантаженість різьбового з'єднання поперечною вимушеною силою та кутовими відносними коливаннями опорних поверхонь головки болта і гайки.
3. Дослідження актуальні для використання у симулятивному моделюванні даного процесу з метою прогнозування наробітку різьбового з'єднання та планування профілактичних дій.

Список літератури

1. Рубець А. М. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів. Автореферат дис. канд. тех. наук. Київ. 2009. 20 с.

2. *Ying Hu, Le Shen, Shidong Nie, Bo Yang, Wei Sha.* FE simulation and experimental tests of high-strength structural bolts under tension. *Journal of Constructional Steel Research.* 2016. 126. P. 174–186

3. *Bo Yang, Kang Hai Tan.* Experimental tests of different types of bolted steel beam-column joints under a central-column-removal scenario. *Engineering Structures.* 2013. 54. P. 112–130

4. *Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao.* Quantitative evaluation of residual torque of a loose bolt based on wave energy dissipation and vibro-acoustic modulation: A comparative study. *Journal of Sound and Vibration.* 2016. 383. P. 156–170.

5. *Михайлович Я. М., Рубець А. М.* Підвищення наробітку різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки до послаблення. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2012. Вип. 170. Ч. 2. С. 178–185.

6. *Михайлович Я. М., Рубець А. М.* Аналіз кінематичних параметрів болтового з'єднання сільгосптехніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 286. С. 288–300.

7. *Рубець А. М.* Робота болтового з'єднання сільськогосподарської техніки в умовах 3-D вібрації. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2013. Вип. 17(31). Книга 1. С. 252–260.

8. *Михайлович Я. М., Рубець А. М.* Кінематичний аспект забезпечення працездатності різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 226. С. 65–73.

9. *Рубець А. М.* Рух точок нейтральної лінії різьбового стрижня шпилькового з'єднання сільськогосподарської техніки під впливом поперечної вібрації. Техніка і технології АПК. 2014. № 2. С. 19–21.

5. *Myhaylovich, Ya. M., Rubets, A. M.* (2012). Increase the achievements of threaded connections agricultural machinery to weaken. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture.* Kiev. Vol. 170. Part 2. 178-185.

6. *Myhaylovich, Ya. M., Rubets, A. M.* (2018). Analysis of kinematic parameters of bolted connection of agricultural machinery. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture.* Kiev. 2018. Vol. 286. 288-300.

7. *Rubets, A. M.* (2013). 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. Research.* Vol. 17(31). Book 1. 252-260.

8. *Myhaylovich, Ya. M., Rubets, A. M.* (2015). 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: electronics and energetics, agriculture.* Kiev. Vol. 226. 65-73.

9. *Rubets, A. M.* (2014). Movement of the points of the neutral line of the threaded rod connection of agricultural machinery under the influence of transverse vibration. *Equipment and technologies of agroindustrial complex.* No 2. 19-21.

СИНХРОННЫЕ И НЕСИНХРОННЫЕ РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Я. Н. Михайлович, А. Н. Рубец

Аннотация. Выделены два типа соединений по характеру вибрации на опорных поверхностях головки болта и гайки. Получены зависимости изменения отдельных кинематических параметров синхронных и несинхронных резьбовых соединений сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: резьбовое соединение, сельскохозяйственная техника, кинематика.

References

1. *Rubets, A. M.* (2009). Rationale for the frequency of maintenance of threaded connections combine harvesters. The author's abstract dis. cand. tech. sc. Kiev. 20.

2. *Ying Hu, Le Shen, Shidong Nie, Bo Yang, Wei Sha.* (2016). FE simulation and experimental tests of high-strength structural bolts under tension. *Journal of Constructional Steel Research.* 126. 174-186.

3. *Bo Yang, Kang Hai Tan.* (2013). Experimental tests of different types of bolted steel beam-column joints under a central-column-removal scenario. *Engineering Structures.* 54. 112-130.

4. *Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao.* (2016). Quantitative evaluation of residual torque of a loose bolt based on wave energy dissipation and vibro-acoustic modulation: A comparative study. *Journal of Sound and Vibration.* 383. 156-170.

SYNCHRONOUS AND NON-SYNCHRONOUS THREADED JOINTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Mykhaylovych Ya. M., Rubets A. M.

Abstract. Two types of connections are distinguished by the nature of the vibration on the base surfaces of the head of the bolt and the nuts. Dependences of changes of some kinematic parameters of synchronous and non-synchronous threaded fasteners of agricultural machinery have been calculated.

Key words: threaded fasteners, vibration, kinematics, agricultural machinery.

