

INFLUENCE OF WEAR OF WORKING PARTS OF THE SCRAPER ELEVATOR OF A COMBINE HARVESTER ON THE DEGREE OF GRAIN REVERSE LOADING

O. Burlaka, A. Kelemesh*, S. Liashenko, A. Lazorenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

ABSTRACT

A modern combine harvester can be considered as a complex technological system that performs the final part of the technologies for the production of grain crops. Accordingly, the scientific direction of improving the quality of the threshing-separating and transport systems of the grain group does not lose its relevance and relevance in today's conditions. The presented research is devoted to improving the quality of transportation and centrifugal unloading of grain by scraper elevators of combine harvesters of the KZS-9-1 type and their further modernizations. The theoretical and experimental part of the study established that the quality of transportation and centrifugal unloading of the scraper elevator of the combine harvester is influenced not only by the design features, but also by the degree of mechanical wear of the working parts of the elevator. Based on the research, it was determined that the degree of wear of the working surfaces of the drive sprocket in the upper part of the grain elevator of the KZS-9-1 combines leads to more pronounced oscillatory loads. It is recommended to use new structural materials, including composites, for the manufacture of both the drive sprocket and the scraper chain of the grain elevator itself. It is proposed to implement a computerized system for direct observation of the change in the reverse flow in the grain elevator using high-speed video cameras and flowmeter sensors. The latter will allow for timely repair, maintenance and technological adjustment of the elements of the grain group of the threshing machine of the combine harvester. It is also advisable to use an electric drive and electronic regulation of the speed of grain transportation by scraper elevators in accordance with the degree of loading of the grain group within the range of fulfillment of the centrifugal unloading condition.

Key words:

scraper elevator,
quality of grain transportation,
reverse loading,
mechanical wear,
oscillations in chain transmission

Article history:

Received 30.06.2025

Accepted 01.10.2025

***Corresponding author:**

anton.kelemesh@pdau.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi51.1893

To cite this article:

Burlaka, O., Kelemesh A., Liashenko S. & Lazorenko A. (2025). Influence of Wear of Working Parts of the Scraper Elevator of a Combine Harvester on the Degree of Grain Reverse Loading. *Agricultural Machines*, 51, 7-14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1893>

УДК 631.365:620.178.16:631.171

ВПЛИВ ЗНОСУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СКРЕБКОВОГО ЕЛЕВАТОРА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА НА СТУПІНЬ ЗВОРОТНОГО СИПУ ЗЕРНА

О.А. Бурлака, А.О. Келемеш*, С.В. Ляшенко, А.І. Лазоренко

Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

**Ключові слова:**

скребковий елеватор,
якість транспортування зерна,
зворотний сип,
механічний знос,
коливання в ланцюговій
передачі

Історія публікації:

Отримано 30.06.2025

Затверджено 01.10.2025

***Автор для листування:**

anton.kelemesh@pdau.edu.ua

АНОТАЦІЯ

Сучасний зернозбиральний комбайн можливо розглядати як складну технологічну систему, що виконує завершальну частину технологій по виробництву зернових сільськогосподарських культур. Відповідно науковий напрямок по покращенню якості роботи молотильно-сепарувальних та транспортних систем зернової групи не втрачає доцільності та актуальності в умовах сьогодення. Надані дослідження присвячені підвищенню якості транспортування та відцентрового розвантаження зерна скребковими елеваторами зернозбиральних комбайнів типу КЗС-9-1 та їх подальших модернізацій. Теоретичною та експериментальною частиною дослідження встановлено, що на якість транспортування та відцентрового розвантаження скребкового елеватора зернозбирального комбайна впливають не тільки особливості конструкції, але й ступінь механічного зношування робочих органів елеватора. На основі досліджень визначено, що ступінь зносу робочих поверхонь приводної зірочки у верхній частині зернового елеватора комбайнів КЗС-9-1 призводить до більш виражених коливальних навантажень. Рекомендується застосовувати нові конструкційні матеріали, в тому числі і композити, для виготовлення як приводної зірочки, так і безпосередньо самого скребкового ланцюга зернового елеватора. Пропоновано впровадити комп'ютеризовану систему безпосереднього спостереження за зміною зворотного сипу в зерновому елеваторі з використанням швидкісних відеокамер та датчиків-витратомірів. Останнє дасть змогу вчасно здійснювати ремонт, технічне обслуговування та технологічну наладку елементів зернової групи молотарки зернозбирального комбайна. Також доцільно застосовувати електропривод та електронне регулювання швидкості транспортування зерна скребковими елеваторами відповідно до ступеню завантаження зернової групи в межах діапазону виконання умови відцентрового розвантаження

DOI: 10.36910/acm.vi51.1893

Цитувати цю статтю:

Бурлака О.А., Келемеш А.О., Ляшенко С.В. & Лазоренко А.І. (2025). Вплив зносу робочих органів скребкового елеватора зернозбирального комбайна на ступінь зворотного сипу зерна. *Сільськогосподарські машини*, 51, 7-14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1893>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасний зернозбиральний комбайн можливо розглядати як складну технологічну систему, що виконує завершальну частину технологій по виробництву зернових сільськогосподарських культур.

Тематика більшості наукових досліджень за таким напрямом відображена у наукових працях відомих українських вчених: Погорілого Л. В., Сакуна В. А., Шейченка В. О., Погорільця О. М., Головчука А. Ф., Демко А. А., Зенко М. Д., Ліника М. К., Недовесова В. І. та ін. (Погорілий та ін., 2002; Лящук та ін., 2019; Артьомов та ін., 2022).

Частина досліджень складових технологій збирання врожаю зернозбиральними комбайнами спрямована на екологічність та енергоощадність виробничих процесів (Krajewski et al., 2024; Imelda & Hidayat, 2024).

Одною з основних тенденцій щодо удосконалення складових сучасної збиральної техніки є віднайдення шляхів зменшення енергетичних витрат щодо виконання механізованих операційних технологій (Бурлака та ін., 2021).

Відповідно науковий напрямок по покращенню якості роботи молотильно-сепарувальних та транспортних систем зернової групи не втрачає доцільності та актуальності в умовах сьогодення.

Мета дослідження – встановити закономірності впливу зносу робочих органів скребкового елеватора зернозбирального комбайна на якість транспортування та ступінь зворотного сипу зерна, а також обґрунтувати шляхи підвищення надійності та ефективності роботи транспортної системи комбайна шляхом удосконалення конструктивних елементів і застосування сучасних матеріалів та засобів контролю.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Об'єктом дослідження був скребковий зерновий елеватор зернозбирального комбайна КЗС-9-1, а предметом – вплив зносу його робочих органів (привідної зірочки та ланцюга зі скребками типу ТРД-38-4000-2-2-6-6) на якість транспортування зерна та величину зворотного сипу. Для досягнення мети використано комплекс методів: прямі вимірювання маси зворотного сипу, графоаналітичний аналіз коливань ланцюгової передачі, математичне моделювання процесу відцентрового розвантаження зерна з використанням рівнянь руху та методу Лагранжа. Експериментальна перевірка здійснювалася на спеціально спроектованій установці із застосуванням нових і зношених зразків приводних зірочок і ланцюгів, а також засобів контролю кутової швидкості, амплітуди коливань і маси зерна. Для підвищення точності спостережень використовувалися відеофіксація та вимірювальні прилади; отримані дані піддавалися статистичній обробці з визначенням основних параметрів і порівнянням результатів для різних ступенів зношування.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Робочим органом зернового елеватора комбайна типу КЗС-9-1 є ланцюг ТРД-38-4000-2-2-6-6, з встановленими прямокутними гумовими скребками на **рис. 1**.

Зерно з домішками пилу, відносно умов роботи ланцюга зі скребками елеватора комбайна, можливо охарактеризувати як основну причину абразивного зносу складових такої транспортної системи. Геометричні параметри досліджуваного ланцюга та привідної зірочки (**рис. 2**) є визначальними при дослідженні впливу коливань, зумовлених конструкцією частини привідного механізму зернового елеватора

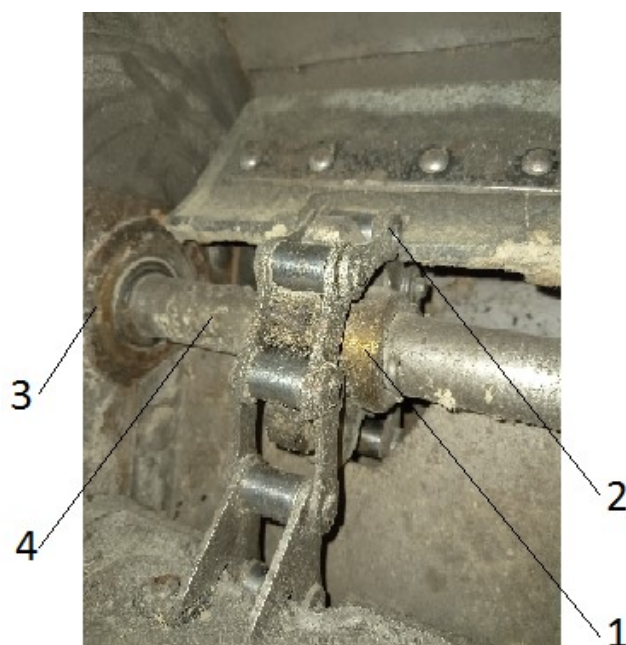


Рис.1 – Внутрішня частина зони відцентрового розвантаження зернового елеватора зернозбирального комбайна типу КЗС-9-1 (фото авторів, 2025):

1 – привідна зірочка; 2 – ланцюг, оснащений скребками; 3 – підшипникова опора у сукупності з натяжним пристроєм; 4 – привідний вал



а



б



в

Рис. 2 – Привідна зірочка скребкового зернового елеватора КЗС-9-1 (фото авторів, 2025):
(а) – нова; (б, в) – із суттєвим зносом робочих поверхонь зубців

Тобто, абразивне середовище та циклічні навантаження, спричинені природою коливань в ланцюговій передачі не тільки впливають на зношування робочих органів, але й на якість транспортування та розвантаження зерна елеватором комбайна.

Коротко розглянемо теоретичні складові природи відцентрового розвантаження зерна у верхній частинці елеватора комбайна з урахуванням коливань на ланцюговій передачі та ступеня зношування робочих органів безпосередньо самого елеватора (рис. 3).

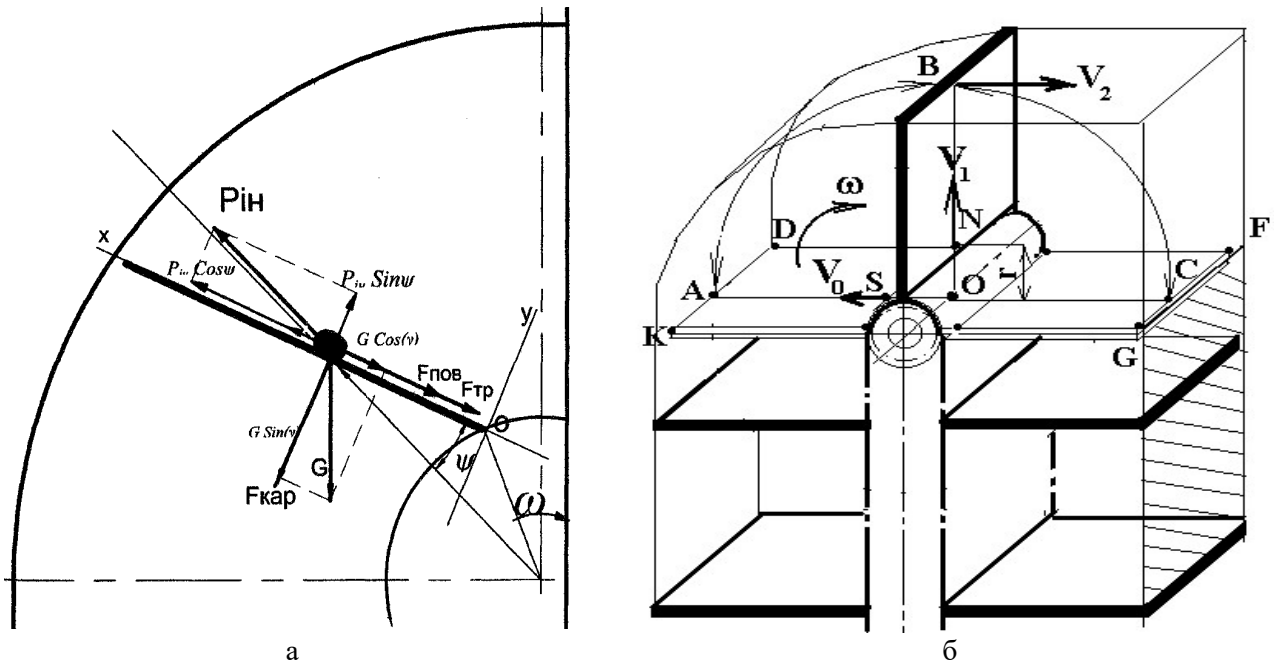


Рис. 3 – Схема сил (а) та схема напрямку руху (б) при відцентровому розвантаженні зерна скребкового елеватора (удосконалено авторами як продовження власних досліджень з (Бурлака & Яхін, 2017; Бурлака & Яхін, 2018))

Приймаємо для розрахунку наступні сили: $G = mg$ – вага зерна; N – нормальна реакція поверхні; $F = kN$ – сила тертя; $P_{ин} = mr^2$ – відцентрова сила інерції; $F_{пов} = kmv$ – сила опору повітря, $F_{кар} = 2mv$ – сила Коріоліса. Диференційне рівняння руху у векторній формі має вигляд (Бурлака & Яхін, 2017; Бурлака & Яхін, 2018):

$$m(d^2xdt^2) = P_{ин} + G + F_{кар} + F_{тр} + F_{мп1} + F_{нов}, \quad (1)$$

або:

$$m(d^2xdt^2) = m^2x - km dxdt - 2fm dxdt - [mg \cos(-t) + fmg \sin(-t)]. \quad (2)$$

Робочим органом зернового елеватора на прикладі КЗС-9-1 є ланцюг зі скребками – типу ТРД-38-4000-2-2-6-6. У довільному кутовому положенні ведучої зірочки – повздовжня швидкість ланцюга (рис. 4):

$$v = \omega r \cos \alpha, \quad (3)$$

де ω – постійна кутова швидкість ведучої зірочки; r – радіус розташування шарнірів ланцюга; α – кут повороту в межах від 0 до π / z_1 .

Відповідно швидкість ланцюга мінлива в межах від $v_{\max}$ до $v_{\max} \cos(\pi / z_1)$.

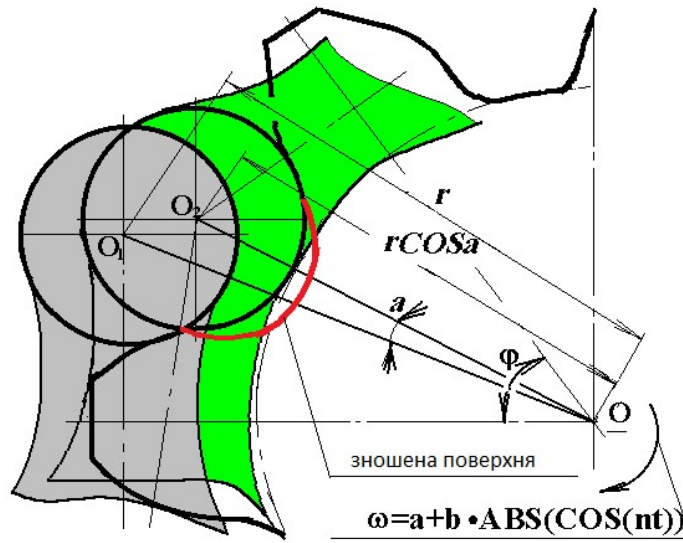


Рис. 4 – Схема до обґрунтування коливань в ланцюговій передачі (удосконалено авторами як продовження власних досліджень з (Бурлака & Яхін, 2017; Бурлака & Яхін, 2018))

Розглянемо рівняння (1) руху зерна по скребку елеватора комбайна при відцентровому розвантаженні з урахуванням коливань кутової швидкості:

$$x'' + (k + 2f\omega)x' - \omega^2 x = g [\sin(\omega t) + f \cos(\omega t)], \quad (4)$$

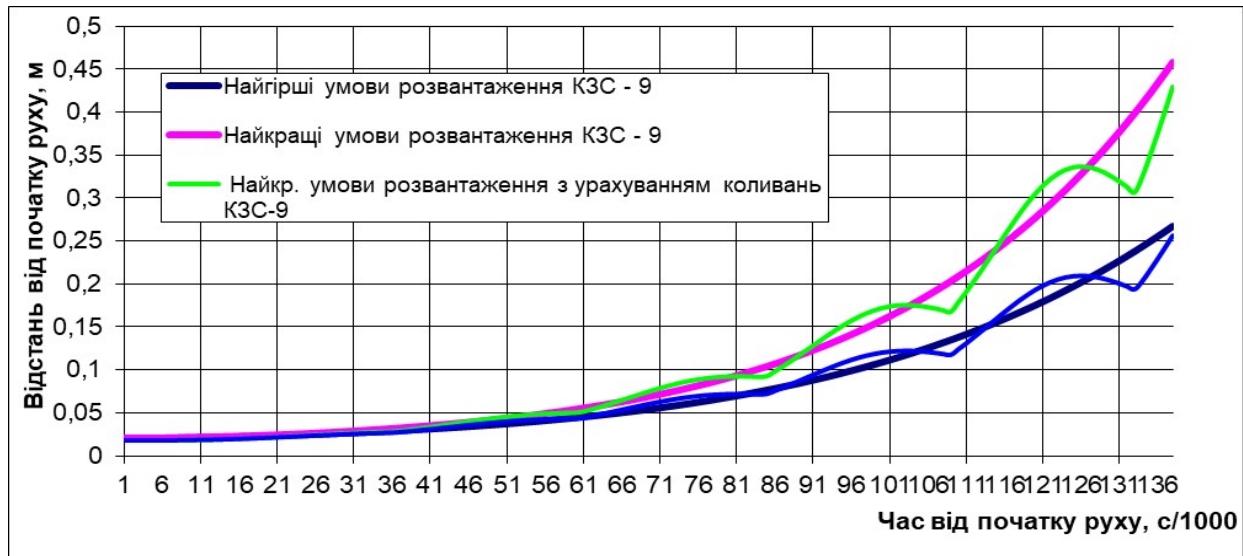
де ω – функція від t , $\omega = a + b \text{ABS}(\cos(nt))$. Для вирішення рівняння (4) використаємо метод Лагранжа (Бурлака & Яхін, 2017). Загальну систему рішень представимо у вигляді:

$$X(t)_{\text{заг}} = C_1(t)Z_1 + C_2(t)Z_2, \quad (5)$$

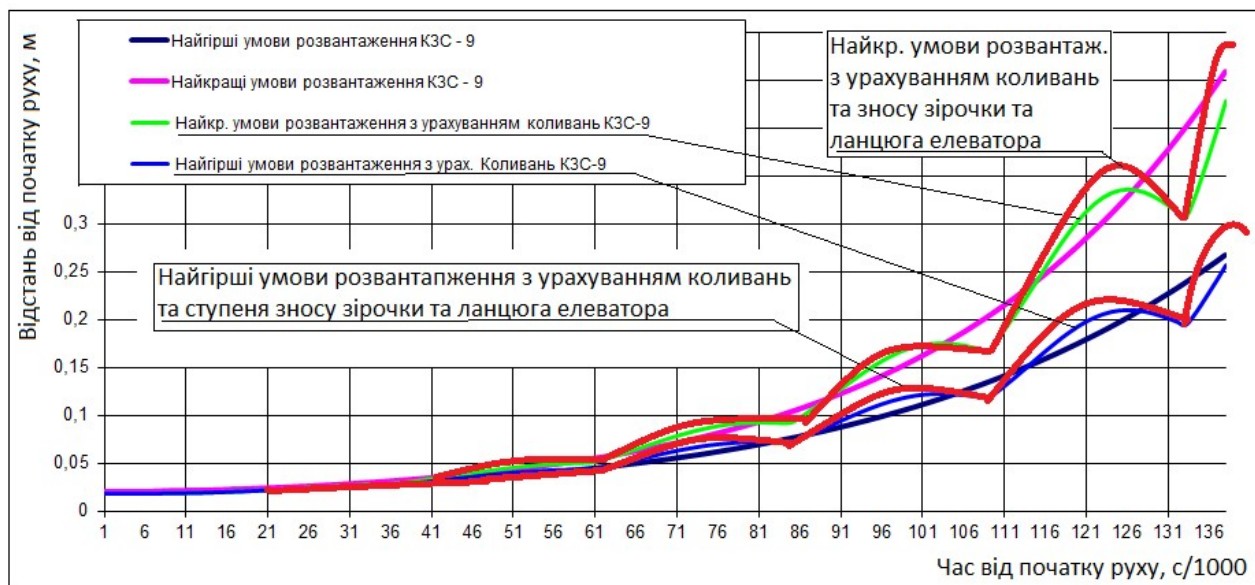
де $C_1(t)$ та $C_2(t)$ – функції від часу руху t , що треба визначити, тоді:

$$\begin{aligned} X_{\text{заг}}(t) = & \int \frac{-g\sqrt{1+f^2} \sin(\psi + \gamma - \omega t)}{e^{\chi_1 t} \left(\text{tbnABS}[\sin(nt)] \frac{4fk + 8f^2\omega + 8\omega^2}{\sqrt{(k+2f\omega)^2 + 4\omega^2}} + \sqrt{(k+2f\omega)^2 + 4\omega^2} \right)} dt e^{\lambda_1 t} + \\ & + \int \frac{g\sqrt{1+f^2} \sin(\psi + \gamma - \omega t)}{e^{\chi_2 t} \left(\text{tbnABS}[\sin(nt)] \frac{4fk + 8f^2\omega + 8\omega^2}{\sqrt{(k+2f\omega)^2 + 4\omega^2}} + \sqrt{(k+2f\omega)^2 + 4\omega^2} \right)} dt + \\ & + C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} \end{aligned} \quad (6)$$

Рівняння (6) описує рух зернини по скребку елеватора при будь-яких додатних функціях $\omega = f(t)$, що характеризують нерівномірність обертання верхньої ведучої зірочки. Графічна інтерпретація розв'язку подана на **рис 5**. Додатково змодельована ситуація, коли знос привідної зірочки збільшує амплітуду коливань в ланцюговій передачі.



а



б

Рис. 5 – Діаграма руху порції зерна по скребку елеватора, розрахована на прикладі конструктивних параметрів комбайна КЗС-9 «Славутич» (удосконалено авторами як продовження власних досліджень з (Бурлака & Яхін, 2017; Бурлака & Яхін, 2018)):

(а) – варіант для нової зірочки та ланцюга; (б) – порівняльний варіант нових та зношених елементів робочих органів елеватора комбайна

Зазначимо:

- ступінь нерівномірності руху зерна по скребку збільшується за експоненціальною залежністю за умови віддалення зерна відносно центру обертання приводного валу зірочки елеватора;
- діапазон варіації коефіцієнтів тертя ($f = 0,3 \dots 0,5$) та коефіцієнтів опору повітря ($k = 0,07 \dots 0,15$) є визначним щодо кращих та гірших умов відцентрового розвантаження зерна (рис. 3);
- ступінь зносу робочих поверхонь приводної зірочки у верхній частині зернового елеватора комбайна КЗС-9-1 призводить до більш виражених коливальних навантажень та збільшення відстані OO_1 (рис. 4).

Експериментальна перевірка теоретичних тверджень нами була здійснена на спеціально спроектованій установці (Бурлака & Слинько, 2009; Бурлака & Слинько, 2010). При цьому досліджувалась ступінь впливу зносу робочих органів скребкового елеватора на якість транспортування зерна за рахунок вимірювання величини зворотного сипу зерна, спостерігалось збільшення зворотного сипу у 1,5...2 рази по досягненню граничного зносу приводної зірочки скребкового ланцюга елеватора.

В якості перспектив подальших досліджень в такому напрямку рекомендовано проводити на моделях комбайнів СКІФ та скребкових елеваторах зернопереробної галузі.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень нами рекомендовано:

1. Використовувати нові конструкційні матеріали, в тому числі і композити, для виготовлення як приводної зірочки, так і безпосередньо самого скребкового ланцюга зернового елеватора. В такому напрямку бажано рухатись шляхом зменшення кроку ланцюга, використовувати більш міцні матеріали ланок ланцюга.

2. Упровадити комп'ютеризовану систему безпосереднього спостереження за зміною зворотного сипу в зерновому елеваторі з використанням швидкісних відеокамер та датчиків-витратомірів. Останнє дасть змогу вчасно здійснювати ремонт, технічне обслуговування та технологічну наладку елементів зернової групи молотарки комбайна.

3. Застосовувати електропривод та електронне регулювання швидкості транспортування зерна скребковими елеваторами відповідно до ступеню завантаження зернової групи в межах діапазону виконання умови відцентрового розвантаження.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Burlaka, O. A., Yakhin, S. V., Padalka, V. V., & Burlaka A. O. (2021). 100 Tons per hour, what is next? Let us compare and analyze characteristics of the latest models of highly productive combine harvesters. *Scientific Progress & Innovations*, 3, 274–288. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.34>
- Imelda, & Hidayat, R. (2024). Climate change impacts, adaptation and mitigation in the agricultural sector. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(3), 1457–1476. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.03.30>
- Krajewski, S., Żukovskis, J., Gozdowski, D., Cieśliński, M., & Wójcik-Gront, E. (2024). Evaluating the Path to the European Commission's Organic Agriculture Goal: A Multivariate Analysis of Changes in EU Countries (2004–2021) and Socio-Economic Relationships. *Agriculture*, 14(3), 477. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030477>
- Артьомов, М. П., Мельник, В. І., Качанов, В. В., Харченко, С. О., Анікеєв, О. І., Циганенко, М. О., Сировицький, К. Г., Цехмейструк, М. Г., Калюжний, О. Д., Ромашенко, О. А., Гаєк, Є. А., Панкова, О. В., Чигрина, С. А., & Лїїна, Н. О. (2022). *Технологічна блочно-варіантна система машиновикористання в землеробстві України: монографія. Частина 2 «Комплекси машинно-тракторних агрегатів в рослинництві України та їх енергоємність» (Technological block-variant system of machine use in agriculture of Ukraine: monograph. Part 2 "Complexes of machine-tractor units in crop production of Ukraine and their energy intensity")*. Харків: ТОВ «Планета-прінт».
- Бурлака, О. А., & Яхін, С. В. (2017). Теоретичні аспекти процесу відцентрового розвантаження зерна у елеваторі зернозбирального комбайну (*Theoretical aspects of the process of centrifugal unloading of grain in the elevator of a combine harvester*). *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 1-2(84-85), 139–143.
- Бурлака, О. А., & Яхін, С. В. (2018). Підвищення ефективності роботи скребкових елеваторів з відцентровим типом розвантаження (*Increasing the efficiency of scraper elevators with centrifugal unloading type*). *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 4, 195–200. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.31>
- Бурлака, О.А., & Слинько, О.П. (2010). Установка для дослідження технологічних процесів елеватора комбайна (*Installation for researching technological processes of a combine elevator*). Патент України 91783. Київ: Державний департамент інтелектуальної власності.
- Бурлака, О.А., & Слинько, О.П. (2009). Спосіб дослідження технологічних процесів (*Method of researching technological processes*). Патент 41557. Київ: Державний департамент інтелектуальної власності.
- Ляшук, О.І., Гевко, Р.Б., Дзюра, В.О., Кирик, О.М., & Довбиш, А.П. (2019). *Створення та модернізація транспортно-технологічних механізмів машин і обладнання: монографія (Creation and modernization of transport and technological mechanisms of machines and equipment: monograph)*. Тернопіль: ТНТУ.
- Погорілий, Л., Івасюк, В., & Соломаха, О. (2002). До практичної реалізації моніторингу ґрунтів у системі точного землеробства (*Towards the practical implementation of soil monitoring in the precision agriculture system*). *Техніка АПК*, 10-11, 8–9.