

УДК 621.867.133

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.27-36>**О. А. Бурлака**, доц., канд. техн. наук, **Б. В. Ступак***Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна**e-mail: bohdan.stupak@pdau.edu.ua*

Теоретико-механічний аналіз гравітаційно-відцентрового розвантаження насіння ковшем норії НФ-1

Досліджено особливості силової взаємодії порції насіння з робочими поверхнями ковша в характерних секторах обертання приводного барабана із застосуванням принципу Даламбера. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої конструкції ковша та доцільність її використання для щадного транспортування насіннєвого матеріалу.

норія, модернізований ківш, принцип Даламбера, щадне транспортування

Постановка проблеми. Сучасні тенденції розвитку агроінженерії передбачають підвищення якості посівного матеріалу шляхом впровадження нетравмуючих технологій його транспортування та доробки [1]. Важливе місце в технологічних лініях насіннєвих заводів посідають вертикальні ковшові норії. Разом з тим традиційні конструкції норій характеризуються підвищеним рівнем механічного травмування насіння під час транспортування та відцентрового розвантаження, що негативно впливає на його посівні властивості [2, 3]. Основними причинами пошкодження є компресійне защемлення зернівок у внутрішньому просторі ковша та їх ударна взаємодія з елементами головки норії. У зв'язку з цим актуальним завданням є вдосконалення геометричних параметрів робочих органів норії та створення математичних моделей, які дозволяють описати динаміку руху насіння під час розвантаження. Попередні результати теоретичних і експериментальних досліджень модернізованої норії НФ-1 з гравітаційно-відцентровим розвантаженням наведено в роботі [5]. У даній статті виконано подальший розвиток цих досліджень шляхом побудови кінетостатичної моделі руху порції насіння в характерних секторах траєкторії обертання ковша.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичні аспекти процесу відцентрового розвантаження зерна та підвищення ефективності роботи ковшових елеваторів розглянуто у роботах О. А. Бурлаки та С. В. Яхіна [2, 3]. Особливості транспортування зерна різних сільськогосподарських культур скребковими елеваторами вивчено у дослідженні Bilovod та ін. [4]. Попередні результати теоретичних та експериментальних досліджень модернізованої норії НФ-1 з гравітаційно-відцентровим розвантаженням наведено в роботі [5].

Невирішеною частиною проблеми є відсутність теоретико-механічного обґрунтування силової взаємодії порції насіння з робочими поверхнями модернізованого ковша норії НФ-1 у характерних секторах його обертання.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

– дослідити зміну силових факторів та характер руху порції насіння в характерних секторах обертання приводного барабана із застосуванням принципу Даламбера;

- визначити величини діючих сил для насіння пшениці, сої та соняшнику з урахуванням фактичного радіуса приводного барабана норії $R = 0,13$ м;
- дослідити вплив геометричних параметрів модернізованого ковша на характер руху та розвантаження порції насіння;
- встановити закономірності зміни силових факторів у процесі переходу від стану спокою до вільного вильоту матеріалу з ковша. (рис 1).

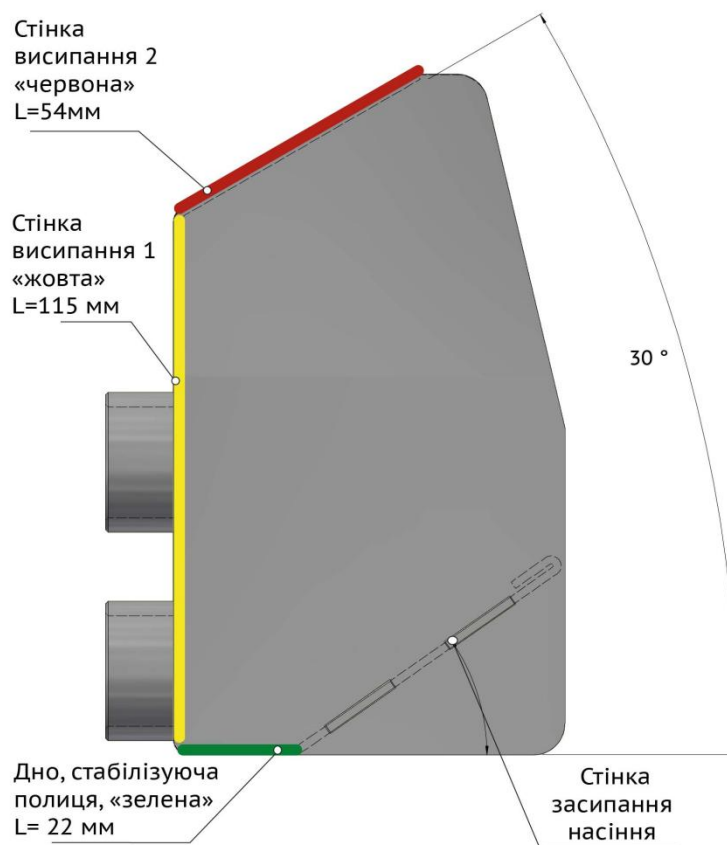


Рисунок 1 – Геометрична схема робочих поверхонь модернізованого ковша 30°

Джерело: розроблено авторами

Виклад основного матеріалу. Дослідження виконано шляхом поєднання високошвидкісної відеофіксації та теоретико-механічного аналізу процесу розвантаження насіння модернізованою норією НФ-1. На основі аналізу відеоматеріалів виділено чотири характерні фази руху насінневої маси в зоні приводного барабана.

Теоретичний аналіз проведено із застосуванням другого закону Ньютона та принципу Даламбера [6]. Для опису руху використано глобальну систему координат OXY і локальну систему xOy , жорстко пов'язану з ковшем. Розрахунки виконано для насіння пшениці, сої та соняшнику з використанням фактичних параметрів норії НФ-1. Отримані результати зіставлено з даними відеофіксації та попередніх досліджень [5].

Процес взаємодії насіння з робочими поверхнями модернізованого ковша поділено на чотири технологічні фази, характерні для всіх досліджуваних культур (рис. 2, 3, 4).

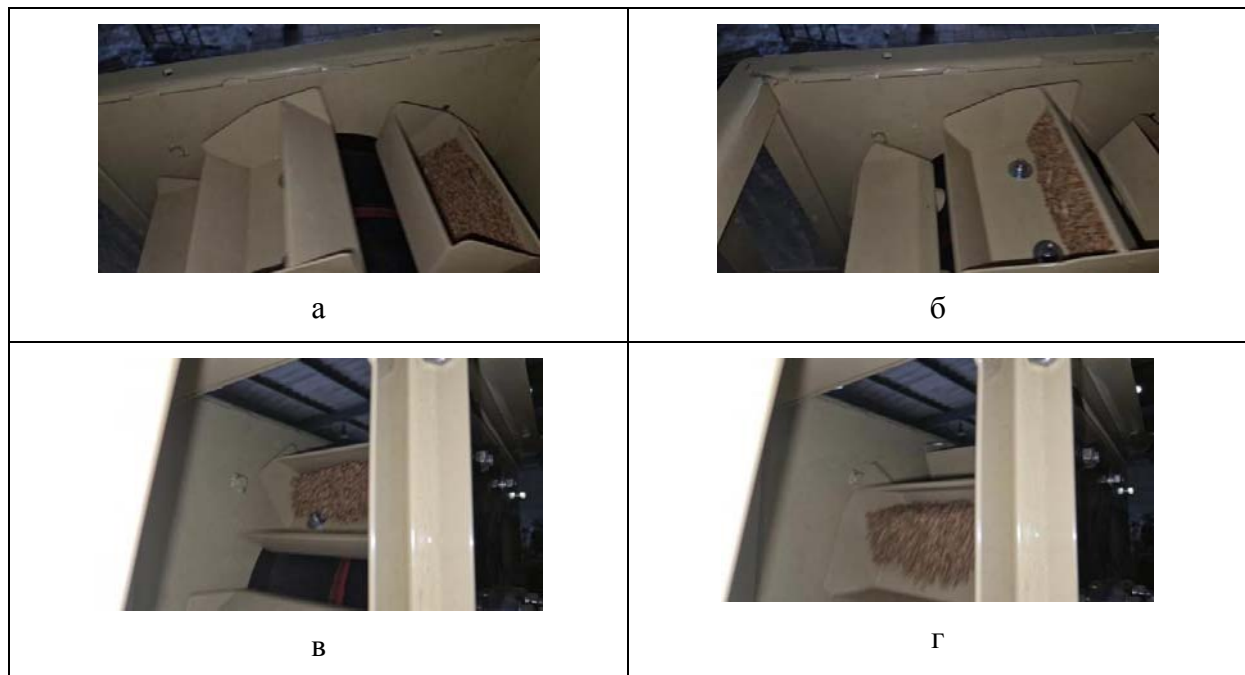


Рисунок 2 – Візуалізація фаз евакуації насіння пшениці з модернізованого ковша:

а – стабільне положення насіння; б – кутова перебудова порції насіння;

в – активне гравітаційне зсипання; г – інерційний викид порції насіння.

Джерело: розроблено авторами

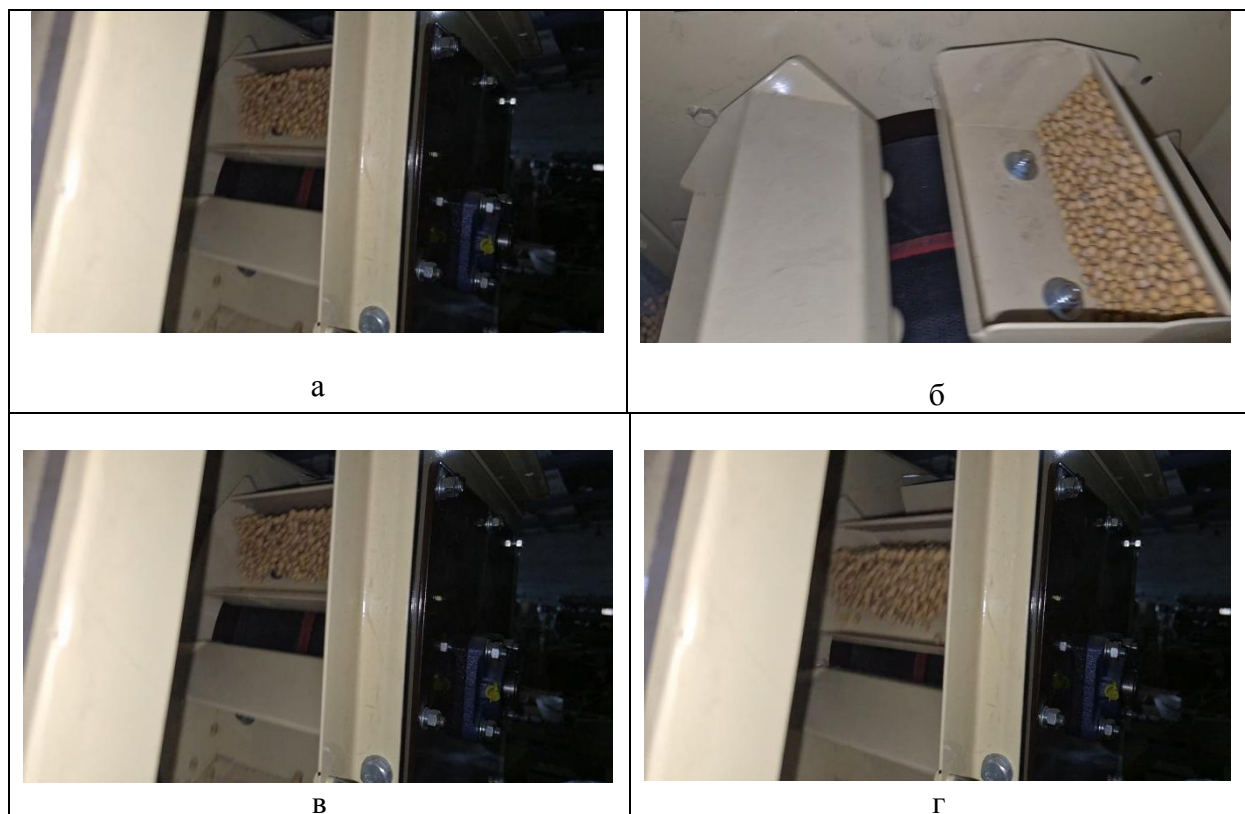


Рисунок 3 – Візуалізація фаз евакуації насіння сої з модернізованого ковша: а – стабільне положення

насіння; б – кутова перебудова порції насіння; в – активне гравітаційне зсипання;

г – інерційний викид порції насіння.

Джерело: розроблено авторами

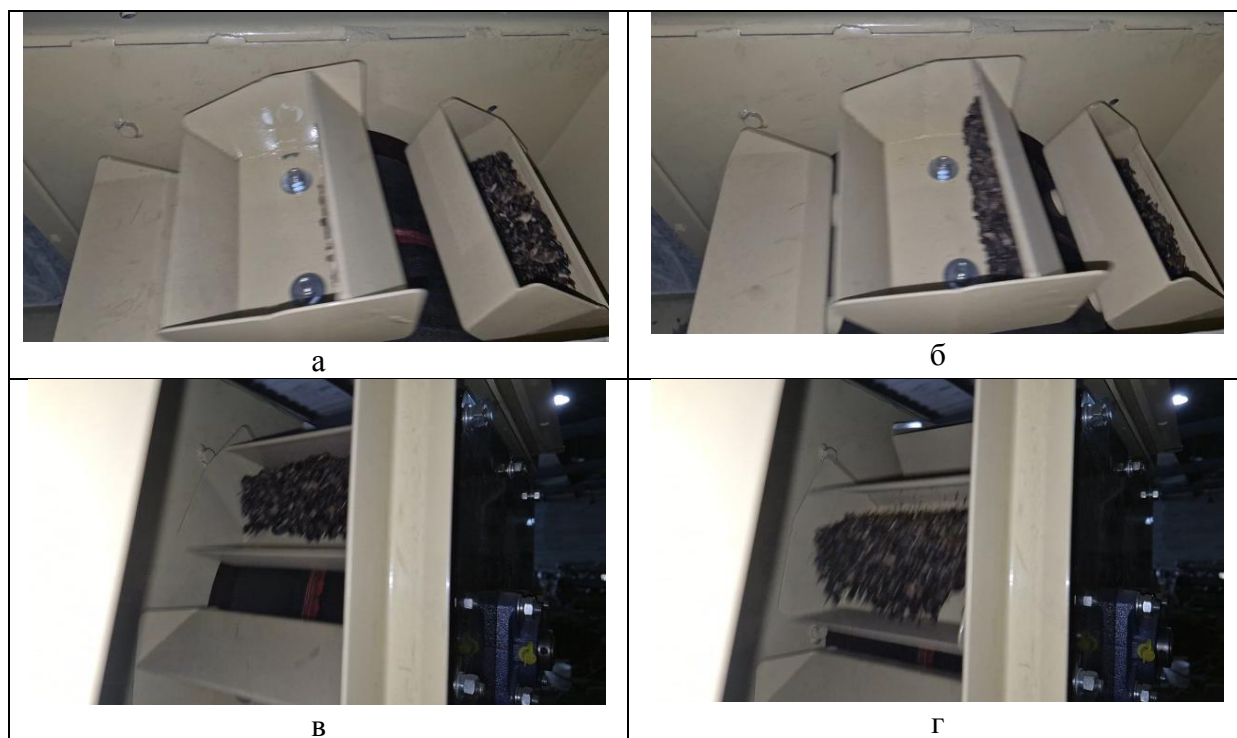


Рисунок 4 – Візуалізація фаз евакуації насіння соняшнику з модернізованого ковша: а – стабільне положення насіння; б – кутова перебудова порції насіння; в – активне гравітаційне зсипання; г – інерційний викид порції насіння.

Джерело: розроблено авторами

Для аналізу процесу розвантаження використано дві системи координат:

- глобальну систему координат Ox , яка характеризує положення ковша відносно горизонту (рис.5);
- локальну систему координат $OxOy$, жорстко зв'язану з ковшем і призначену для проектування сил (рис.6).

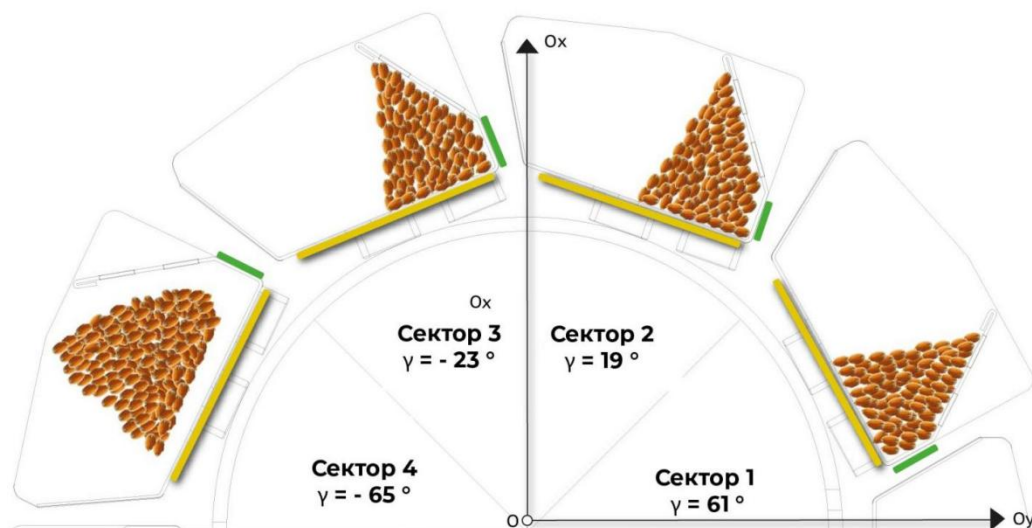


Рисунок 5 – Геометрична схема характерних положень ковша та кути нахилу / задньої стінки відносно горизонту

Джерело: розроблено авторами

Кутове положення ковша характеризується кутом γ , який визначається між задньою («жовтою») стінкою ковша та горизонталлю. За результатами геометричного аналізу в середовищі Autodesk Inventor виділено чотири характерні положення ковша: $\gamma_1 = 61^\circ$, $\gamma_2 = 19^\circ$, $\gamma_3 = -23^\circ$, $\gamma_4 = -65^\circ$ (рис. 5).

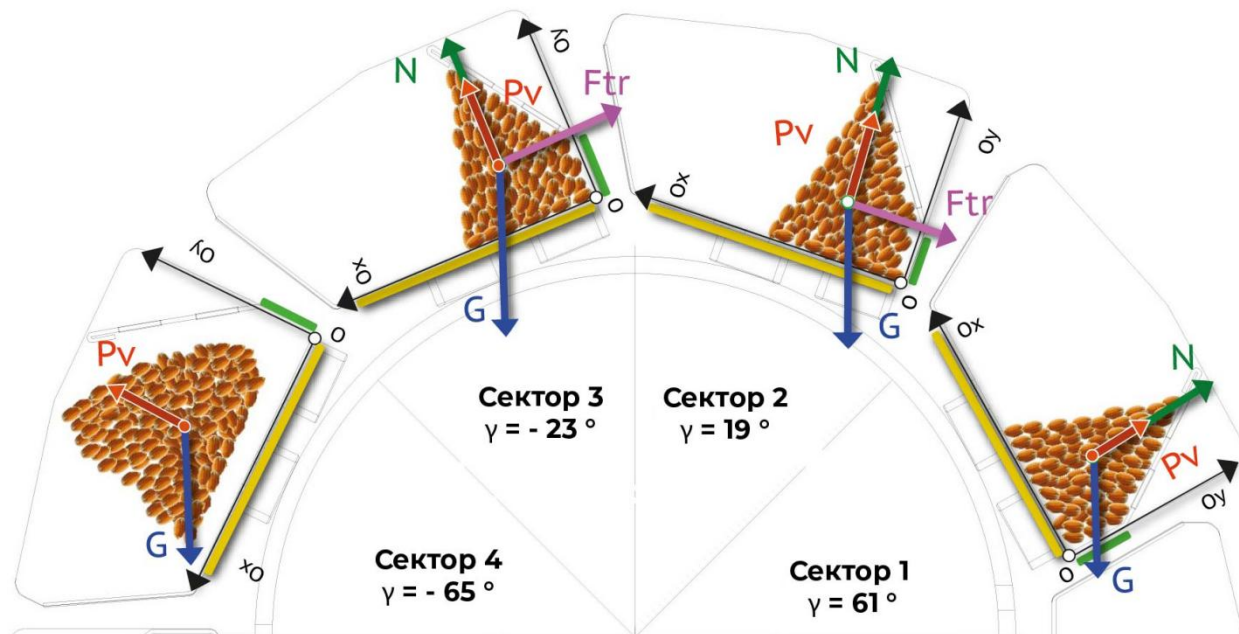


Рисунок 6 – Розрахунково-динамічна схема сил Даламбера та локальних систем координат $OxOy$, що діють на центр мас порції насіння

Джерело: розроблено авторами

Для визначення сил, що діють на порцію насіння, використано локальну систему координат $OxOy$, жорстко зв'язану з ковшем. Вісь Ox спрямована вздовж задньої («жовтої») стінки ковша довжиною 115 мм, а вісь Oy – вздовж короткого днища («зеленої») стінки довжиною 22 мм. (рис. 6)

Відповідно до другого закону Ньютона рух матеріальної точки описується рівнянням [6]:

$$ma = \sum F \quad (1)$$

де m – маса порції насіння; a – прискорення центра мас; $\sum F$ – геометрична сума всіх зовнішніх сил, що діють на порцію насіння в ковші.

Для спрощення аналізу використано принцип Даламбера, згідно з яким до системи активних сил додається сила інерції, після чого динамічна задача зводиться до задачі умовної рівноваги [6].

$$G + P_v + N + F_{tr} + F_{zs} = 0 \quad (2)$$

де G – сила тяжіння; P_v – переносна відцентрова сила інерції порції; N – нормальна реакція робочої стінки ковша; F_{tr} – сила тертя; F_{zs} – сила інерції відносного руху порції (рушійна сила зсуву).

Параметри норії НФ-1: радіус барабана $R = 0,13$ м, швидкість стрічки $V = 0,76$ м/с, кутова швидкість $\omega = 5,85$ рад/с, прискорення $g = 9,81$ м/с². Досліджувані культури:

пшениця ($m = 0,210$ кг, $f_0 = 0,45$, $f = 0,36$), соя ($m = 0,205$ кг, $f_0 = 0,42$, $f = 0,34$), соняшник ($m = 0,110$ кг, $f_0 = 0,52$, $f = 0,42$).

Сектор 1. Вхід на барабан, початковий нахил “жовтої” стінки ковша до горизонту $\gamma = 61^\circ$. Порція перебуває у відносному спокої в кутку ковша. Сила тяжіння визначається виразом:

$$G = m \cdot g \quad (3)$$

Відповідно до натуральної форми рівнянь руху матеріальної точки, нормальна складова сили визначається виразом:

$$\sum F_n = m \frac{V^2}{R} \quad (4)$$

Враховуючи співвідношення $V = \omega R$, отримаємо вираз для переносної відцентрової сили інерції [6]:

$$P_v = m \cdot \omega^2 \cdot R \quad (5)$$

У цьому секторі нормальна реакція формується під дією складової сили тяжіння $G \sin \gamma$ та переносної відцентрової сили інерції P_v , тому:

$$N = G \cdot \sin \gamma + P_v \quad (6)$$

Сектор 2. Підйом, нахил “жовтої” стінки ковша до горизонту $\gamma = 19^\circ$. Ківш повертається на дузі підйому, порція перебуває у відносному спокої в кутку ковша.

Рівняння нормального тиску та активної рушійної сили зсуву вздовж “жовтої” стінки (вісь Ox) мають вигляд (6):

Відповідно до рівнянь руху матеріальної точки у проєкціях на координатні осі, сила тяжіння була розкладена на складові вздовж локальних осей Ox та Oy . Проекція сили тяжіння на вісь Ox , яка визначає рушійну силу зсуву порції насіння, становить:

$$F_{zs} = G \cdot \cos \gamma \quad (7)$$

Граничний опір тертя спокою становить:

$$F_{tr} = f_0 \cdot N \quad (8)$$

Оскільки $F_{zs} \leq F_{tr}$ то сили тертя спокою вже недостатньо для утримання порції насіння у стані спокою. У даному секторі виникає початковий зсув матеріалу вздовж задньої стінки ковша, що відповідає початку активної фази його розвантаження.

Сектор 3. Напівперекинуте положення, фаза сходження, нахил “жовтої” стінки до горизонту $\gamma = -23^\circ$. Ківш перевалив через найвищу вертикальну точку підйому. “Жовта” задня стінка перевертається догори дном і нахилиється на 23° нижче лінії горизонталі, працюючи як відкритий розвантажувальний жолоб. Нормальна реакція задньої стінки визначається за залежністю (6).

Порівняно із сектором 2 нормальна реакція різко зменшується, що свідчить про послаблення контакту між порцією насіння та робочою поверхнею ковша.

Рушійна сила зсуву вздовж осі Ox , визначена за залежністю (7).

Оскільки матеріал перебуває в русі, сила опору визначається тертям ковзання:

$$F_{tr_k} = f \cdot N \quad (9)$$

Відповідно до другого закону Ньютона диференціальне рівняння відносного руху порції насіння вздовж осі Ox має вигляд [6].

$$m \cdot x = F_{zs} - F_{tr_k} \quad (10)$$

Оскільки $F_{zs} \geq F_{tr}$ порція насіння рухається у напрямку розвантаження з додатним прискоренням. Незначна величина сили тертя ковзання порівняно з рушійною силою забезпечує інтенсивне сходження матеріалу по поверхні ковша та формує передумови для його подальшого відриву в секторі 4.

Сектор 4. Інтенсивний схід та виліт, нахил “жовтої” стінки $\gamma = -65^\circ$. У даному секторі ківш досягає положення, за якого контакт насіння з задньою стінкою практично припиняється. Подальше збільшення від’ємного кута нахилу призводить до повної втрати притискання порції до поверхні ковша.

Нормальна реакція, визначена за залежністю (формула 6), набуває від’ємного значення, що фізично означає неможливість збереження контакту між матеріалом і стінкою. Тому для подальших розрахунків приймаємо: $N=0$,

За відсутності нормальної реакції сила тертя також зникає: $F_{tr_k} = 0$

У цей момент порція насіння залишає робочу поверхню ковша та переходить до вільного руху під дією сили тяжіння.

Маса отримує потужний імпульс і злітає з «жовтої» стінки з абсолютною швидкістю $V_v = 2,10$ м/с для пшениці, $2,07$ м/с для сої, $2,03$ м/с для соняшнику.

Згідно з теоремами кінематики про додавання швидкостей у відносному русі матеріальної точки, абсолютна швидкість фінального зліту зерна з робочої поверхні ковша V_v є результатом векторного сумування переносної швидкості обертання ковша V_e (що зумовлена рухом стрічки навколо приводного барабана) та відносної швидкості ковзання порції матеріалу вздовж випускної ділянки ковша V_r :

$$V_v = V_e + V_r \quad (11)$$

Оскільки у фазі інтенсивного розвантаження (Сектор 4) під дією конструктивних особливостей модернізованого робочого органу норії НФ-1 вектори переносної V_e та відносної V_r швидкостей спрямовані під взаємним кутом θ , модуль абсолютної швидкості вильоту порції насіння визначається за допомогою тригонометричної теореми косинусів:

$$V_v = \sqrt{(V_e^2 + V_r^2 + 2 \cdot V_e \cdot V_r \cdot \cos \theta)} \quad (12)$$

Компоненти розробленої кінематичної моделі розраховуються за такими залежностями:

Переносна швидкість ковша V_e є константою для обраного режиму роботи елеватора і функціонально залежить від кутової швидкості обертання приводного барабана норії ω та радіуса траєкторії руху елементів по колу барабана R :

$$V_e = \omega \cdot R \quad (13)$$

Відносна швидкість ковзання матеріалу V_r формується на зрізі випускної площини короткого “зеленого” днища довжиною $L=22$ мм під дією результуючого

прискорення a_r , що виникає внаслідок спільної дії сили тяжіння та сили інерції Даламбера в зоні розвантаження:

$$V_r = \sqrt{2 \cdot a_r \cdot L} \quad (14)$$

Чисельну матрицю розрахованих силових факторів Даламбера та кінематичних параметрів за точними кутовими точками креслення наведено у зведеній таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку сил, реакцій та швидкості вильоту порції насіння за кінетостатичною моделлю Даламбера

Динамічний показник порції матеріалу та одиниці виміру (СІ)	Позн. сили	Пшениця ($m=0,210$ кг)	Соя ($m=0,205$ кг)	Соняшник ($m=0,110$ кг)
СЕКТОР 1 (Початок підйому ковша на барабан, нахил "синьої" стінки до горизонту $\gamma = 65^\circ$)				
Переносна відцентрова сила інерції, Н	P_v	0,94	0,91	0,49
Сила нормальної реакції стінок ковша, Н	N	2,74	2,67	1,43
СЕКТОР 2 (Критичний нахил "синьої" стінки $\gamma = 19^\circ$)				
Сила нормальної реакції "жовтої" задньої стінки, Н	N	1,61	1,56	0,84
Результуюча рушійна сила зсуву по осі Ох, Н	F_{zs}	1,95	1,9	1,02
Гранична сила тертя спокою, Н	F_{tr}	0,73	0,66	0,44
СЕКТОР 3 (Напівперекинутий лоток, нахил "синьої стінки" $\gamma = -23^\circ$)				
Поточна сила нормальної реакції стінки-лотка, Н	N	0,13	0,12	0,07
Активна зсувна рушійна сила потоку зерна, Н	F_{zs}	1,9	1,85	0,99
Динамічна сила тертя ковзання матеріалу, Н	F_{tr_k}	0,05	0,04	0,03
СЕКТОР 4 (Інтенсивний схід та відрив, нахил "синьої" стінки $\gamma = -65^\circ$)				
Поточна сила нормальної реакції (відрив шару), Н	N	0	0	0
Активна рушійна сила передвильотового розгону, Н	F_{zs}	0,87	0,85	0,46
Абсолютна швидкість вильоту насіння з ковша, м/с	V_v	2,1	2,07	2,03

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Проведений теоретико-механічний аналіз процесу гравітаційно-відцентрового розвантаження насіння модернізованим ковшем норії НФ-1 дозволив встановити закономірності зміни силових факторів у характерних секторах обертання приводного барабана. Отримані результати узгоджуються з даними експериментальної відеофіксації процесу розвантаження.

Встановлено, що довга задня стінка ковша довжиною 115 мм забезпечує стабільне переміщення та гравітаційне сходження насінневої маси на початкових

етапах розвантаження, тоді як коротке днище довжиною 22 мм сприяє ефективному завершенню процесу, забезпечуючи повніше спороження ковша та зменшуючи ймовірність потрапляння насіння в шахту норії.

На даному етапі ведеться робота з подальшого вдосконалення конструкції ковша, спрямована на оптимізацію його геометричних параметрів та підвищення ефективності щадного транспортування насіннєвого матеріалу. Передбачається проведення експериментальних досліджень і випробувань нових конструктивних рішень у виробничих умовах.

Список літератури

1. Артёмов М. П. та ін. Технологічна блочно-варіантна система машиновикористання в землеробстві України. Частина 2 : монографія. Харків : ТОВ «Планета-Прінт», 2022. 192 с.
2. Бурлака О. А., Яхін С. В. Теоретичні аспекти процесу відцентрового розвантаження зерна у елеваторі зернозбирального комбайна. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 1–2(84–85). С. 139–143.
3. Бурлака О. А., Яхін С. В. Підвищення ефективності роботи скребкових елеваторів з відцентровим типом розвантаження. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 4. С. 195–200. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.31>
4. Study of the features of grain transportation of various agricultural crops by scraper elevators of combine harvesters. / Bilovod O., Kelemesh A., Burlaka O., Tarasenko D. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2025. № 2 (129). С. 98–105. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-2-12>
5. Бурлака О. А., Ступак Б. В. Удосконалення технологічних параметрів зернової ковшової норії з гравітаційно-відцентровим розвантаженням. Теоретичні аспекти та експериментальні випробування. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2026. № 2(97). С. 39–49. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2026.2.4>.
6. Теоретична механіка : підручник / Павловський М. А., Путько В. В., Бондар М. В., Коловський В. М. Київ : Техніка, 2004. 512 с.
7. Установка для дослідження технологічних процесів елеватора комбайна : пат. 41504 Україна : МПК A01D 41/00. № u200814677 ; заявл. 22.12.2008 ; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.
8. Спосіб дослідження технологічних процесів : пат. 41557 Україна : МПК A01D 41/00. № u200815248 ; заявл. 29.12.2008 ; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.
9. Установка для дослідження технологічних процесів елеватора комбайна : пат. 91783 Україна : МПК A01D 61/00, A01D 93/00. № a200901515 ; заявл. 23.02.2009 ; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
10. Погорілий Л., Івасюк В., Соломаха О. До практичної реалізації моніторингу ґрунтів у системі точного землеробства. *Техніка АПК*. 2002. № 10–11. С. 8–9.
11. 100 тон за годину, а що далі? Порівнюємо та аналізуємо характеристики флагманських моделей високопродуктивних зернозбиральних комбайнів / Бурлака О., Яхін С., Падалка В., Бурлака А.. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. № 3. С. 274–288. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.34>
12. 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 / Krajewski S., Žukovskis J., Gozdowski D., Cieśliński M., Wójcik-Gront E.. *Agriculture*. 2024. Vol. 14. Article 477. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14030477>
13. Imelda, Hidayat R. Climate change impacts, adaptation and mitigation in the agricultural sector. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2024. Vol. 10, Issue 3. P. 1457–1476. DOI: <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.03.30>

References

1. Artiymov, M. P., et al. (2022). Technological block-variant system of machinery use in agriculture of Ukraine. Part 2. Kharkiv : Planeta-Print.
2. Burlaka, O. A., & Yakhin, S. V. (2017). Theoretical aspects of centrifugal grain discharge in a combine harvester elevator. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1–2(84–85), 139–143.
3. Burlaka, O. A., & Yakhin, S. V. (2018). Improving the efficiency of scraper elevators with centrifugal unloading. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 4, 195–200. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.04.31>

4. Bilovod, O., Kelemesh, A., Burlaka, O., & Tarasenko, D. (2025). Study of the features of grain transportation of various agricultural crops by scraper elevators of combine harvesters. *Tekhnika, Enerhetyka, Transport APK*, 2(129), 98–105. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2025-2-12>
5. Burlaka, O. A., & Stupak, B. V. (2026). Improvement of technological parameters of grain bucket conveyor with gravity-centrifugal unloading. Theoretical aspects and experimental tests. *Bulletin of Kherson National Technical University*, 2(97), 39–49. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2026.2.4>
6. Pavlovskiy, M. A., Putko, V. V., Bondar, M. V., & Kolovskiy, V. M. (2004). Theoretical Mechanics. Kyiv: Tekhnika.
7. Installation for studying technological processes of a combine harvester elevator. Ukraine Patent No. 41504, 2009.
8. Method for studying technological processes. Ukraine Patent No. 41557, 2009.
9. Installation for studying technological processes of a combine harvester elevator. Ukraine Patent No. 91783, 2010.
10. Pohoriliy, L., Ivasiuk, V., & Solomakha, O. (2002). On practical implementation of soil monitoring in precision farming systems. *Tekhnika APK*, 10–11, 8–9.
11. Burlaka, O., Yakhin, S., Padalka, V., & Burlaka, A. (2021). 100 tons per hour, what next? Comparative analysis of flagship high-performance combine harvesters. *Scientific Progress & Innovations*, 3, 274–288. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.34>
12. 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, 477. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030477>
13. 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>

Oleksii Burlaka, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Bohdan Stupak**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Theoretical and Mechanical Analysis of the Gravitational-Centrifugal Seed Discharge Process by the Modernized Bucket of the NF-1 Bucket Elevator

The purpose of this study is to provide a theoretical and mechanical substantiation of the gravitational-centrifugal seed discharge process performed by a modernized bucket of the NF-1 bucket elevator. The research is aimed at determining the patterns of force interaction between the seed portion and the bucket working surfaces during its movement around the drive drum, as well as evaluating the influence of bucket geometry on the efficiency of the unloading process and the reduction of seed damage.

The research combined experimental observations with theoretical and mechanical analysis. High-speed video recording of the unloading process was used to identify the characteristic stages of seed movement within the bucket and during discharge. Based on the obtained video materials, four technological phases of the unloading process were distinguished. The theoretical analysis was carried out using Newton's second law, D'Alembert's principle, and the fundamental relationships of classical mechanics. The interaction between the seed mass and the working surfaces of the bucket was investigated for wheat, soybean, and sunflower seeds under actual operating conditions of the NF-1 bucket elevator. Particular attention was paid to the redistribution of gravitational, inertial, and friction forces in different sectors of the drive drum rotation. The obtained analytical results were compared with experimental observations and previously published research data.

The conducted study confirmed the effectiveness of the proposed bucket design for gravitational-centrifugal unloading of seed material. It was established that the elongated rear wall provides stable movement and controlled discharge of the seed mass, while the shortened bottom section contributes to more complete bucket emptying and reduces seed fallback into the elevator casing. The obtained results may be used in the design and improvement of bucket elevators intended for gentle transportation of seed material. Further research is focused on the development and testing of bucket designs with improved geometric parameters and enhanced operating characteristics.

bucket elevator, modernized bucket, D'Alembert principle, gravitational-centrifugal discharge, gentle transportation

Одержано (Received) 19.06.2026

Прорецензовано (Reviewed) 23.06.2026

Прийнято до друку (Approved) 25.06.2026