**Рогатинський Р.М.**

д.т.н., професор

**Тернопільський
національний технічний
університет****Серілко Л.С.**

к.т.н., доцент

Сасюк З.К.

к.с.-г.н., доцент

Серілко Д.Л.

к.т.н., старший викладач

**Національний
університет водного
господарства та
природокористування****Rogatinsky R.****Ternopil National
Technical University
named after Ivan Puluj****Serilko L.****Sasiuk Z.****Serilko D.****National University of
Water and Environmental
Engineering****УДК 621.867.4/.6****ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ
ІНЕРЦІЙНИХ КОНВЕЄРІВ**

Для підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів нами розроблено конструкцію інерційного конвеєра для транспортування сипких матеріалів. Інерційний конвеєр складається із жолоба, який здійснює зворотньо-поступальний рух по нерухомій основі і приводу зворотньо-поступального руху жолоба. Жолоб може здійснювати не тільки зворотньо-поступальний рух, але і рух в напрямку, який перпендикулярний до осі конвеєра в горизонтальній площині. Нами запропоновано зменшити силу тертя між вантажем і жолобом в момент часу, коли швидкість жолоба відносно вантажу буде напрямлена в протилежний бік. Проведено аналіз відомих методів розв'язування нелінійних диференціальних рівнянь, які описують рух механічних систем за наявності сухого тертя, та розроблено математичну моделі руху частинок сипкого матеріалу по поверхні, яка здійснює бігармонічний рух. Створено конструкцію ефективного інерційного конвеєра та експериментально досліджено закономірності впливу конструктивних та кінематичних параметрів інерційного конвеєра на показники процесу транспортування сипких матеріалів цим транспортним засобом.

Ключові слова: динамічна система, вібраційне транспортування, інерційний конвеєр, транспортування сипких матеріалів, поперечні коливання, сила тертя, вібрації, частота коливань.

Постановка проблеми. Дослідженнями, які спрямовані на створення конвеєрів нового покоління, займаються багато вітчизняних та зарубіжних компаній (KNAPP, SIAT, Blume, Librawerk, ЗАО «Стеклопак», «Сибирская машиностроительная компания», ООО «Поток-ТМ», «Проект Инвест») [1]. Широка популярність таких досліджень обґрунтована наступними факторами: простотою конструкції, герметичністю, можливістю сполучення процесу транспортування з технологічними операціями (просівання, сушіння, охолодження), транспортування різноманітних матеріалів будівельної галузі (гіпс, пісок, клінкер, щебінь певної фракції, відсів), невисока витрата енергії, мале зношування жолоба в порівнянні із вібраційними конвеєрами.

Особливо виділяються інерційні конвеєри, які транспортують вантажі за рахунок бігармонічного характеру руху жолоба. Вони

застосовуються для транспортування різних сипких та штучних вантажів, особливо таких, де є небажаним режим роботи з підкиданням частинок матеріалу (важка металева стружка, гарячий вологий цукор, тощо). Крім того, при роботі інерційного конвеєра відсутній контакт вантажу з деталями, які обертаються, як, наприклад, у гвинтовому конвеєрі.

По поверхні жолоба інерційного конвеєра вантаж переміщується циклічно, тобто за один оберт кривошипа жолоб здійснює прямолінійний рух, причому рух вперед і назад здійснюється з різними швидкостями. За рахунок цього вантаж переміщується по поверхні жолоба з деякою середньою швидкістю, від якої залежить продуктивність конвеєра.

Кінематичні характеристики руху жолоба в залежності від кута повороту кривошипа наведені на рис. 1.

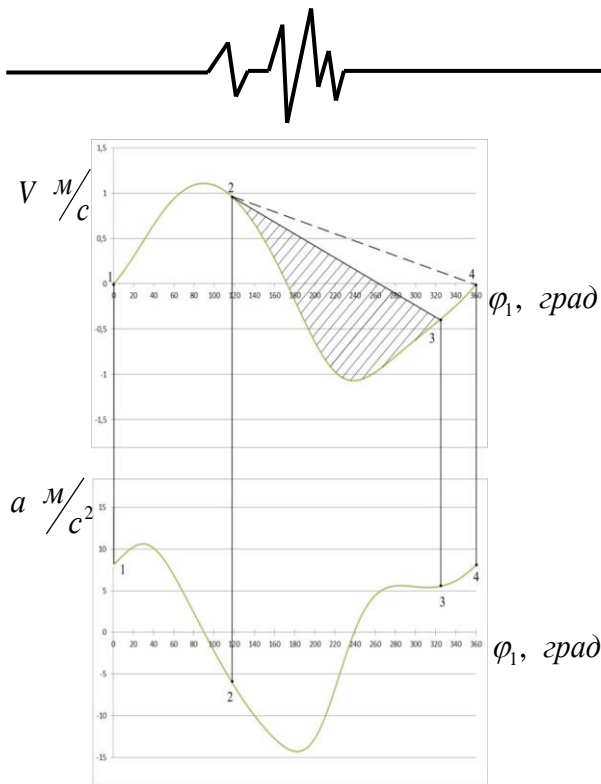


Рис. 1. Залежність швидкості і прискорення жолоба інерційного конвеєра від положення і частоти обертання кривошипа.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В працях [1, 2] розглянуті питання кінематики та динаміки інерційних конвеєрів, які дозволяють судити про його продуктивність та енергозатрати на переміщення вантажів та інші експлуатаційні характеристики.

Розробці конструкції і дослідженню роботи інерційного конвеєра із застосуванням лінійного асинхронного електроприводу присвячені роботи [3,4]. Ці механізми застосовуються для транспортування вологого цукру, оскільки, на відміну від вібраційних конвеєрів, працюють без підкидання вантажу, яке приводить до сегрегації цукру.

В роботах [5,6] наведені результати досліджень кінематичних та динамічних параметрів інерційних конвеєрів з пружними ланками. Вони можуть бути використані для вибору оптимальних параметрів при створенні інерційних конвеєрів, які характеризуються компактністю та зниженими матеріалоємністю та енергоємністю.

Задачі вивчення коливань систем із сухим тертям, які виникають при дослідженні роботи інерційних конвеєрів, є типовим прикладом задач нелінійної механіки, які потребують для розв'язання спеціальних методів аналізу. До них відносяться: метод малого параметру, метод гармонічного балансу, асимптотичні методи і чисельні методи [7-10].

Основним недоліком інерційних конвеєрів є зменшення швидкості матеріалу, який транспортується, при зворотному русі жолоба конвеєра внаслідок дії сили тертя. Перетворення сухого тертя у в'язке дає можливість зниження фрикційного опору в деякому вибраному напрямку, що є передумовою створення конвеєрних систем нового покоління.

Основні напрямки наших досліджень спрямовані на розв'язування рівнянь руху частинок сипкого матеріалу по поверхні жолоба, який здійснює поперечні коливання, амплітуда і частота яких змінюється за законами різного типу. Це дозволить оптимізувати конструктивні кінематичні параметри інерційного конвеєра.

Серед публікацій, присвячених проблемі вібраційного переміщення твердих та сипких матеріалів, варто відмітити роботи Блехмана І.І. та Джанелідзе Г.Ю. [11], Заїки П.М. [12].

Формулювання мети дослідження.

Метою нашого дослідження є встановлення закономірностей руху частинок сипкого матеріалу по поверхні, яка здійснює бігармонічний рух і створення на їх основі конструкцій високопродуктивних інерційних конвеєрів. У рамках роботи передбачено розробити математичну модель руху частинок сипкого матеріалу по поверхні жолоба і визначити швидкість руху цього матеріалу (продуктивність конвеєра), які дають можливість обґрунтувати раціональні конструктивні та кінематичні параметри цього транспортного засобу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів нами розроблено конструкцію інерційного конвеєра для транспортування сипких матеріалів. Інерційний конвеєр складається із жолоба, який здійснює зворотно-поступальний рух по нерухомій основі і приводу зворотно-поступального руху жолоба. Важливим є те, що жолоб може здійснювати не тільки зворотно-поступальний рух, але і рух в напрямку, який перпендикулярний до осі конвеєра в горизонтальній площині. Нами запропоновано зменшити силу тертя між вантажем і жолобом в момент часу, коли швидкість жолоба відносно вантажу буде напрямлена в протилежний бік [13].

На рис. 2 зображено схему запропонованого інерційного конвеєра.

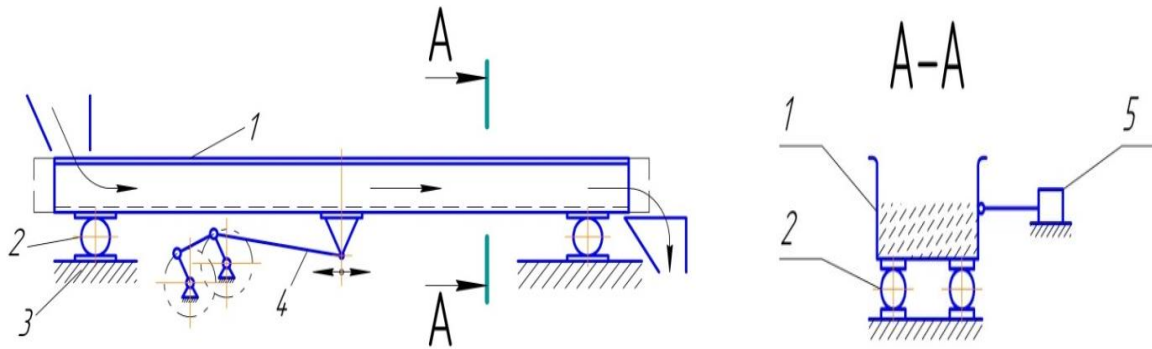
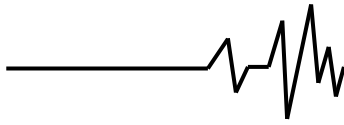


Рис. 2. Інерційний конвеєр:

1 – жолоб; 2 – кулька; 3 – основа;
4 – привод зворотно-поступального руху; 5 – вібратор.

Інерційний конвеєр (рис. 2) має жолоб (1), який може рухатися як вздовж, так і поперек осі конвеєра на кульках (2) по нерухомій основі (3), привод зворотно-поступального руху (4), вібратор (5) для здійснення поперечних коливань жолоба та пульт керування вібратором, який на рисунках не зображено.

Принцип роботи інерційного конвеєра такий: жолоб (1) рухається вправо за допомогою привода (4) і вантаж, який знаходиться на жолобі, починає рухатися разом із жолобом. Коли швидкість жолоба (1) досягає максимального значення, вмикається вібратор (5) і жолоб починає здійснювати поперечні коливання. Таким чином, сила тертя між матеріалом жолобом буде в більшості спрямована в поперечному напрямку, тому що частота поперечних коливань набагато більша

від частоти поздовжніх коливань жолоба, а сила тертя завжди напрямлена в протилежний бік від вектора відносної швидкості руху матеріалу по поверхні жолоба і тепер у повздовжньому напрямку її значення буде мати мінімальну величину. По інерції матеріал буде рухатися по поверхні жолоба до тих пір поки сам жолоб не почне рухатися у необхідному напрямку. В цей момент часу вібратор вимикається і цикл повторюється.

Таким чином, досліджуваний інерційний конвеєр дозволяє збільшити продуктивність та покращити енергетичні показники процесу транспортування матеріалів.

На рис. 3., рис. 4. наведені схема і загальний вигляд розробленої експериментальної установки.

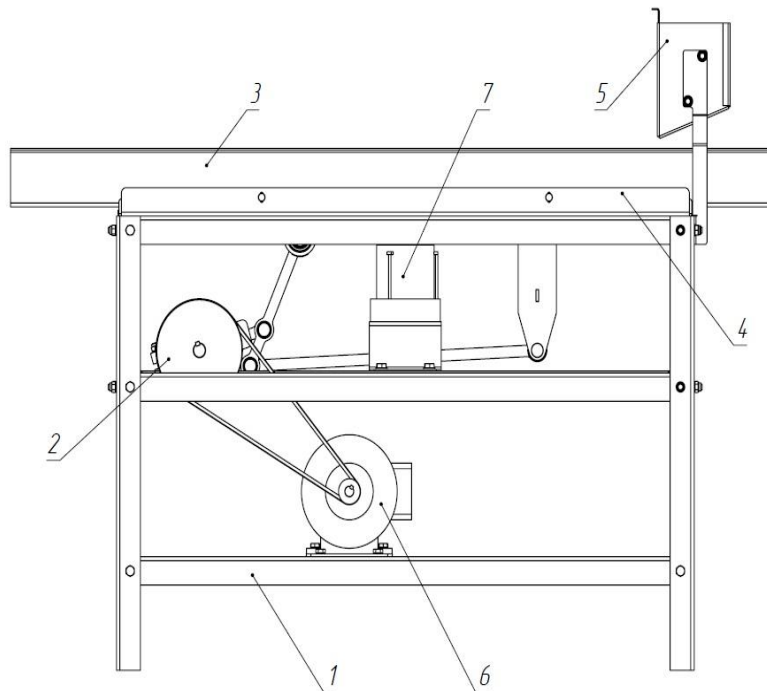


Рис. 3. Схема експериментальної установки:

1 – рама; 2 – привод жолоба; 3 – жолоб; 4 – направляюча жолоба; 5 – бункер подачі матеріалу;
6 – електродвигун постійного струму; 7 – вібратор.



Рис. 4. Загальний вигляд розробленого інерційного конвеєра.

Для визначення швидкості руху сипкого матеріалу розглянемо рух частинки, яка знаходиться на поверхні жолоба інерційного конвеєра [12].

Жолоб рухається в горизонтальній площині вздовж осі конвеєра за законом $S_x = S(t)$ і поперек осі конвеєра за законом $S_y = A \sin \omega t$ (Рис. 5).

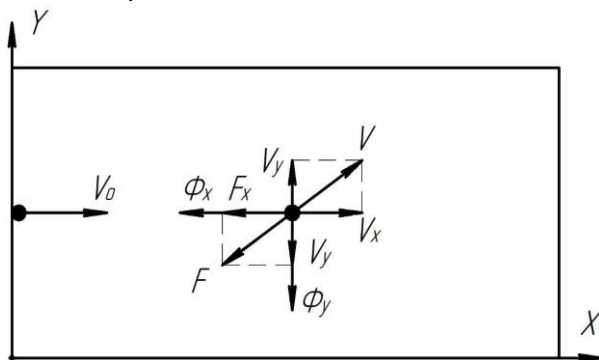


Рис. 5. Схема руху частинки матеріалу по поверхні жолоба.

На частинку діють сила тяжіння \vec{P} , реакція поверхні \vec{N} , сила тертя \vec{F} і сили інерції $\vec{\Phi}_x, \vec{\Phi}_y$.

$$\Phi_x = -m\ddot{S}_x; \quad (1)$$

$$\Phi_y = -m\ddot{S}_y = -mA\omega^2 \sin \omega t. \quad (2)$$

Оскільки сила тертя напрямлена в протилежний бік від вектора швидкості руху точки, то розкладемо її на дві складові F_x і F_y :

$$F_x = fN \frac{V_x}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}; \quad (3)$$

$$F_y = fN \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}, \quad (4)$$

де $V_x = \dot{x}$ – проекція вектора швидкості частинки на вісь x , $V_y = \dot{y}$ – проекція вектора швидкості частинки на вісь y .

Закон руху жолоба S_x залежить від геометричних та кінематичних характеристик приводу інерційного конвеєра.

Диференціальні рівняння руху частинки сипкого матеріалу, в проекціях на осі x та y матимуть вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\ddot{S}_x - fg \frac{V_x}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}; \\ \ddot{y} = A\omega^2 \sin \omega t - fg \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}. \end{cases} \quad (5)$$

Оскільки система рівнянь (5) суттєво нелінійна, то вона не може бути проінтегрована в квадратурах і її періодичний розв'язок не може бути знайдений в замкнутій формі. Розв'язуючи отриману систему рівнянь чисельним методом визначимо швидкість руху частинки матеріалу по поверхні жолоба при заданих початкових умовах руху.

Отримані залежності координат та швидкостей частинок сипкого матеріалу від часу, дозволяють визначити продуктивність інерційного конвеєра із заданими геометричними та кінематичними характеристиками. На рис. 6 наведені залежності швидкості руху частинки матеріалу по горизонтальній поверхні від частоти і амплітуди коливань.

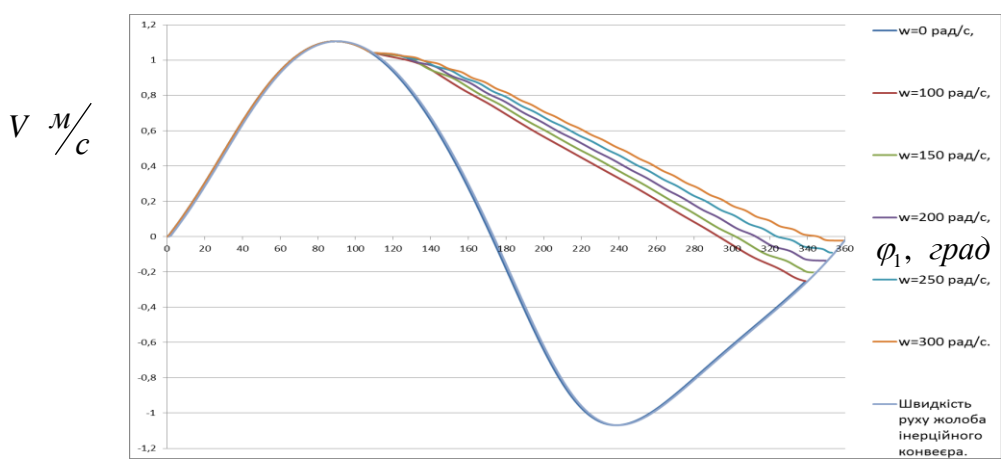
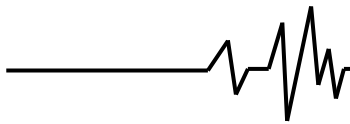


Рис.6. Залежність швидкості руху матеріалу по поверхні жолоба інерційного конвеєра від положення кривошипа і амплітуди коливань вібратора ($n=100$ об/хв., $\omega=150$ рад/с).

На рис. 7 наведено залежність інерційного конвеєра від частоти та амплітуди переміщення вантажу по поверхні жолоба коливань вібратора ($n=100$ об/хв).

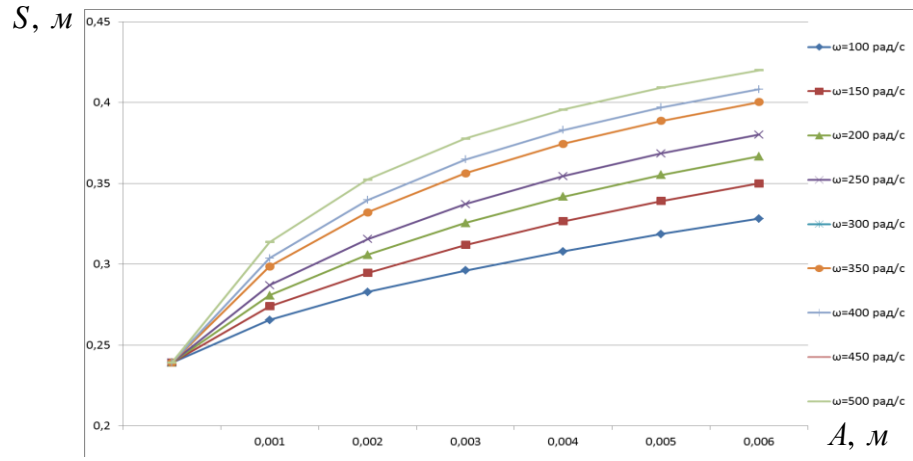


Рис. 7. Залежність переміщення вантажу по поверхні жолоба інерційного конвеєра від частоти та амплітуди коливань вібратора ($n=100$ об/хв.).

На рис. 8. наведено поверхню відгуку жолоба інерційного конвеєра від частоти та залежності переміщення вантажу по поверхні амплітуди коливань вібратора.

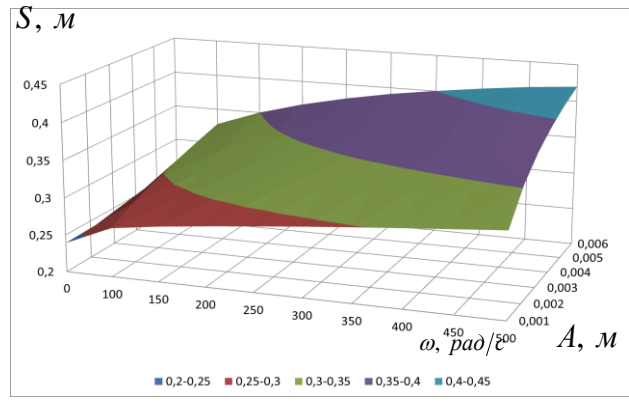
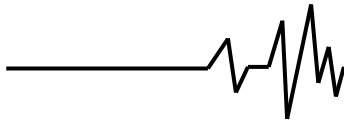


Рис. 8. Поверхня відгуку залежності переміщення вантажу по поверхні жолоба інерційного конвеєра від частоти та амплітуди коливань вібратора при частоті обертання кривошипа, $n=100$ об/хв.

Висновки. В результаті проведених наданні жолобу інерційного конвеєра теоретичних досліджень встановлено, що при поперечних коливань в періоди часу, коли



вантаж ковзає по поверхні жолоба, суттєво підвищується продуктивність даного транспортного засобу. Так, при частоті поперечних коливань $\omega=500 \text{ рад/с}$ і амплітуді коливань $A=0,005 \text{ м}$ продуктивність конвеєра підвищується на 20%.

На даний час розробляється програма і методика експериментальних досліджень, в результаті яких будуть внесені корективи в конструкцію інерційного конвеєра, та запропоновані раціональні геометричні і кінематичні параметри як привода руху жолоба, так частоти і амплітуди поперечних коливань жолоба, які забезпечують ефективний процес транспортування сипких матеріалів за допомогою даного пристрою.

Список використаних джерел

1. Тимофеев Г.А., Кузенков В.В. Новые подходы к исследованию динамики инерционных конвейеров / Г.А. Тимофеев, В.В. Кузенков // «Известия высших учебных заведений». – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013 – С. 24-30.

2. Дьяконова В.Я. Динамические и кинематические параметры движения желоба инерционного конвейера / В.Я. Дьяконова // Сб. трудов «Перспективные материалы, технологии, конструкции, экономика». – Красноярск, 2004. – С.203-213.

3. Аипов Р.С. Качающийся конвейер на базе линейного электропривода для транспортирования и подсушивания зерна / Р.С. Аипов, А.С. Шагаргазин // Достижения аграрной науки - производству. Материалы 110 научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов университета. – Уфа: БГАУ, 2004. – 160с.

4. Акчурин С.В. Инерционный конвейер влажного сахара со звеном предварительного разгона линейного асинхронного электропривода: дис. ... кандидата техн. наук: 05.20.02 / Акчурин Салават Вагимович. – Санкт-Петербург. – Пушкин: РГБ, 2013.

5. Дьяконова В.Я. Постановка задачи исследования привода инерционного конвейера с тягами переменной жесткости / В.Я. Дьяконова, Т.Г. Калиновская, С.А. Косолапова, М.Н. Дьяконов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 1. – С. 118–122.

6. Дьяконова В.Я. Экспериментальные исследования инерционного конвейера с гибкой тягой / В.Я. Дьяконова, В.А. Кузьменко, Н.А. Братухина // Сб. научных статей «Научно-технический прогресс». – Красноярск, 1994.

7. Андронов В.В. Сухое трение в задачах механики / В.В. Андронов, Ф.В. Журавлев // М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», институт компьютерных

исследований, 2010.–184 с.

8. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман // М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

9. Вибрации в технике. Справочник в 6 томах. Т. 4. М.: Машиностроение, 1981. – 510 с.

10. Ловейкін В. С. Застосування фазочастотних методів впливу на параметри вимушеної сили для мінімізації динамічних коефіцієнтів вібраційних систем з сухим тертям / В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, К. І. Почка // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – 2013. – № 759. – С. 48-54.

11. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе // М.: Наука, 1964. – 412 с.

12. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах / П.М. Заика // Практ. пособие. – Киев: изд-во УСХА. – 199 с.

13. Патент 76915 UA, МПК B65G 25/02 (2006.01) Інерційний конвеєр / Рогатинський Р. М., Серілко Л. С., Серілко Д. Л., Козачук Р. І.; заявник Національний університет водного господарства і природокористування. – № у 201602699 ; заявл. 18.03.2016 ; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21, 2016 р.

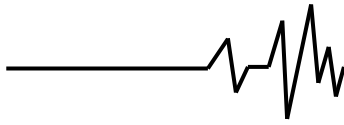
Список джерел у транслітерації

1. Timofeev, G.A., & Kuzenkov, V.V. (2013). *Novyye podhody k issledovaniyu dinamiki inertsionnyih konveyerov* [New going near research of dynamics of inertia conveyers]. *Izvestiya vyisshih uchebnyih zavedeniy – News of higher educational establishments*. (pp. 24–30). Moscow MGTU the name of N.E. Bauman [in Russia].

2. Dyakonova, V.Ya. (2004). *Dinamicheskie i kinematicheskie parametryi dvizheniya zheloba inertsionnogo konveyera* [Dynamic and kinematics parameters of motion of chamfer of inertia conveyer]. *Perspektivnyie materialy, tehnologii, konstruksii, ekonomika – Perspective materials, technologies, constructions, economy*. (pp. 203–213). Krasnoyarsk [in Russia].

3. Aipov, R.S., & Shagargazin, A.S. (2004). *Kachayuschiy konveyer na baze lineynogo elektroprivoda dlya transportirovaniya i podsushivaniya zerna* [Swinging conveyer on the base of linear electromechanic for a portage and torrefaction of grain]. *Dostizheniya agrarnoy nauki – proizvodstvu – Achievements 110 of agrarian science - to the production Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Ufa: BGAU, 2004. 160 p.

4. Akchurin, S.V. (2013). *Inertsionnyiy konveyer vlazhnogo sahara so zvenom*



predvaritelnogo razgona lineynogo asinhronnogo elektroprivoda [Inertia conveyor of wet sugar with a link of preliminary acceleration of a linear asynchronous electric drive]. *Candidate's thesis*. Sankt-Peterburg: RGB [in Russia].

5. Dyakonova, V.Ya., & Kalinovskaya, T.G., & Kosolapova, S.A., & Dyakonov, M.N. (2014). Postanovka zadachi issledovaniya privoda inertsiionnogo konveyera s tyagami peremennoy zhestkosti [Experimental research of inertial conveyor with flexible traction]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal – News of higher educational institutions. Mountain magazine*, 1. (pp. 118–122). Krasnoyarsk [in Russia].

6. Dyakonova, V.Ya., & Kuzmenko, V. A., & Bratuhina, N.A. (1994). Eksperimentalnye issledovaniya inertsiionnogo konveyera s gibkoy tyagoy [Experimental research of the inertial conveyor with flexible traction]. *Nauchno-tehnicheskyy progress – Scientific and technical progress*. (pp.203–213). Krasnoyarsk [in Russia].

7. Andronov, V.V., & Zhuravlev, F.V. (2010). Suhoe trenie v zadachah mehaniki [Dry friction in problems of mechanics]. *Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika – Regular and chaotic dynamics*. Izhevsk: Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika. 184 p. Moscow [in Russia].

8. Biderman, V.L. (1980). *Teoriya mehanicheskikh kolebaniy [Theory of mechanical oscillations]*. Moscow [in Russia].

9. *Vibratsii v tehnike. Spravochnik [Vibrations in technology. Directory]*. (Vols. 1–6). (1981). Moscow: Mashinostroenie [in Russia].

10. Loveykin, V. S., & Chovnyuk, Yu. V., & Pochka, K. I. (2013). Zastosuvannya fazochastotnih metodiv vplivu na parametri vimushenoYi sili dlya mInlmIzatsIyi dinamIchnih koefltstIEntlv vlbratsIynih sistem z suhim tertyam [Application of phase-frequency methods of influence on the parameters of forced force for minimization of dynamic coefficients of dry-friction vibrating systems]. *Lvivska politehnika. Dinamika, mitsnist ta proektuvannya mashin i priladiv – Lviv Polytechnic. Dynamics, durability and design of machines and devices*, 759, 48-54 [in Ukrainian].

11. Blehman, I.I., & Dzhanelidze, G.Yu. (1964). *Vibratsionnoe peremeschenie [Vibrational movement]*. Moscow: Nauka [in Russia].

12. Zaika, P.M. (1980). *Vibratsionnoe peremeschenie tverdyih i syipuchih tel v selsko-hozyaystvennykh mashinah [Vibration movement of solid and loose bodies in agricultural machines]*. Kyiv: izd-vo USHA [in Ukrainian].

13. Patent 76915 UA, MPK B65G 25/02 (2006.01) Inertiinyikonveier / Rohatynskiy R. M., Serilko L. S., Serilko D. L., Kozachuk R. I. ; zaiavnyk Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva i pryrodokorystuvannia. – № u 201602699 ; zaiavl. 18.03.2016 ;

opubl. 10.11.2016, Biul. № 21, 2016 r.

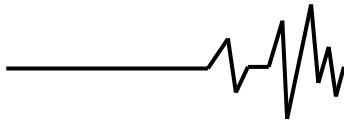
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИНЕРЦИОННЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Для повышения производительности и снижения энергоемкости процесса транспортировки сыпучих материалов нами разработана конструкция инерционного конвейера для транспортировки сыпучих материалов. Инерционный конвейер состоит из желоба, который осуществляет возвратно-поступательное движение по неподвижной основе и привода возвратно-поступательного движения желоба. Желоб может осуществлять не только возвратно-поступательное движение, но и движение в направлении, которое перпендикулярно к оси конвейера в горизонтальной плоскости. Проведен анализ известных методов решения нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих движение механических систем при наличии сухого трения и разработана математическая модель движения частиц сыпучего материала по поверхности, который осуществляет бигармоническое движение. Создана конструкция эффективного инерционного конвейера и экспериментально исследованы закономерности влияния конструктивных и кинематических параметров инерционного конвейера на показатели процесса транспортировки сыпучих материалов этим транспортным средством.

Ключевые слова: динамическая система, вибрационная транспортировка, инерционный конвейер, транспортировка сыпучих материалов, поперечные колебания, сила трения, вибрации, частота колебаний.

INVESTIGATION OF DYNAMICS OF INERTIC CONVEYORS

In order to increase the productivity and reduce the energy intensity of the transportation process of bulk materials, we have developed a design of an inertial conveyor for transportation of bulk materials. The inertia conveyor consists of a gutter that performs reciprocating motion on a stationary basis and on the reciprocating motion of the gutter. The coil can carry not only reciprocating motion but also movement in the direction perpendicular to the axis of the conveyor in the horizontal plane. The analysis of known methods for solving nonlinear differential equations describing the motion of mechanical systems in the presence of dry friction was carried out, and mathematical models of motion of particles of bulk material on the surface that carried out the biharmonic motion were



developed. The design of an efficient inertial conveyor was created and the regularities of the influence of the design and kinematic parameters of the inertial conveyor on the parameters of the process of transportation of bulk materials by this

vehicle were experimentally investigated.

Keywords: dynamic system, vibration transport, inertial conveyor, transportation of bulk materials, transverse oscillations, friction force, vibration, frequency of oscillations.

Відомості про авторів

Рогатинський Роман Михайлович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна, 46001, e-mail: rogatynskyi@gmail.com).

Серілко Леонід Степанович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: l.s.serilko@nuwm.edu.ua).

Сасюк Зоя Костянтинівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: z.k.sasiuk@nuwm.edu.ua).

Серілко Дмитро Леонідович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання Національного університету водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: d.l.serilko@nuwm.edu.ua).

Рогатинский Роман Михайлович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Тернопольского национального технического университета имени Ивана Пулюя (ул. Руськая 56, г. Тернополь, Украина, 46001, e-mail: rogatynskyi@gmail.com).

Серилко Леонид Степанович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения Национального университета водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: l.s.serilko@nuwm.edu.ua).

Сасюк Зоя Константиновна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения Национального университета водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: z.k.sasiuk@nuwm.edu.ua).

Серилко Дмитрий Леонидович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительных, дорожных, меліоративных, сельскохозяйственных машин и оборудования Национального университета водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: d.l.serilko@nuwm.edu.ua).

Rogatinsky Roman – Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Vice-Rector for Scientific Work of Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj (Ruska str., 56, Ternopil, Ukraine, 46001, e-mail: rogatynskyi@gmail.com).

Serilko Leonid – Ph.D., Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science of the National University of Water and Environmental Engineering (Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33028, e-mail: lsserilko@nuwm.edu.ua).

Sasiuk Zoia – Ph.D., Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science of the National University of Water and Environmental Engineering (Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33028, e-mail: z.k.sasiuk@nuwm.edu.ua).

Serilko Dmitry – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Construction, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment of the National University of Water and Environmental Engineering (Soborna St., 11, Rivne, Ukraine, 33028, e-mail: dl serilko@nuwm.edu.ua).