

УДК 631.358.42

¹Р. Б. Гевко, д.т.н., професор
²С. С. Никеруй, інженер
³І. Г. Ткаченко, к.т.н., доцент
⁴О. М. Клендій, к.т.н., доцент
³С. З. Залуцький, інженер
¹Б. В. Погрішук, д.е.н., професор
¹Н. В. Добіжа, к.е.н., доцент

РОЗРОБКА ЕЛАСТИЧНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ШНЕКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ

¹Тернопільський національний економічний університет
²ТОВ АП “Колос-2”

³Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
⁴Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і
природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

Запропоновано нову конструкцію шнекового робочого органу з секційною еластичною поверхнею. Проведено експериментальні дослідження з визначення впливу діаметра направляючого кожуха на секундну продуктивність гвинтового конвеєра. Визначено критичні зусилля та напруження, які призводять до пошкодження зернового матеріалу, а також наведено рекомендації для їх уникнення.

Ключові слова: зусилля деформації, еластична лопать, шнек, зернина, направляючий кожух, напружено-деформований стан

Вступ

Шнекові конвеєри отримали широке застосування при транспортуванні сипких матеріалів у різних виробничих процесах та ефективно виконують функціональні вимоги, які до них висуваються. Проте, при транспортуванні сільськогосподарських матеріалів, однією з основних вимог є мінімізація ступеня їх пошкодження, які традиційні шнекові транспортери в повній мірі не забезпечують. Це пов'язано з тим, що при виконанні технологічного процесу частинки сипкого матеріалу потрапляють у зазор між периферійною поверхнею обертового шнека та внутрішньою нерухомою поверхнею направляючого кожуха, що призводить до надмірного пошкодження транспортованого матеріалу.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені розробці та дослідженню гвинтових робочих органів і відповідних технологічних процесів, дане проблемне питання в повній мірі не вирішене.

В зв'язку з цим розроблення та обґрунтування конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів шнекових робочих органів із секційною еластичною поверхнею, які забезпечать мінімізацію пошкодження сипких матеріалів у процесі їх транспортування, а також підвищать експлуатаційні показники гвинтових конвеєрів є досить актуальним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій

Розробкою та дослідженням шнекових конвеєрів, а також їх вплив на ступінь пошкодження сипких матеріалів наведено в праці [1-5]. Травмування сипких сільськогосподарських матеріалів переважно відбувається в зоні їх переходу з бункерів, в технологічну магістраль. Дослідження конструкцій шнекових робочих органів та їх процесів роботи наведено в працях [6-8].

Розробкою конструкцій шнекових робочих органів з еластичною поверхнею, а також теоретичному та експериментальному визначенню їх оптимальних і раціональних конструктивних, кінематичних, технологічних і динамічних параметрів, а також режимів їх роботи присвячені праці [9-17].

Постановка завдання

Метою даного дослідження є розробка та визначення параметрів конструкції шнекового робочого органу з секційною еластичною поверхнею для уникнення пошкодження зернових матеріалів.

Основний зміст

Для вирішення поставленої задачі запропоновано конструкцію еластичного шнекового робочого органу, який зображено на рис. 1. Він містить вал 1, на якому встановлена смугова гвинтова спіраль 2, до якої за допомогою секційних пластин 4, а також болтових з'єднань з напівкруглими головками 5 та гайок 6 закріплені окремі еластичні секції 3.

За рахунок того, що в зоні перекриття край нижньої секції 7 виконаний скошеним у верхній частині, а край верхньої секції 3 є скошеним у нижній частині, причому в зоні перекриття суміжних секцій вони взаємодіють між собою краями, що забезпечує плавний перехід матеріалу між секціями та мінімізує ступінь пошкодження матеріалу.

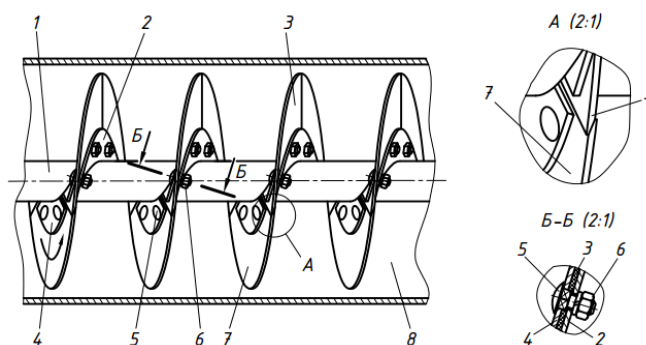


Рисунок 1. Шнек зі скошеними краями перекритих еластичних секцій

В процесі роботи транспортований матеріал плавно сходиться з верхнього краю верхньої секції на нижній край наступної, що виключатиме розрив потоку зернового матеріалу та відповідно защемлення їх частинок в радіальних зазорах між секціями. Це позитивно буде впливати на енерговитрати процесу транспортування та зменшить ступінь пошкодження сипкого матеріалу.

Розроблено пристрій та методику встановлення впливу на величину деформації консольно закріпленої еластичної секції її конструктивних параметрів та дискретного зовнішнього навантаження. Експериментальні дослідження проводили для матеріалу еластичної секції "поліуретан PU-60".

Важливу роль при транспортуванні сипких зернових матеріалів відіграє швидкість обертання гвинтового робочого органу, при збільшенні якої зростає не лише продуктивність шнекового конвеєра, але і ймовірність пошкодження транспортованого матеріалу.

На нашу думку подальші дослідження повинні здійснюватись в таких напрямках. В першу чергу це стосується встановлення узгодження співвідношень кінематичних параметрів робочих органів та реологічних властивостей транспортованого матеріалу.

Швидкість взаємодії робочого органу та транспортованого матеріалу визначається

$$V = \omega R, \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість обертання гвинтового робочого органу, R – радіус поверхні обертання гвинтового робочого органу.

З іншої сторони швидкість ударної взаємодії тіл при вільному падінні визначається

$$V = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння, h – висота вільного падіння тіла.

Застовуючи вищенаведені формули можна визначити критичні швидкості взаємодії зернового матеріалу та поверхні шнека в залежності від параметрів матеріалів тіл взаємодії та висоти вільного падіння одного з тіл.

Для цього розроблено експериментальний стенд, який представлено на рисунку 2. Він містить основу, яка складається з вертикальної 1 та горизонтальної 2 частин. На вертикальній частині у колодці 3 закріплений імітатор робочого органу 4, який може бути виконаний з різною жорсткістю та величиною їх консольного виступу Δ_1 та кріплення Δ_2 до кронштейна 5 вертикальної колодки. Колодка має можливість вертикального зміщення, фіксації та розфіксації з вільним падінням по направляючих основи стенду.

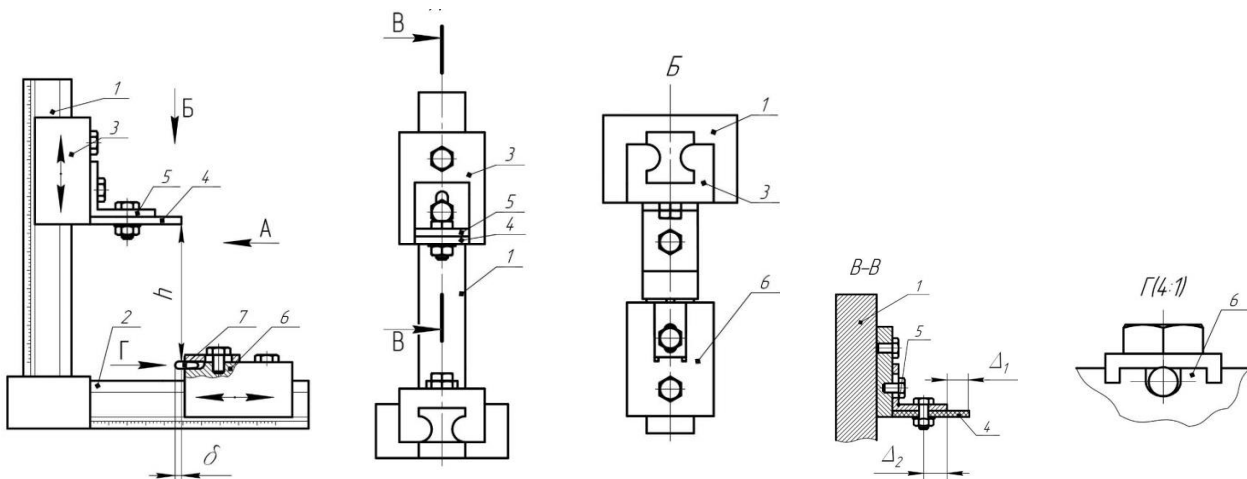


Рисунок 2. Стенд для дослідження ступеня пошкодження зернового матеріалу

На горизонтальній частині основи 2 у колодці 6 закріплений сипкий матеріал 7 (наприклад зернина), причому його вільна сторона має можливість взаємодіяти з консольною поверхнею імітатора робочого органу 4.

Методика проведення експериментальних досліджень поляє в наступному. Спочатку зернину однією стороною закріплюють в горизонтальній колодці. Далі, до кронштейна вертикальної колодки закріплюють імітатор гвинтового робочого органу, а саму колодку по направляючих вертикальної частини основи піднімають і фіксують на певній висоті h відносно матеріалу, який консольно закріплений в горизонтальній колодці із заданою величиною виступу δ . Після цього колодку розфіксують і вона по направляючих вертикальної частини основи стенду вільно падає, і таким чином відбувається взаємодія імітатора гвинтового робочого органу з консольно закріпленим матеріалом з розрахунковою швидкістю. Через висоту вільного падіння h визначається швидкість ударної взаємодії робочої поверхні імітатора з матеріалом. Величинами консольного виступу Δ_1 та кріплення Δ_2 імітатора гвинтового робочого органу до кронштейна вертикальної колодки забезпечується зміна його конструктивних та технологічних параметрів, що також впливає на пошкодження матеріалу.

Таким чином, змінюючи відповідні кінематичні (швидкість взаємодії через висоту вільного падіння h), конструктивні (величини виступу Δ_1 та кріплення Δ_2 імітатора гвинтового робочого органу до кронштейна), а також технологічні (величина консольного виступу δ матеріалу) параметри розроблених робочих органів можна визначити їх оптимальні значення та досягнути мінімального пошкодження різних матеріалів сільськогосподарського виробництва.

Для визначення енерговитрат, продуктивності та ступеня пошкодження зернового матеріалу від конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів гвинтового конвеєра з еластичним шнеком розроблена експериментальна установка [13].

Діапазон зміни факторів: частота обертання гвинтового робочого органу ($n = 200 \dots 500$, об/хв), кут його нахилу до горизонту ($\alpha = 0 \dots 60$, град) та величина зазору між шнеком і кожухом ($\Delta = 0 \dots 7$ мм).

Для пуску трифазного асинхронного двигуна з потужністю 2,2 кВт та регулювання його частоти обертання використовували перетворювач частоти Altivar 71 та програмне забезпечення Power Suite v.2.5.0. Отримані дані стосовно зміни величини крутного моменту та потужності двигуна в часі відображались у вікні програми Power Suite на дисплеї комп'ютера.

На основі експериментальних досліджень з визначення енерговитрат на привід гвинтового конвеєра з секційною еластичною робочою поверхнею при транспортуванні зернового матеріалу отримано рівняння регресії

$$P = 0,055 + 0,11 \cdot 10^{-2} n - 0,06 \cdot 10^{-4} \alpha - 0,014 \Delta + 0,21 \cdot 10^{-5} n \alpha + 40,84 \cdot 10^{-4} n \Delta + 0,75 \cdot 10^{-4} \alpha \Delta - 0,33 \cdot 10^{-6} n^2 + 0,21 \cdot 10^{-4} \alpha^2 - 0,5 \cdot 10^{-4} \Delta^2. \quad (3)$$

Проведені дослідження з визначення секундної продуктивності Q при транспортуванні зернового матеріалу на експериментальній установці з внутрішніми діаметрами направляючих кожухів: $D = 120$ і 100 мм.

Встановлено, що максимальна продуктивність гвинтового конвеєра знаходиться між 5 і 10 с після його вмикання при заповненому матеріалом бункері. Саме в цьому проміжку часу відбирали проби та зважували матеріал.

На рисунку 3 наведено графічні залежності секундної продуктивності гвинтового конвеєра Q від частоти обертання робочого органу n при $\alpha = 0^\circ$ та кута нахилу робочого органу до горизонту α при $n = 450$ об/хв.

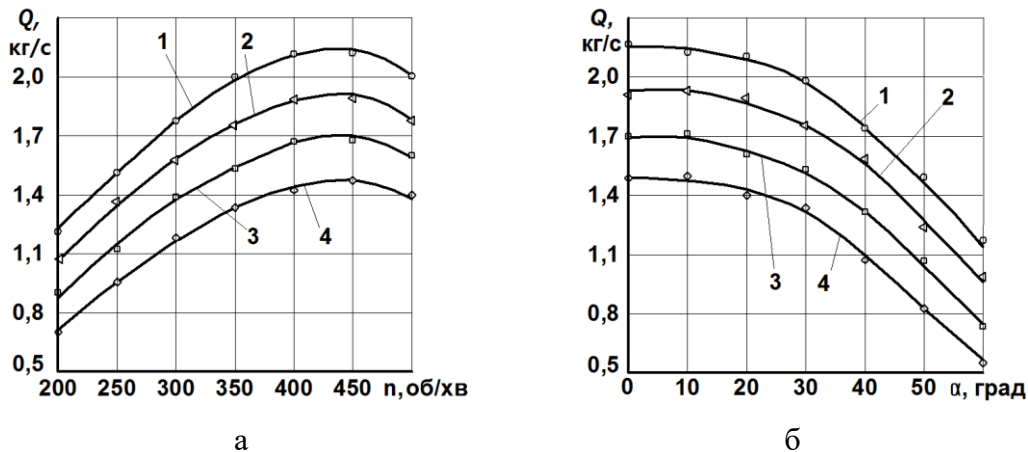


Рисунок 3. Графічні залежності секундної продуктивності конвеєра Q :

а – від n при $\alpha = 0^\circ$; б – від α при $n = 450$ об/хв $^\circ$; 1, 2 – $D = 120$ мм; 3, 4 – $D = 100$ мм;
1, 3 – шнек з еластичною поверхнею (при $\Delta = 0$ мм); 2, 4 – жорсткий шнек (при $\Delta = 4$ мм)

Спосіб виготовлення основи еластичного шнека полягає у навиванні смуги на ребро, з подальшим свердлінням отворів в розробленому кондукторі та калібруванні на крок, з його кріпленням до валу (рис. 4). Запропоновано конструкцію стенда для дослідження ступеня пошкодження зерна.

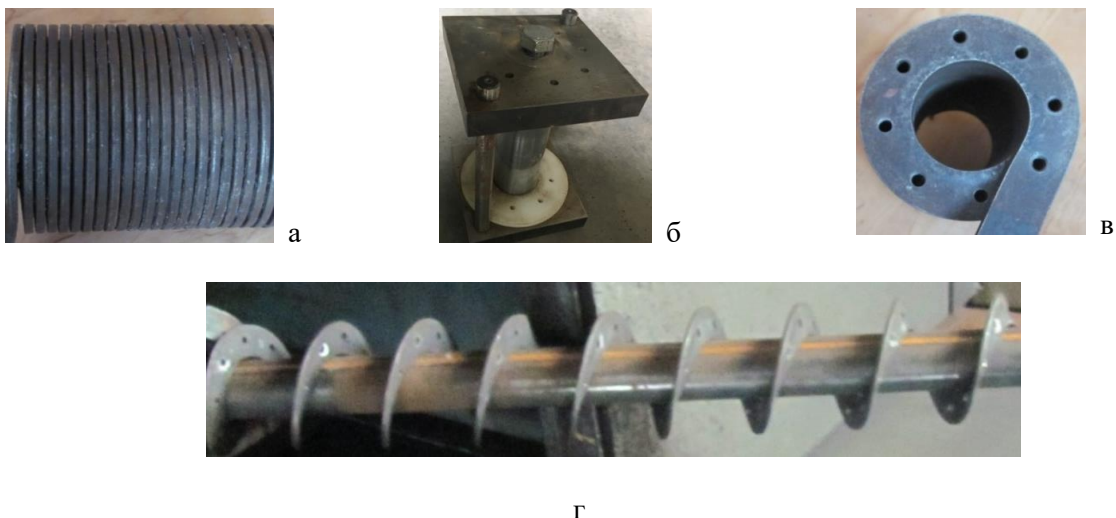


Рисунок 4. Послідовність технологічних операцій та для виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею:

а – смуга навита на ребро; б – кондуктор для свердління кріпильних отворів; в – загальний вигляд просвердлених у навитій смугі на ребро отворів; г – шнек калібрований на крок

Висновки

Розроблені конструкції гвинтових робочих органів з секційною еластичною поверхнею, стендове обладнання та експериментальна установка з використанням перетворювача частоти Altivar 71 та програмного забезпечення Power Suite v.2.5.0 дозволили здійснити комплекс експериментальних досліджень. В процесі проведення експериментальних досліджень змінними факторами були: частота обертання робочого органу (n , об/хв.); кут його нахилу до горизонту (α , град); величина зазору між шнеком і кожухом (Δ мм).

Наведено результати експериментальних досліджень з визначення впливу на величину деформації еластичної секції Δ_n її ширини B_n , величини консольного виступу h_n та маси мірних вантажів m_{ep} . Залежності переважно мають лінійний характер. Причому для $h_n = 10 \dots 25$ мм збільшення B_n від 5 до 25 мм призводить до зростання величини навантаження для $\Delta_n = 2 \dots 8$ мм – у 4,3...5,9 разів.

При визначенні ступеня травмування зернового матеріалу T встановлено, що при застосуванні еластичних секцій у порівнянні з жорстким шнеком для $n = 100 \dots 400$ об/хв T зменшується в 1,55...3,0 рази, а при зміні $\alpha = 0 \dots 40^\circ$ для шнека з еластичними накладками T зменшується в 1,63...4,0 рази.

На основі проведеного багатофакторного експерименту отримано регресійну залежність з визначення потужності P на привод гвинтового конвеєра. Домінуючим фактором, який впливає на величину потужності на привод гвинтового конвеєра, є частота обертання робочого органу n . Далі за інтенсивністю впливу є величина кута нахилу шнека до горизонту α . Найменший вплив на зміну величини потужності P на привод конвеєра має величина зазору Δ між еластичними шнеком і кожухом.

Аналіз секундної продуктивності гвинтового конвеєра показав, що для шнеків з еластичними поверхнями (для $\Delta = 0$ мм) при збільшенні внутрішнього діаметра кожуха від 100 до 120 мм, в діапазоні частот обертання робочого органу $n = 300 \dots 450$ об/хв, продуктивність процесу транспортування зростає в 1,25...1,27 разів, а для жорстких шнеків (для $\Delta = 4$ мм) – у 1,27...1,31 рази.

Загальна тенденція зміни секундної продуктивності гвинтового конвеєра Q від кутів $\alpha = 0 \dots 60^\circ$ для $n = 450$ об/хв показує, що значення Q зменшується при збільшенні кута α . Причому інтенсивність падіння Q суттєво збільшується після значення кута $\alpha = 30^\circ$.

Наведено технологію виготовлення основи еластичного шнека, напрямки подальших досліджень та економічну ефективність виконаних розробок. Розроблено спосіб виготовлення еластичного шнекового робочого органу. Запропоновано конструкцію стенду для дослідження ступеня пошкодження зернового матеріалу. Встановлено, що, за мінімальними підрахунками, економічний ефект становитиме близько 25 тис. грн. при роботі одного зернового комбайну типу "Claas", який збирає зернові з площі понад 100 га при врожайності зерна пшениці близько 100 ц/га та її вартості в межах 5000-5500 грн/т.

Література

1. Nevko V.M., Nevko R.B., Klendii O.M., Buriak M.V., Dzyadykevych Y.V., Rozum R.I. (2018) - Improvement of machine safety devices. Acta Polytechnica, Journal of Advanced Engineering, Vol.58, no.1, pp.17-25, Prague/Czech Republic;
2. Вітровий А.О., Гевко Р.Б. Силовий аналіз робочого органу гнучкого гвинтового конвеєра // Збірник наукових статей Луцького державного технічного університету "Сільськогосподарські машини".- Луцьк: Видавництво ЛДТУ. -1998. –Вип. 4.- С. 34-36.
3. Baranovsky V.M., Nevko R.B., Dzyura V.O., Klendii O.M., Klendii M.B., Romanovsky R.M. (2018) – Justification of rational parameters of a pneumoconveyor screw feeder, INMATEH: Agricultural engineering, vol.54, no.1., pp. 15-24, Bucharest/Romania;
4. Nevko R.B., Strishnets O.M., Lyashuk O.L., Tkachenko I.G., Klendii O.M., Dzyura V.O. (2018) – Development of a pneumatic screw conveyor design and substantiation of its parameters, INMATEH: Agricultural engineering, vol.54, no.1, pg.153-160, Bucharest, Romania.

5. Nevko R.B., Rozum R.I., Klendiy O.M. (2016) – Development of design and investigation of operation processes of loading pipes of screw conveyors, INMATEH: Agricultural engineering, vol.50, no.3, pg.89-94, Bucharest, Romania.
6. Lyashuk O.L., Rogatynska O.R., Serilko D.L., (2015) - Modelling of the vertical screw conveyer loading, INMATEH Agricultural Engineering, vol.45, no.1, pp.87-94, Bucharest / Romania;
7. Рогатинська О., Ляшук О., Пелешок Т., Любачівський Р. Дослідження процесу транспортування сипкого вантажу похилими гвинтовими конвеєрами // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І.Пулюя, вип.79, 2015 р., с.137-143.
8. Гевко Р.Б., Рогатинський Р.М., Розум Р.І., Клендій М.Б., Клендій О.М., Вітровий А.О. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах: монографія // Тернопіль: Осадца Ю.В., 2018.- 180 с.
9. Бойко А.І., Куликівський В.Л. Дослідження контактної взаємодії зерна в зазорі “виток-кожук” шнекових живильників зерноочисних машин // Науковий вісник НУБіПУ.- К.: Ред-вид. Відділ НУБіПУ, 2011.- Вип.166: Техніка та енергетика АПК.- ч.1- С.267-274.
10. Гевко Р.Б., Вітровий А.О., Пік А.І. Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія.- Тернопіль: Астон, 2012.- 204с.
11. Nevko R. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material / Roman Bohdanovych Nevko, Yuriy Volodymyrovych Dzyadykevych, Ihor Gryhorovych Tkachenko, Serhii Zinoviiiovych Zalutskyi // Вісник ТНТУ.- Т.: ТНТУ, 2016.- Том 81.- № 1.- С. 77-87.
12. Nevko R.B., Zalutskyi S.Z., Tkachenko I.G., Klendiy O.M. (2015) – Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface, INMATEH: Agricultural engineering, vol.46, no.2, pg.133-138, Bucharest, Romania.
13. Гевко Р.Б. Залуцький С.З. Розробка конструкції шнека з еластичною гвинтовою поверхнею та результати її експериментальних досліджень // Вісник інженерної академії України. – К., 2015. – № 1. – С.242-247.
14. Залуцький С.З., Гевко Р.Б., Гладь Ю.Б., Ткаченко І.Г., Клендій О.М. Рух потоку сипкого матеріалу по поверхні шнека з еластичними секціями, що перекриваються між собою // Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексу» №11. – Харків : ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2018. – С. 81-90.
15. Гевко Р.Б., Залуцький С.З., Клендій О.М., Погріщук Б.В., Добіжа Н.В. Визначення потужності на привід гвинтового конвеєра з секційною еластичною робочою поверхнею та його продуктивності // Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексу» №12. – Харків : ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2018. – С. 33-42.
16. Залуцький С.З., Гевко Р.Б., Клендій О.М. Розробка та дослідження шнеків з еластичною гвинтовою поверхнею // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу", ХНТУ, Херсон, 2017 р., вип.3, с. 137-140
17. Клендій А.Н., Гевко Р.Б. Экспериментальные исследования винтового конвейера с предохранительной муфтой // Материалы Муждународной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности», Могилев, Белорус.-Рос. ун-т, 2017.- С. 51.