

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 62-405.6:63

ЕФЕКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ РОБОЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ВИВАНТАЖУВАЛЬНИХ  
ПРИСТРОЇВ ЗБИРАЛЬНИХ МАШИН*Ловейкін В'ячеслав Сергійович* д.т.н., професор*Шимко Любов Сергіївна* к.т.н., доцент*Національний університет біоресурсів і природокористування України**Loveykin V.**Shymko L.**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

**Анотація:** запропоновано спосіб вивантаження зернового матеріалу з бункерів комбайнів, який базується на дії гравітаційних сил (перевертанням накопичувального бункера). Встановлено, що неперервний керований виток зернових матеріалів із різними механіко-технологічними властивостями самоскидного бункера являє собою процес швидкого руху частинок зернового матеріалу похилою поверхнею зсуву. В результаті аналізу отриманих та узагальнених даних спостережень за траєкторією руху зернового матеріалу основних сільськогосподарських культур обчислене середнє значення швидкості зернового потоку  $v=1,35$  м/с за умови дотримання кутової швидкості повороту самоскидного бункера  $\omega=0,0364$  рад/с, що відповідає часу підняття бункера 43с.

**Ключові слова:** експеримент, сипуче середовище, вивантажувальний пристрій, сільськогосподарські культури, моделювання, самоскидний бункер.

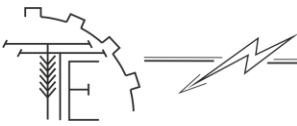
Підвищення ефективності роботи вивантажувальних пристроїв збиральних машин і комбайнів являється важливою частиною загальної проблеми — удосконалення виробничого процесу збирання сільськогосподарських культур. Це важливе завдання пропонується вирішувати шляхом вивантаження зернових матеріалів з самоскидного бункера комбайна. Науковий пошук шляхів підвищення ефективності збиральних машин і комбайнів при вивантаженні ними зібраної маси в транспортні засоби передбачає виокремлення й аналіз робочого процесу вивантаження та ґрунтовне вивчення суті фізичних процесів зсувного потоку сипкого тіла. Програма вирішується у відповідності до тематики наукових досліджень: «Оптимізація режимів руху механізмів ПТМ, що використовуються при механізації виробничих процесів у тваринництві і рослинництві на 2005-2015 рр.», державна реєстрація 0105U007502.

Основоположниками механіки сипучого середовища досліджені закономірності та сформовані закони механіки сипучих матеріалів. Поглибленням їх наукового спадку стали роботи Л.В. Гячева, В.А. Богомягкіх, Р.А. Бегнолда, Д.Т. Дженкінса, С.Б. Севіджа, В.М. Долгуніна, В.Я. Борщова та ін. [2-5]. Їх вклад у формування наукових засад теорії розрахунку спонукав до появи різноманітних конструкцій вивантажувальних механізмів які частково вирішувалися в працях В.І. Літвінова, В.П. Макарова, В.І. Недовесова [1,6,7]. Проте, зважаючи на досі існуючу недосконалість процесу, поряд із широким розповсюдженням та використанням різноманітних вивантажувальних систем збиральних комбайнів та значної кількості варіантів їх конструкцій, наукова проблема обґрунтування параметрів і режимів вивантажувальних пристроїв вимагає подальшого вивчення та розвитку.

Дослідження експериментальних закономірностей руху сипучих середовищ під дією зсуву було б особливо корисним при проектуванні та конструюванні вивантажувальних пристроїв і механізмів, що призначені для переміщення сипких тіл, при виконанні технологічних процесів виробництва сільськогосподарської продукції.

**Мета дослідження** є відслідкувати траєкторію та визначити швидкість руху окремих зернин під час виконання робочого процесу транспортування зібраного матеріалу методом гравітаційного витоку. Ці дані необхідні для оцінки адекватності аналітичних моделей зернової суміші у задачах оптимізації кінематичних параметрів самоскидного бункера. В зв'язку із чим, даною серією дослідів передбачено встановити залежність швидкості переміщення вивантаженого дослідного зернового матеріалу від розрахованого часу випорожнення (кутової швидкості повороту) самоскидного бункера.

Ефективне управління робочими процесами вивантажувальних пристроїв збиральних машин і

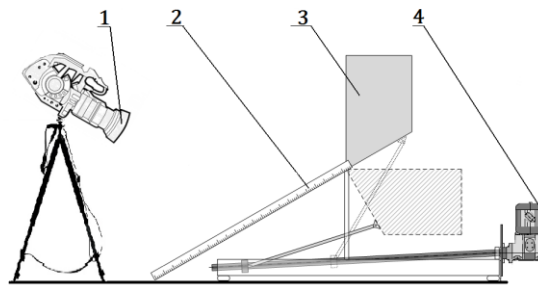


комбайнів можливе лише за умов як теоретичного так і експериментального обґрунтування їх конструкцій, на підставі підтверджених даних щодо фізико-механічних властивостей робочого (сипучого) матеріалу та вимірними показниками структурних, кінематичних і динамічних характеристик швидких гравітаційних течій.

### **Матеріал і методика дослідження**

Для здійснення дослідів використовувалося наступне обладнання і матеріали: експериментальна установка фізичної моделі самоскидного бункера, що обладнана спеціальним із розміщеною поверхнею лотком, довжиною 1200 мм; водяний рівень; цифрова відеокамера Canon HV-30; персональний комп'ютер; змінні ємкості для різних зернових матеріалів; електронний вологомір Wile 55; досліджуваний зерновий матеріал основних сільськогосподарських культур.

Встановлення показників швидкості переміщення зернового матеріалу відбувалося в наступній послідовності: на вирівняну, за допомогою водяного рівня, тверду поверхню встановлювалося обладнання за схемою відображеною на рис. 1.



**Рис. 1. Загальна схема установки для експериментальних досліджень швидкості гравітаційного витoku зернового матеріалу із фізичної моделі самоскидного бункера: 1 – цифрова відеокамера Canon HV-30; 2 – подовжувач лотка бункера з відповідною розміткою; 3 – фізична модель самоскидного бункера; 4 – механізм повороту бункера з варіатором обертів**

Розміщували, на стандартному штативі, відеокамеру Canon HV-30 добиваючись за допомогою видошукача, відповідно до настанов із експлуатації, виразного відображення зсувної поверхні подовженого лотка експериментальної установки фізичної моделі самоскидного бункера.

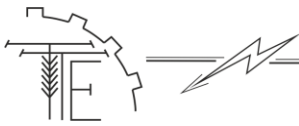
Регулюванням варіатора обертів гвинта, механізм повороту бункера налаштувався кутову швидкість 0,05 рад/с.

Розміщали досліджуваний зерновий матеріал у самоскидний бункер експериментальної установки. Регулювальним механізмом, користуючись ватерпасом, бункер встановлювався горизонтальному положенні. На поверхні зернового матеріалу поміщали попередньо зафарбовані у різні контрастні кольори (червоний, помаранчевий, синій, зелений та білий) окремі зернини матеріалу, що досліджувався.

Переводили відеокамеру із режиму «Stand-by» у робочий режим запису зображення (на моніторі відеокамери, відповідно до її функцій, здійснювалась фіксація реального часу та разом із відео записувався звук). Голосно повідомлялися вихідні дані дослідження — культура (зерновий матеріал), швидкість обертання підйимального гвинта, повторність досліду. Вмикали привід підйимального гвинта (при здійсненні документування відеозаписів, початок звучання привідного механізму слугував знаком фіксації початку відліку часу повороту дослідного бункера у вертикальне положення). Далі, спостерігався безперервний, швидкий гравітаційний виток досліджуваного зернового матеріалу в місткість, при цьому відеокамерою фіксувалися гравітаційний рух поверхнею зсуву зернового матеріалу в тому числі рух відповідно зафарбованих зернин відносно розмітки подовженого лотка. Як тільки бункер досягав вертикального положення, спочатку вимикали привід підйимального гвинта, услід зупиняли запис відеокамери. Після закінчення чергової повторності, обладнання приводили до вихідного стану.

Відзнятий відеоматеріал, за стандартною процедурою, передавався для подальшої документації до персонального комп'ютера. Використовуючи відповідне програмне забезпечення «PinnacleStudio 12» отримували по кадрове відображення зсувного потоку. Вивчаючи на окремих, послідовних зображеннях положення зафарбованих зернин відносно розмітки подовженого лотка та фіксували величини їх переміщень відносно обраних маяків із документуванням реального часу кожного кадру з відеозапису. Таким чином здійснено документування отриманих дослідних даних за формою таблиці 1.

Систематизовані дослідні дані оброблялись та перевірялись. Також визначалися середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації вимірювальних величин.



Таблиця 1

Форма та приклад документування даних дослідження швидкості гравітаційного витоку зернових матеріалів із самоскидного бункера

Повторність дослід: № 3;			Зерновий матеріал: <u>Озима пшениця</u>		
Колір зернини	№ зображення	Показник часу виходу зернини на нульову позначку маяка від початку повороту – $t_i^0$ , с.	№ зображення	Показник часу виходу зернини на фінішну позначку маяка від початку повороту – $t_i^{\phi}$ , с.	Швидкість руху зернини поверхнею зсуву – $v_i$ , м/с.
червоний	38359	11,4	38441	27,8	0,061
помаранчевий	38355	10,6	38448	29,0	0,054
синій	38365	12,6	38458	31,2	0,054
зелений	38356	10,8	38445	28,6	0,056
білий	38362	12,0	38436	26,8	0,067

### Результати дослідження

Встановлено, що неперервний, керований гравітаційний виток зернових продуктів рослинного походження із різними механіко-технологічними властивостями з самоскидного накопичувального бункера представляє собою процес швидкого руху часточок зернистого матеріалу похилою поверхнею зсуву.

Механіко-технологічні властивості зернових матеріалів здійснюють помітний вплив на співвідношення кутової швидкості самоскидного бункера та середньої швидкості витоку сипкого зернового матеріалу при значеннях останньої 1,1...1,3 м/с, при швидких течіях зсувного потоку (більше 1,5 м/с.), значення кутової швидкості мало залежить від коефіцієнту тертя зернових по сталі (в даному випадку сільськогосподарських) матеріалів.

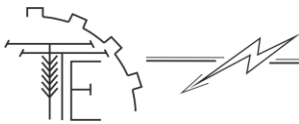
Досліджуючи робочий процес вивантаження спостерігаємо, що сипке тіло (зібране зерно) при досягненні меж самоскидного бункера висипається на лоток (кришку бункера) по якому продовжується швидкий гравітаційний рух течії зерна до завантаження в транспортний засіб. На цьому етапі процесу важливо, щоб робочі режими вивантажувальних пристроїв забезпечували відносно усталений і швидких витік зерна по лотку без втрат зерна, тобто швидкість підняття бункера повинна забезпечити відносно рівномірний швидкий витік зерна із бункера. Вагому роль в цьому процесі відіграють як геометрична форма і особливості конструкції самого бункера, так і форма лотка бункера.

Приведені нижче результати експериментальних досліджень швидкості руху зернових матеріалів основних сільськогосподарських культур із фізичної моделі самоскидного бункера узагальнені таблицею 2.

Таблиця 2

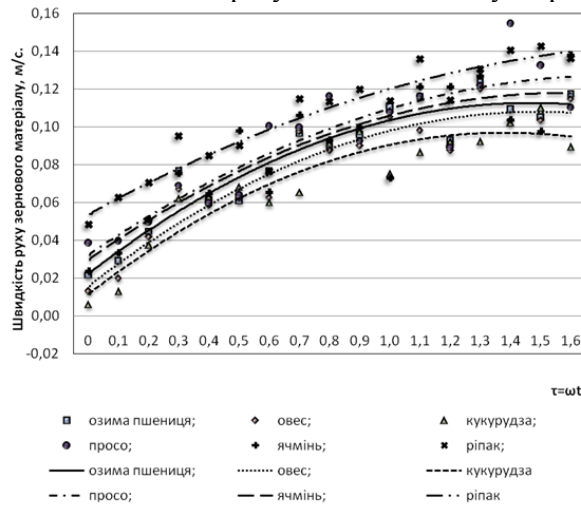
Дані досліджень швидкості руху зернових матеріалів основних сільськогосподарських культур

$\tau = \omega \cdot t$	Показники швидкості гравітаційного витоку $v, \frac{м}{с}$					
	озима пшениця	овес	кукурудза	просо	ячмінь	ріпак
0	0,021	0,013	0,006	0,038	0,024	0,048
0,1	0,029	0,020	0,013	0,040	0,033	0,063
0,2	0,045	0,042	0,037	0,049	0,051	0,070
0,3	0,077	0,067	0,062	0,069	0,075	0,095
0,4	0,061	0,058	0,063	0,060	0,065	0,085
0,5	0,061	0,062	0,068	0,064	0,098	0,090
0,6	0,076	0,062	0,060	0,100	0,066	0,077
0,7	0,096	0,097	0,065	0,099	0,106	0,115
0,8	0,090	0,087	0,091	0,116	0,093	0,113
0,9	0,096	0,090	0,097	0,092	0,100	0,120
1,0	0,110	0,105	0,075	0,108	0,073	0,114
1,1	0,116	0,098	0,086	0,116	0,121	0,136
1,2	0,093	0,087	0,092	0,089	0,121	0,114
1,3	0,124	0,120	0,092	0,122	0,127	0,131
1,4	0,109	0,103	0,102	0,154	0,104	0,141
1,5	0,105	0,103	0,110	0,132	0,098	0,143
1,6	0,117	0,115	0,089	0,110	0,138	0,136



Для зсуву сільськогосподарських сипких матеріалів із малим коефіцієнтом тертя (просо, ріпак та ін.) необхідно менші значення кутової швидкості обертання самоскидного бункера порівняно із сипким матеріалом, що має більші значення коефіцієнта тертя (гречка, овес, насіння трав та ін.).

На рис. 2. представлено графіки залежності швидкості руху зернових матеріалів із фізичної моделі самоскидного бункера від швидкості повороту самоскидного бункера.

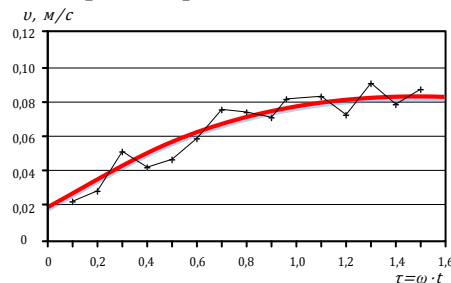


**Рис. 2. Залежність швидкості руху зернових матеріалів від швидкості повороту самоскидного бункера**

Перевірка адекватності моделі зернової суміші у задачах оптимізації кінематичних параметрів самоскидного бункера збирального комбайна проводилась шляхом порівняння результатів чисельних розрахунків на ПЕОМ досліджуваного руху з даними отриманими шляхом експериментального дослідження швидкості гравітаційного витoku зернового матеріалу з фізичної моделі самоскидного бункера.

У випадках, коли закон обертання бункера навколо вісі та відповідно залежність  $\alpha(t)$  — співвідноситься з рівноприскореним обертанням, то в загальному випадку, підвищується ефективність процесу вивантаження сипкого матеріалу. Проте, необхідно зважати, що є і негативні наслідки зазначеного робочого режиму обертання самоскидного бункера. А саме, у випадках, коли відбувається різкий підйом гідроциліндра на початковому етапі повороту самоскидного бункера ( $\epsilon=1 \text{ рад/с}^2$ ), показник осциляції швидкості ковзання зернового матеріалу досягає критичного значення, роблячи, в даних технологічних умовах, досліджуваний робочий режим обертання самоскидного бункера неприйнятним із-за передбачуваних втрат зернового матеріалу під час випорожнення самоскидного бункера.

Нижче на рисунку 3 розміщена діаграма порівняння зазначених даних.

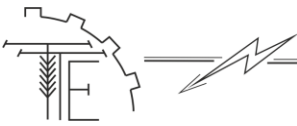


+ — узагальнені дані експериментальних досліджень швидкості витoku зернового матеріалу;

— крива побудована за даними чисельних розрахунків програмними засобами ПЕОМ.

**Рис. 3. Порівняльна діаграма результатів чисельних розрахунків з даними отриманими шляхом експериментального дослідження**

Відхилення між даними отриманими шляхом експериментальних спостережень за гравітаційним витком та результатами чисельних розрахунків на ПЕОМ відповідно для зазначених вище основних сільськогосподарських культур склали 3,8...27,4%.

**Висновки**

В результаті аналізу отриманих та узагальнених даних спостережень за траєкторією руху зернового матеріалу основних сільськогосподарських культур обчислене середнє значення швидкості зернового потоку  $v = 1,35 \frac{m}{s}$  за умови дотримання кутової швидкості повороту самоскидного бункера  $\omega = 0,0364 \text{ рад/с}$ , що відповідає часу підняття бункера 43с. Даний режим прийнятий як раціональний, в зв'язку із тим, що час на підняття самоскидного бункера 43с є прийнятним, при цьому, величина осциляцій гравітаційного витоку, за зазначеним робочим режимом, порівняно менша.

**Список літератури**

1. А. с. 1166713 СССР МКИ<sup>4</sup> А 01 D 41 /00, А 01 F 12 /60. Зерноуборочный комбайн / В.П. Макаров, (СССР). - №3632696/30-15; заявл.12.08.83; опубл. 15.07.85, Бюл. №26.
2. Гячев Л.В. Основы теории бункеров / Л.В. Гячев. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. — 312с.
3. Долгунин В.Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение./ В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев. — М.: «Издательство Машиностроение-1», 2005. — 112с.
4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / [Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. та ін.]; За ред. С.С. Яцуна. — К.: Мета, 2003. — 448 с.
5. Механика влажных сводообразующих зерновых материалов в бункерах. / [Богомяжких В.А., Кунаков В.С., Вороной Н.С. и др.]; подобщей ред. В.А Богомяжких — Зерноград.: РФРИАМА, 2000. — 100с.
6. Литвинов А.И. Исследование процесса работы вибробункера для зерноуборочного комбайна: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01. «Механизация сельскохозяйственного производства» / Литвинов А.И. — Волгоград, 1962. — 24с.
7. Ловейкін В.С. Аналіз робочих процесів вивантажувальних пристроїв / Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Шимко Л.С. — Ніжин : Видавець ПП Лисенко М.М., 2010 — 168 с.:іл.

**References**

1. A. s. 1166713 SRSR MKI4 F 01 D 41 / 00 , A 01 F 12 / 60 . Zernozybralnyy kombayn / V.P. Makarov , ( SRSR ) . - №3632696 / 30-15 ; zayavl.12.08.83 ; opubl . 15.07.85 , Byul . №26 .
2. Gyachev L.V. Osnovy teorii bunkerov / L.V. Gyachev. - Novosibirsk: Izd-vo Novosibirsk universiteta, 1992. - 312s.
3. Dolgunin V.N. Bystryye gravitatsionnyye techeniya zernistykh materialov: tekhnika izmereniya, zakonomernosti, tekhnologicheskoye primeneniye. / V.N. Dolgunin, V.YA. Borshchev. - M .: «Izdatel'stvo Mashinostroyeniye-1», 2005. - 112s.
4. mekhaniko - tekhnolohichni Vlastyvosti silskohospodarskykh materialiv : Pidruchnyk / [ Tsarenko O.M. , Voytyuk D.H. , Shvayko V.M. ta in . ] ; Za red. S.S. Yatsuna . - K .: Meta , 2003. - 448 s .
5. Mekhanika vlazhnykh svodoobrazuyushchikh zernovykh materialov v bunkerakh. / [Bogomyagkikh V.A., Kunakov V.S., Voronoy N.S. i dr.]; podobshchey red. V.A Bogomyagkikh - Zernograd .: RFRIAMA, 2000. - 100s.
6. Litvinov A.I. Issledovaniye protsessa raboty vibrobunkera dlya zernouborochnogo kombayna: Avtoref. dis. na Soiskaniye uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.20.01. «Mekhanizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva» / Litvinov A.I. - Volgograd, 1962. - 24s.
7. Loveykin V.S. Analiz robochykh protsesiv vivantazhuvalnykh pristroyiv / Loveykin V.S. , Chovnyuk YU.V. , Shymko L.S. - Nizhyn : Vydavets PP Lysenko M.M. , 2010 - 168 s. : Il .

**ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОЧИМИ ПРОЦЕССАМИ ВЫГРУЗОЧНЫХ  
УСТРОЙСТВ УБОРОЧНЫХ МАШИН**

**Аннотация:** экспериментально установлена зависимость характеристик потока и объемов выгрузки зернового материала, скорости (ее составляющих) от механико-технологических свойств зерновых материалов растительного происхождения.

**Ключевые слова:** эксперимент, сыпучая среда, выгрузное устройство, сельскохозяйственные культуры, моделирование, самосвальный бункер.

**EFFICIENT MANAGEMENT WORK PROCESS OF MECHANISMS UNLOADING  
MACHINES FOR HARVESTING**

**Summary:** a method for unloading grain from material bins machines, based on the action of gravitational forces (by turning the storage bunker). Established that controlled continuous spiral grain materials with different mechanical and technological properties dumping hopper is the process of fast-moving particles of grain material inclined surface displacement. As a result of analysis of the aggregate data and observations of the trajectory of the grain material of major crops calculated mean value of the grain flow velocity  $v = 1,35 \text{ m / s}$ , subject to the angular velocity of rotation dumping hopper  $\omega = 0,0364 \text{ rad / s}$ , which corresponds to the time raising hopper 43s.

**Keywords:** experiment, granular medium unloading device, crops, modeling, Dump hopper.