

UDC: 681.825.2**THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES TRANSFER
COEFFICIENT INERTIAL TORQUE COUPLING SCREW CONVEYOR****V. Karetin**<https://orcid.org/0000-0002-2990-1852>e-mail: kvm.tntu@gmail.com**V. Baranovsky, Dr., Prof.**<https://orcid.org/0000-0002-4505-2168>e-mail: baranovskyvm@ukr.net**P. Stukhlyak, Dr., Prof.**<https://orcid.org/0000-0001-9067-5543>e-mail: stuh@tu.edu.te.ua**A. Kurko, Ph.D., Assoc. Prof.**<https://orcid.org/0000-0003-1338-6945>e-mail: cunevir@tntu.edu.ua

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine, Ternopil

The efficiency and reliability of machines and mechanisms largely depends on the correct choice of their layout, calculation and justification of rational design, kinematic and dynamic parameters, as well as on ensuring high-precision and reliable protection of working bodies and machine drives in case of overloads.

The devices that automatically turn off the working mechanisms when they are overloaded include friction, electromagnetic and other couplings that allow you to adjust the amount of permissible torque and automatically turn on the mechanisms when the overload stops.

According to the results of the planned factor experiments, the regression equations are obtained, which characterize the change of the braking torque of the output shaft of the inertial safety clutch depending on

the input parameters: speed of the input shaft and gear ratio of the imbalance drive mechanism. The results of the study are prerequisites for the development of methodology and methods of substantiation of rational parameters of the operation of inertial safety couplings.

Keywords: experimental stand, torque, speed, gear ratio, planned factorial experiment.

Каретін В. М., доктор технічних наук, професор Барановський В. М., доктор технічних наук, професор Стухляк П. Д., кандидат технічних наук, доцент Курко А. М., Результати експериментальних досліджень коефіцієнта корисної дії інерційної запобіжної муфти гвинтового конвеєра / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна, Тернопіль.

В роботі наведено результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнта передачі крутного моменту, або коефіцієнта корисної дії інерційної запобіжної муфти для комбінації двох варіантів і двох випадків виконання приводу: з реверсом і паразитною шестернею; без реверсу і паразитною шестернею; з реверсом і без паразитної шестерні; без реверсу і без паразитної шестерні. Максимальні значення коефіцієнта передачі крутного моменту, які змінюються в діапазоні від 0,81 до 0,96 отримано за зміни передаточного відношення приводу верхнього дебалансу від 2,0 до 3,2 та діапазону зміни частоти обертання вхідного вала муфти від 262,5 об/хв до 437,5 об/хв. На основі порівняльного аналізу обґрунтовано раціональні параметри інерційної запобіжної муфти за яких досягається максимальне значення коефіцієнта передачі крутного моменту гвинтовому конвеєру.

Ключові слова: експериментальний стенд, крутний момент, частота обертання, передаточне відношення, планований факторний експеримент.

Постановка проблеми. Існуючі конструкції кулькових запобіжних муфт не можуть задовольнити сучасні експлуатаційні вимоги до технологічних машин, а саме потребують додаткового часу на відновлення початкового положення півмуфт після їх відносного повертання або є конструктивно складними і ненадійними в роботі [1, 2].

Одним з шляхів вирішення наукової задачі є розробка і застосування високоточних і низькодинамічних інерційних запобіжних муфт, функціональні і експлуатаційні параметри яких залишаються стабільними при значному терміні їх експлуатації та які забезпечують усунення аварійних ситуацій, які виникають при значних перевантаження робочих органів [3, 4].

У зв'язку з цим актуальним є питання розробки нових конструкцій та обґрунтування раціональних конструктивно–кінематичних параметрів саморозмикних запобіжних муфт, що забезпечить суттєве зниження ударних навантажень на вузли приводу і відповідно підвищать надійність і довговічність механізмів і машин. До таких муфт можуть належати саморозмикні інерційні запобіжні муфти [5, 6].

Формулювання мети статті та задач. Мета дослідження: розробка математичних емпіричних моделей, які функціонально описують зміну коефіцієнта корисної дії інерційної запобіжної муфти.

Задачі дослідження: обґрунтувати раціональні параметри інерційної запобіжної муфти на основі визначення максимального значення коефіцієнта передачі крутного моменту гвинтовому конвеєру.

Виклад основного матеріалу. Дослідження функціонального характеру зміни коефіцієнта корисної дії (к.к.д.) η_{mi} інерційної запобіжної муфти (ІЗМ) провели для таких комбінацій двох варіантів і двох випадків роботи приводу:

- комбінації з реверсом і паразитною шестернею $\eta_{p.n}$ (у подальшому комбінація I); комбінації без реверсу і паразитною шестернею $\eta_{бр.n}$ (у подальшому комбінація II); комбінації з реверсом і без паразитної шестерні $\eta_{p.\delta n}$ (у подальшому комбінація III); комбінації без реверсу і без паразитної шестерні $\eta_{бр.\delta n}$ (у подальшому комбінація IV).

Під час проведення експериментальних досліджень використовували розроблений експериментальний стенд (рис. 1) з можливістю регулювання вхідних параметрів. Будову та принцип роботи ІЗМ наведено у праці [7].

Для отримання регресійної моделі, яка описує зміну к.к.д. η_{mi} ІЗМ залежно від вхідних факторів, вибирали відповідний план планованого факторного експерименту, реалізацію якого проводили у такому порядку.

На першому етапі встановлювали граничні інтервали або граничні рівні варіювання (початкову, або верхню та кінцеву, або нижню межу зміни) кожного окремого вхідного фактора.

Найменування натуральних факторів, рівні варіювання та результати їх кодування наведено у табл. 1.

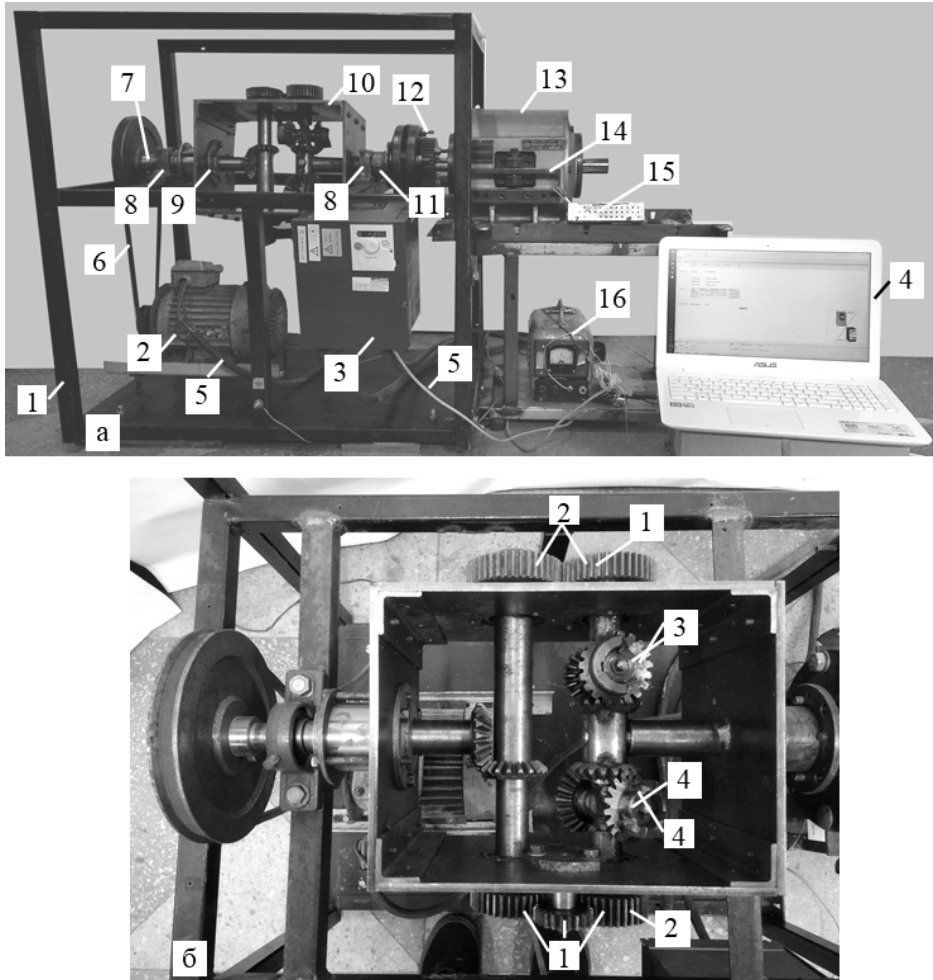


Рис. 1. Загальний вигляд: а – експериментального стенду: 1 – основна рама; 2 – електродвигун; 3 – пристрій регулювання обертами електродвигуна Altivar 71; 4 – персональний комп'ютер; 5 – комутаційне з'єднання; 6 – клинопасова передача; 7, 11 – відповідно, вхідний і вихідний вал ІЗМ; 8 – підшипникова опора; 9 – стакан; 10 – ІЗМ; 12 – муфта зубчаста з'єднувальна; 13 – електромагнітний порошковий гальмівний пристрій; 14 – тензоелектричні датчики; 15 – аналогово-цифровий перетворювач; 16 – блок живлення; б – макетного зразка ІЗМ: 1 – привод нижнього дебалансу; 2 – привод верхнього дебалансу; 3 – верхній дебаланс; 4 – нижній дебаланс

Таблиця 1

Рівні варіювання та позначення (кодування) натуральних факторів

Найменування та позначення дійсного фактора	Інтервал варіювання	Значення рівня варіювання: натуральне/кодоване		
Частота обертання вхідного вала ІЗМ n_g , об/хв	175	87,5/(-1)	262,5/(0)	437,5/(+1)
Передаточне відношення u_z приводу верхнього дебалансу	3 паразитною шестернею			
	1,05	1,1/(-1)	2,15/(0)	3,2/(+1)
	Без паразитної шестерні			
	0,65	1/(-1)	1,65 (0)	3,2/(+1)

Визначення експериментального значення коефіцієнта передачі крутного моменту, або к.к.д. η_{mi} ІЗМ проводили у такому порядку: визначали розвинену потужність N_{di} електродвигуна лабораторної установки під час проведення експерименту для заданої частоти обертання вхідного вала ($n_g = 87,5$ об/хв, $262,5$ об/хв, $437,5$ об/хв), при цьому коефіцієнт використання K_{ze} номінальної потужності електродвигуна N_{nd} під час проведення експерименту зчитували з вікна віртуального осцилографа персонального комп'ютера; визначали розрахункове значення крутного моменту на вхідному валу та к.к.д. η_{mi} для варіантів комбінації I, II, III і IV процесу роботи приводу ІЗМ.

Після нехтуванням (вилученням) незначущих коефіцієнтів $b_{22} = -2,6 \cdot 10^{-6}$; $-2,71 \cdot 10^{-4}$; $9,4 \cdot 10^5$, $b_{11} = -0,001$, $-0,001$, отримано рівняння регресії у натуральних величинах, яке характеризує та функціонально описує зміну к.к.д. η_{mi} ІЗМ залежно від частоти обертання n_g вхідного вала та передаточного відношення u_z приводу верхнього дебаланса ІЗМ для варіантів комбінації приводу I, II, III, IV, яке записано у вигляді функції $\eta_{mi} = f_{\eta}(u_z; n_g)$:

- для варіанту комбінації I (з реверсом і з паразитною шестернею) $\eta_{p.n}$:

$$\eta_{p.n} = 0,47 + 0,11u_z - 2,6 \cdot 10^{-5} u_z n_g + 2,18 \cdot 10^{-7} (n_g)^2; \quad (1)$$

- для варіанту комбінації II (без реверсу і з паразитною шестернею) $\eta_{\bar{p}.n}$

$$\eta_{\bar{p}.n} = 0,6 + 0,13u_z - 5,19 \cdot 10^{-5} u_z n_g + 6 \cdot 10^{-7} (n_g)^2; \quad (2)$$

- для варіанту комбінації III (з реверсом і без паразитної шестерні) $\eta_{p.\bar{b}n}$

$$\eta_{p.\bar{b}n} = 0,5 + 0,06u_z - 2,72 \cdot 10^{-5} u_z n_g - 0,012(u_z)^2 + 1,36 \cdot 10^{-6} (n_g)^2; \quad (3)$$

- для комбінації IV (без реверсу і без паразитної шестерні) $\eta_{\bar{p}.\bar{b}n}$

$$\eta_{\bar{p}.\bar{b}n} = 0,61 - 0,83u_z + 0,061n_g - 2,72 \cdot 10^{-5} u_z n_g + 0,009(u_z)^2 + 3,27 \cdot 10^{-6} (n_g)^2. \quad (4)$$

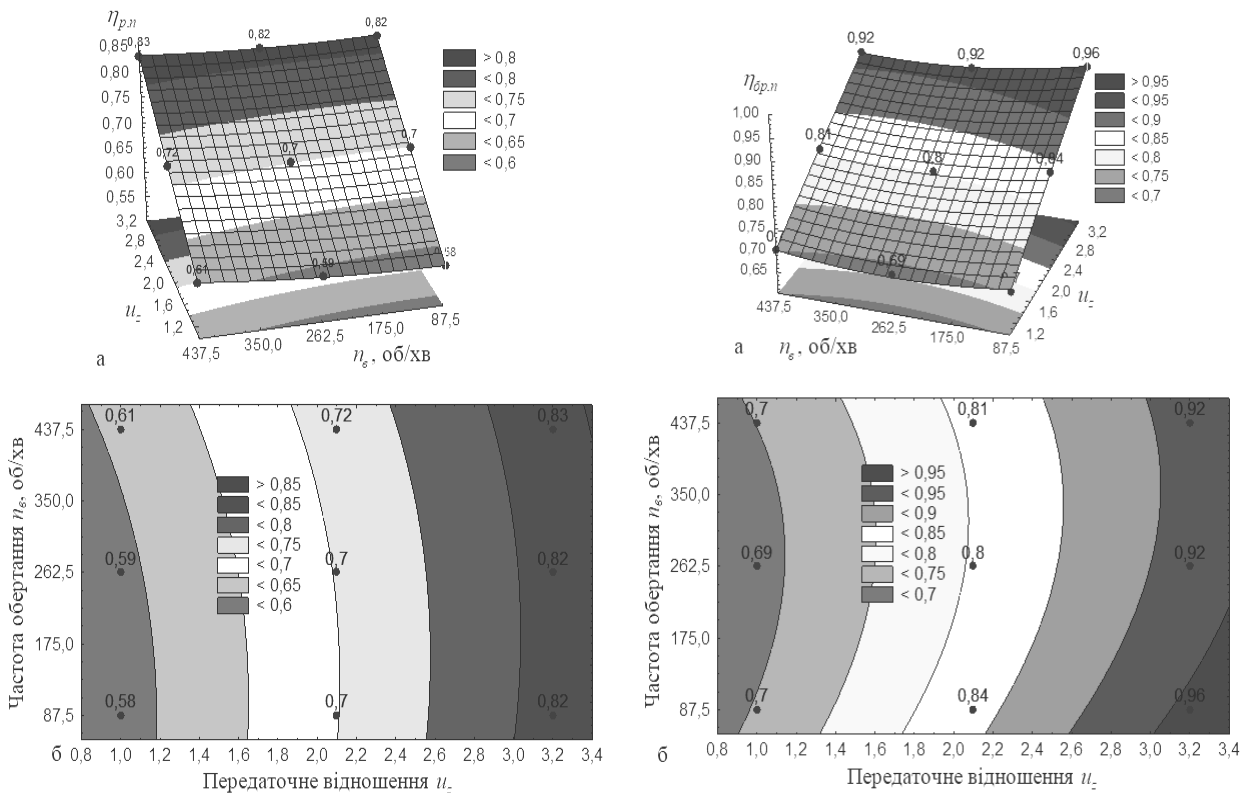


Рис. 2 Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) поверхні

відгуку функції $\eta_{p.n} = f_{\eta}(u_z; n_g)$ та $\eta_{\bar{p}.n} = f_{\eta}(u_z; n_g)$

Згідно з рівняннями регресії (1)-(4) у середовищі програмного забезпечення для персонального комп'ютера побудовано поверхні відгуку та двомірні перерізи поверхонь відгуку (рис. 2, рис. 3), які графічно описують функціональну зміну к.к.д. η_{mi} залежно від зміни

передаточного відношення u_z приводу верхнього дебалансу та частоти обертання n_e вхідного вала ІЗМ у вигляді функцій $\eta_{mi} = f_\eta(u_z; n_e)$ для прийнятих варіантів комбінації I, II, III і IV процесу роботи ІЗМ.

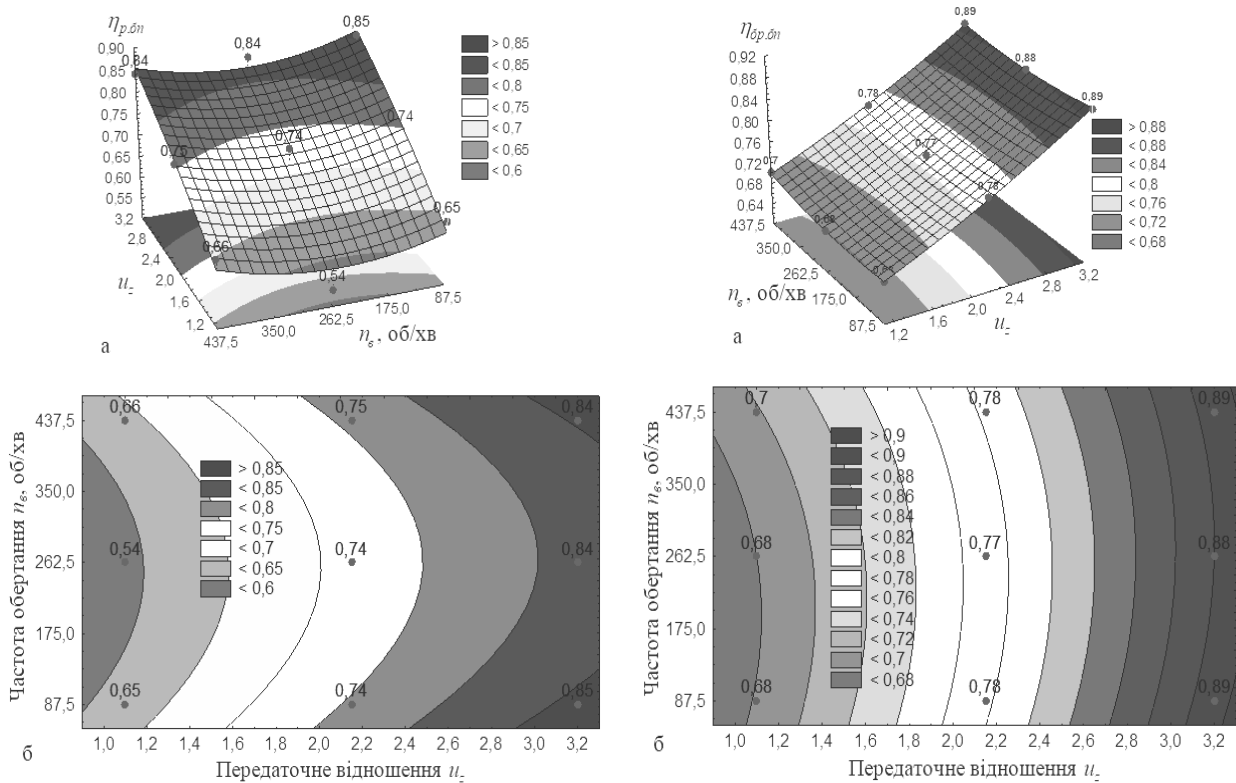


Рис. 3. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз (б) поверхні відгуку функції $\eta_{p.\delta n} = f_\eta(u_z; n_e)$ та $\eta_{\delta p.\delta n} = f_\eta(u_z; n_e)$

Збільшення частоти обертання n_e вхідного вала ІЗМ межах від 87,5 об/хв до 437,5 об/хв для варіанту комбінації I і II (з застосуванням паразитної шестерні приводу верхнього дебаланса ІЗМ) та для варіанту комбінації III і IV (без застосування паразитної шестерні приводу верхнього дебалансу ІЗМ) суттєво не впливає на зростання к.к.д. η_{mi} ІЗМ – к.к.д. η_{mi} змінюється у межах від 0,01 до 0,03.

На основі порівнянь та аналізу графічних побудов зміни к.к.д. η_{mi} ІЗМ для варіантів комбінацій I, II (рис. 1) та варіантів комбінацій III, IV

(рис. 2) процесу роботи ІЗМ залежно від зміни частоти обертання n_g вхідного вала від 87,5 об/хв до 437,5 об/хв та зміни передаточного відношення u_z від 1 до 3,2 можна констатувати, що:

- процес роботи ІЗМ без застосування реверсу та з паразитною шестернею приводу верхнього дебаланса ІЗМ (варіант комбінації II за якого верхній та нижній дебаланси мають односторонній напрямок обертання) забезпечує збільшення коефіцієнта передачі крутного моменту, або к.к.д. η_{mi} ІЗМ в середньому на 11...12 %, або в 1,1...1,2 раза порівняно з варіантом комбінації I із застосування реверсу та з паразитною шестернею;

- процес роботи ІЗМ без застосування реверсу та без паразитної шестерні приводу верхнього дебаланса ІЗМ (варіант комбінації IV за якого верхній і нижній дебаланси мають зустрічне обертання) забезпечує збільшення коефіцієнта передачі крутного моменту, або к.к.д. η_{mi} ІЗМ в середньому на 11...13 %, або в 1,1...1,3 раза порівняно з варіантом комбінації III з застосування реверсу та з паразитною шестернею.

При цьому значне збільшення коефіцієнта передачі крутного моменту, або к.к.д. η_{mi} для всіх випадків порівняння комбінацій I, II, III, IV процесу роботи ІЗМ (у середньому на 11,5 до 12 %) відбувається за передаточного відношення u_z приводу верхнього дебаланса $u_z \geq 2$ та зміни частоти обертання n_g вхідного вала ІЗМ у межах $262,5 \text{ об/хв} \leq n_g \leq 437,5 \text{ об/хв}$.

Висновки. На основі проведеного аналізу можна констатувати, що максимальні значення коефіцієнта передачі крутного моменту, або к.к.д. η_{mi} ІЗМ забезпечується під час застосування процесу роботи без реверсу та з паразитною шестернею, за якого приводи верхнього та нижнього дебалансів мають зустрічний напрямок обертання.

При цьому середні максимальні значення коефіцієнта передачі крутного моменту, або к.к.д. η_{mi} , які змінюються в діапазоні від 0,81 до 0,96, отримано за зміни передаточного відношення u_z приводу верхнього дебалансу від 2,0 до 3,2 та всього діапазону зміни частоти обертання n_6 вхідного вала ІЗМ від 262,5 об/хв до 437,5 об/хв.

Таким чином, у контексті забезпечення передачі максимального передачі крутного моменту, або к.к.д. η_{mi} , раціональні параметри процесу роботи ІЗМ знаходяться в діапазоні: частота обертання вхідного вала ІЗМ від 262,5 об/хв до 1400 об/хв; передаточне відношення приводу верхнього дебалансу від 2,0 до 3,2; передаточне відношення приводу нижнього дебалансу 1,0.

Література:

1. Буряк, М. В. (2001). Шляхи зниження динамічних навантажень при роботі запобіжних муфт. *Сільськогосподарські машини*, 8, 24-28.
2. Есипенко, Я. И., Паламаренко, А. З., Афанасьев, Н. К. (1972). *Муфты повышенной точности ограничения нагрузок*. К.: Техника.
3. Ince, E., Güler, A. (2019). Design and analysis of a novel power-split infinitely variable power transmission system. *Journal of Mechanical Design*. <https://doi.org/10.1115/1.4041783>
4. Леонов, А. И. (1981). Результаты разработок и внедрения механических бесступенчатых приводов машин. *Динамика инерционных трансформаторов, приводов и устройств*, 261, 3-9.
5. Ince, E., Güler A. (2020). On the advantages of the new power-split infinitely variable transmission over conventional mechanical transmissions based on fuel consumption analysis. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118795>
6. Tsuchiya, E., Shamoto, E. (2020). Formulation of intervibrator motion and development of a controller for a pulse-drive transmission. *Mechanism and*

Machine Theory, 150. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103880>.

7. Karetin, V. Stukhlyak, P., Kurko, A. (2020). Experimental studies of the inertial safety clutch for screw conveyor. *Scientific Journal of TNTU*, 100(4), 25-34.

References:

1. Buryak, M. V. (2001). Shliakhy znyzhennia dynamichnykh navantazhen pry roboti zapobizhnykh muft [Ways to reduce dynamic loads during operation of safety couplings.]. *Silskohospodarski mashyny [Agricultural machines]*, no 8, 24-28. [in Ukrainian].

2. Esipenko, Ya. I., Palamarenko, A. Z., Afanasyev, N. K. (1972). Mufty povyshennoj tochnosti ogranichenija nagruzok [Couplings of increased accuracy of load limiting]. K.: Tehnika [K.: Technique]. [in Russian].

3. Ince, E., Güler, A. (2019). Design and analysis of a novel power-split infinitely variable power transmission system. *Journal of Mechanical Design*. <https://doi.org/10.1115/1.4041783>

4. Leonov, A. I. (1981). Rezul'taty razrabotok i vnedrenija mehanicheskikh besstupenchatykh privodov mashin [The results of the development and implementation of mechanical stepless drives of machines]. *Dinamika inercionnykh transformatorov, privodov i ustrojstv [Dynamics of inertial transformers, drives and devices]*, 261, 3-9. [in Russian].

5. Ince, E., Güler A. (2020). On the advantages of the new power-split infinitely variable transmission over conventional mechanical transmissions based on fuel consumption analysis. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118795>

6. Tsuchiya, E., Shamoto, E. (2020). Formulation of intervibrator motion and development of a controller for a pulse-drive transmission. *Mechanism and Machine Theory*, 150. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103880>.

7. Karetin, V. Stukhlyak, P., Kurko, A. (2020). Experimental studies of the inertial safety clutch for screw conveyor. *Scientific Journal of TNTU*, 100(4), 25-34.

Citation: V. Karetin, V. Baranovsky, P. Stukhlyak, A. Kurko (2021). THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES TRANSFER COEFFICIENT INERTIAL TORQUE COUPLING SCREW CONVEYOR. New York. TK Meganom LLC. Innovative Solutions in Modern Science. 2(46). doi: 10.26886/2414-634X.2(46)2021.1

Copyright: V. Karetin, V. Baranovsky, P. Stukhlyak, A. Kurko ©. 2021. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.