

АНОТАЦІЯ

Кісь-Коркіщенко Л. В. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів завантаження ковшів зернових норій.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. – Державний біотехнологічний університет Міністерства освіти і науки України – Харків – 2021.

У зв'язку з поширенням обсягів вантажно-розвантажувальних робіт при виконанні різних технологічних операцій с зерновими матеріалами збільшується попит на високоефективні норії різної продуктивності та висоти. В процесі їх удосконалення, що до стабільності роботи та надійності були досягнуті значні результати за рахунок використання нових матеріалів та результатів науково-дослідних робіт. Особливе значення надавалося дослідженню процесів розвантаження, тому що вважалося, що втрати продуктивності були пов'язані з утворенням, так званого, зворотного сипу як в робочу так і холосту труби.

Однак до теперішнього часу проблемним залишається завдання дослідження процесу завантаження ковшів, від якого залежить продуктивність норії і сталість її роботи. Цій проблемі присвячено незначну кількість робіт, а отримані результати не відображають фізичну сутність процесу і не відповідають даним, отриманим в процесі експлуатації.

Незважаючи на простоту, процес має складний динамічний характер, що залежить не тільки від конструктивно-кінематичних параметрів завантаження, але і від маловивчених, специфічних фізико-механічних характеристик зернових матеріалів таких як: пружність шару, опірність зрушенню всередині матеріалу, пористість при різній щільності упаковки, коефіцієнтів тертя при русі по опорних поверхнях і при лавиноподібному витіканню по спусках. Визначення цих властивостей є актуальним завданням механіки сипучих матеріалів.

Дисертаційне дослідження присвячено вирішенню питань, пов'язаних з визначенням фізико-механічних властивостей сипучого зернового матеріалу і з процесами заповнення ковшів зернових норій при різних способах їх завантаження. Таким чином тема дисертаційної роботи є актуальною в науковому і прикладному відношенні, а результати роботи спряють розвитку зернової галузі сільського господарства та підвищення експортного потенціалу України.

Метою дослідження є підвищення продуктивності зернових норій із забезпеченням стабільності заповнення завантаження ковшів через обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів із урахуванням фізико-механічних властивостей зернових матеріалів.

Відповідно до поставленої мети виконано такі завдання:

- виконати аналітичне дослідження пружності зернового шару та його опору внутрішньому зсуву;
- провести аналітичне дослідження процесів заповнення ковшів при зачерпуванні з насипу, завантажені проти ходу та по ходу тягового елемента;
- теоретично дослідити опір зачерпуванню при різних режимах роботи норії;
- експериментально визначити коефіцієнт опору зсуву двома способами: за параметрами осесиметричного укусу та прямим зсувом;
- експериментально визначити коефіцієнт тертя зернового матеріалу пластиковими та сталевими поверхнями;
- визначити умови та параметри лавиноподібного руху шару зернового матеріалу по нахиленій поверхні розробленим експериментальним пристроєм.

Об'єктом дослідження є завантаження норійних ковшів з урахуванням фізико-механічних властивостей шару зернового матеріалу.

Відповідно, предметом дослідження є закономірності впливу конструктивно-кінематичних параметрів норій на завантаження ковшів зерновими матеріалами.

Методи дослідження, що застосувались у роботі є аналітичні дослідження з використанням методів теорії пружності, законів фізики та теоретичної механіки, планування експерименту що до визначення кількості повторень іспитів залежно від відносної похибки вимірювань та необхідного проценту надійності, методики графічної обробки даних іспитів, застосування розроблених пристроїв та сучасних вимірювальних приладів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше встановлено залежності дотичних напружень, кутових деформацій зернового шару та коефіцієнту опору зсуву від параметрів укусу, що враховують параметри внутрішнього зсуву; вперше аналітичними методами визначено коефіцієнт заповнення ковшів та коефіцієнти опору при зачерпуванні з насипу та завантажені по ходу і проти ході тягового елемента.

Отримав подальший розвиток метод визначення параметрів внутрішнього зсуву та граничних значень функції текучості зернових матеріалів і раціональних конструкційно-кінематичних параметрів заповнення ковшів, що на відміну від відомих враховує дотичні напруження, кутові деформації зернового шару та коефіцієнт опору;

Удосконалено метод розрахунку зернових норій, що на відміну від відомих враховує коефіцієнт заповнення ковшів при зачерпуванні з насипу та завантажені по ходу і проти ході тягового елемента.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що залежності отримані в процесі аналітичних та експериментальних досліджень, дозволяють визначити раціональні конструктивні і кінематичні параметри робочих органів, які забезпечують задану продуктивність та стабільність роботи норії.

Результати роботи та розроблені рекомендації можна використати, як на стадії проектування нових машин, так і при модернізації існуючих з метою підвищення їх продуктивності. Одержані результати роботи впроваджено у виробничій процес: при розробці норій продуктивністю 100-350 т/год і висотою 30-60 м на Карлівському машинобудівному заводі та Харківському

заводі елеваторного обладнання; для налаштування норій на роботу в оптимальному режимі на ООО СП «Білий колодязь». Результати роботи випроваджено у навчальний процес Державного біотехнологічного університету у наступних дисциплінах: «Організація технологічного процесу елеваторної промисловості», «Експлуатація та обслуговування машин ПХВ», «Проектування підприємств зберігання і переробки зерна», «Основи зберігання і переробки зерна».

В дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-прикладної задачі, що виявляється в обґрунтуванні конструктивно-кінематичних параметрів завантаження ковшів зернових норій через із урахуванням фізико-механічних властивостей зернових матеріалів. Це дозволило підвищити продуктивність зернових норій та забезпечити стабільність заповнення завантаження ковшів.

Основні наукові результати виконаних досліджень полягають в наступному:

Проведеним узагальненням результатів відомих досліджень встановлено, що залишається не вирішеним завдання підвищення продуктивності зернових норій із забезпеченням стабільності заповнення завантаження ковшів із урахуванням фізико-механічних властивостей зернових матеріалів. Статистичні методи визначення ефективних кутів внутрішнього тертя не відображають повністю процес взаємодії часток при зсуві. Процес зачерпування розглядався, як схема черпання одним ковшем, у той час як при роботі норії це реалізується послідовно групою ковшів з зовсім іншою схемою їх заповнення.

Вирішено науково-прикладну задачу, спрямовану на підвищення продуктивності зернових норій та забезпеченням стабільності заповнення завантаження ковшів шляхом обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів. Встановлено залежності дотичних напружень, кутових деформацій зернового шару та коефіцієнту опору зсуву від параметрів укусу,

що на відміну від відомих враховують параметри внутрішнього зсуву. Аналітичними методами визначено коефіцієнт заповнення ковшів та коефіцієнтів опору при зачерпуванні з насипу та завантажені по ходу і проти ході тягового елемента, що враховують що на відміну від відомих враховує дотичні напруження, кутові деформації зернового шару та коефіцієнт опору.

Встановлено, що пружність і опір зсуву визначається необхідністю подолання сил від дії ортогональних дотичних напружень, внаслідок кутової деформації структури укладання зернин і дотичних напружень тертя кочення при виході зернин із зачеплення. Значення відносної кутової деформації зсуву Y для пшениці $Y = 0,520$; проса – 0,492; гороху – 0,487; сої – 0,477; ячменю – 0,563; вівсу – 0,446; жита – 0,590; гречки – 0,523; кукурудзи – 0,580; соняшнику – 0,450.

При запуску норії після завантаження бункера і утворення насипу відбувається заповнення ковшів, занурених в насип. Встановлено, що коефіцієнт зачерпування складає $K_{зач} = 2,416$, а загальний опір зачерпування – $F_{ds} = 279,6$ Н. Запуск норії при порожньому бункері призводить до його тривалого заповнення і до тривалої роботи норії зі зниженою продуктивністю. Коефіцієнт зачерпування при сталому режимі роботи норії складає – $K_{зач} = 1,748$; опір зачерпування $F_{dp} = 202,2$ Н. Збільшення коефіцієнтів зачерпування при збільшенні швидкостей руху носить нелінійний зростаючий характер. При швидкостях понад 5 м/с різко зростає питома потужність приводу.

Всі зернові матеріали з вологістю $W < 12,5\%$ необхідно завантажувати в ковші по ходу. Пшениця з оптимальною вологістю 14,5% і вище може завантажуватися проти ходу. Зерно кукурудзи має більш пружну і крихку оболонку і м'який ендосперм, тому її схильність до травмування дуже велика. Навіть при оптимальній вологості кукурудзи 14% завантаження необхідно проводити по ходу. Крім того робота норії повинна відбуватися при швидкостях 0,7-1,2 м/с для сухого зерна ($W < 12\%$) та 1,2-2 м/с та для зерна з вологістю 14%

та вище.

При прямому падаючому потоці, через розширення живильного потоку, особливо для кулеподібних зернин (горох, соя), при лавиноподібному русі за рахунок відскоку, значна частина зерна може не потрапити в ковш. Коефіцієнт розширення потоку досягає значень $K_H = 1,89-2,9$ для різних матеріалів, при косому падінні $K_H = 1,15-1,2$, в зв'язку з цим пряму подачу не рекомендовано для сировини з вологістю $W < 12\%$ та для кулеподібних зернин.

Експериментальними дослідженнями лавиноподібного потоку встановлено, що не рекомендується застосовувати пряму подачу: для кулеподібних крупних зерен (гороху, сої та ін.); для сипких матеріалів з вологістю до 12 %. Косу подачу застосовувати обов'язково для тягових органів з кількістю ковшів на 1 м, що наближається до максимально допустимого.

Результати дослідження впроваджено на ПрАТ «Карлівський машинобудівний завод» (м. Карлівка) з економічним ефектом від впровадження у серійне виробництво 105 тис. грн. та ООО СП «Білий колодязь» з економічним ефектом 120 тис. грн. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Державного біотехнологічного університету (ХНТУСГ ім. П. Василенка).

Ключові слова: норія, ковш, коефіцієнт опору зсуву, дотичне напруження, пористість, коефіцієнт тертя, коефіцієнт заповнення, коефіцієнт зачерпування, завантажувальний лоток, параметри витікання.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Кісь Л. В. Енергетичні втрати в стрічково-барабанних механізмах норій-елеваторів. *Машинобудування. Збірник наукових праць УІПА*, 2017. Вип.

20. С. 6–10.

2. Лукьянов И. М., Кись Л. В., Бурда Н. В., Осика А. Н. К определению тяговой способности ленточно-барабанных механизмов норий с различными типами лент. *«Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв»*. Вісник ХНТУСГ. Харків: ХНТУСГ, 2018. Вип. 194. С. 78–89.

3. Oscillations with positional friction under mechanicals hock / [Vasyl Olshansky, Oleksii Bogomolov, Viktor Irklienko, Lilia Kys-Korkyshenko]. – *TeKa. Quarterly Journal of Agri-food Industry*, 2019. Vol. 19. № 1. P. 49–58.

4. V. I. Irklienko, O. V. Bogomolov, I. M. Lukivanov, L. V. Kis-Korkishchenko, P. S. Syromiatnikov. Developing environmentally friendly technology for wheat grain processing. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2021. Vol. 11(2). PP. 352-359. doi: 10.15421/2021_122.

5. Кись-Коркіщенко Л. В. Про пружні властивості та опір зсуву шару зернових матеріалів. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*, 2021. № 23. 2021 р. С. 65–69.

6. Богомолов О. В., Лук'янов І. М., Кись-Коркіщенко Л. В. До визначення конструктивно-кінематичних параметрів завантаження ковшів норій проти ходу робочого елемента. *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2019. С. 66–68.

7. Пат. 13397 Україна, МПК В65G 23/04 (2006.01), В65G 17/36 (2006.01). Ківшевий елеватор / Богомолов О. В., Лук'янов І. М., Кись Л. В.; заявник Лук'янов І. М. – № u 2018 05427; заяв. 16.05.2018; надрук. 10.12.18, Бюл. № 23.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Богомолов О. В., Лук'янов І. М., Кись Л. В. Особливості деформування та руйнування сипких матеріалів при ударі. *Тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурсозбереження та*

енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії» (22-24 листопада 2017, м. Харків). Харків: НТУ ХПИ, 2017. С. 19–20.

9. Кись Л. В., Богомолов О. О. К вопросу о загрузке сельскохозяйственных зерновых ковшовых элеваторов. *Матеріали XIV-го міжнародного форуму молоді. «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі» (5-6 квітня 2018 р., м. Харків). Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2018. С. 91.*

10. Богомолов О. В., Лук'янов І. М., Кись Л. В., Богомолов О. О. Підвищення ефективності роботи зернових норій. *Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність (м. Харків). Харків: ХДУХТ, 2018. С. 309–310.*

11. Богомолов О. В., Кись-Коркіщенко Л. В. Вплив пружних властивостей та опору зсуву шарів зернових матеріалів на зачерпування. *Тези доповідей XV-го міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі» (4-5 квітня 2019 р., м. Харків). Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2019. С. 42.*

12. Богомолов О. В., Лук'янов І. М., Кись-Коркіщенко Л. В. Заповнення норійних ковшів при зачерпуванні зернового матеріалу. *Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» (4-6 вересня 2019 р., м. Харків – м. Мелітополь – с. Кирилівка). ХДУХТ, ТДАТУ, 2019. С. 21–23.*

13. Богомолов О. В., Лук'янов І. М., Кись-Коркіщенко Л. В. Особливості структурних деформацій шару зернових матеріалів і їх вплив на опір зрушення. *Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки технології та процесів переробних і харчових виробництв» (7-8 листопада 2019 р., м. Харків). Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2019.*

С. 61–62.

14. Богомоллов О. В., Кісь-Коркіщенко Л. В. Визначення конструктивно-кінематичних параметрів завантаження зернових норій проти ходу. *Тези доповідей XVI-го міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі» (25-26 березня 2020 р., м. Харків)*. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2020. С. 29.

15. Лук'янов І. М., Кісь-Коркіщенко Л. В., Годуненко М. Ю., Шмуляк А. В. Скінчено-елементна модель стрічкового ківшевого елеватора для сипких матеріалів. *Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки технології та процесів переробних і харчових виробництв» (5-6 листопада 2020 р., м. Харків)*. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2020. С. 47–48.

Праці, які додатково відображають наукові матеріали дисертації:

16. Species composition of macrobiotic of cows udder and raw milk quality at mastitis / A. P. Paliy, Y. S. Ulko, O. O. Bogomolov, L. V. Kis-Korkishchenko, M. D. Kambur, A. A. Zamazyi, N. M. Brit, I. M. Boiko, I. V. Grebnova, Y. O. Kovalchuk, A.P.Paliy. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020. 10(3). P. 78–85. doi: 10.15421/2020_171.

17. Моделювання процесу здрібнення зернівки у робочий камері здрібнювача сколювальної дії / Богомоллов О. В., Ірклієнко В. І., Завгородній О. І., Нетецький Л. Г., Кісь-Коркіщенко Л. В. *Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*, 2021. №23. С. 194–199.

ABSTRACT

Kis-Korkishchenko L. V. Substantiation of structural and kinematic parameters of loading buckets of grain elevators.

Dissertation for the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 133 Industrial Engineering. – State Biotechnological University of the Ministry of Education and Science of Ukraine – Kharkiv – 2021.

Due to the expansion of the volume of loading and unloading operations in the performance of various technological operations with grain materials, the demand for highly efficient bucket elevator of different productivity and height is increasing. In the process of their improvement, to the stability of work and reliability were achieved significant results through the use of new materials and research results. Particular importance was attached to the study of unloading processes, because it was believed that the loss of productivity was associated with the formation of the so-called backfill in both the working and idle pipes.

However, to date, the problem remains the study of the process of loading buckets, which depends on the productivity of the bucket elevator and the sustainability of its work. A small amount of work is devoted to this problem, and the results obtained do not reflect the physical nature of the process and do not correspond to the data obtained during operation.

Despite the simplicity, the process has a complex dynamic nature, which depends not only on the structural and kinematic parameters of the load, but also on poorly studied, specific physical and mechanical characteristics of grain materials such as layer elasticity, resistance to shear inside the material, porosity at different packing densities. Coefficients of friction during movement on bearing surfaces and at avalanche-like flow on descents. Determining these properties is an urgent task in the mechanics of bulk materials.

The dissertation research is devoted to the decision of the questions connected with definition of physical and mechanical properties of loose grain material and

with processes of filling of ladles of grain burrows at various ways of their loading. Thus, the topic of the dissertation is relevant in scientific and applied terms, and the results of the work will help the development of the grain sector of agriculture and increase the export potential of Ukraine.

The purpose of the study is to increase the productivity of grain burrows with ensuring the stability of the filling of the buckets through the justification of structural and kinematic parameters, taking into account the physical and mechanical properties of grain materials.

In accordance with the goal the following tasks were performed:

- perform an analytical study of the elasticity of the grain layer and its resistance to internal shear;
- to conduct an analytical study of the processes of filling buckets when scooping from the embankment, loaded against the course and along the traction element;
- theoretically investigate the resistance to scooping in different modes of operation of the bucket elevator;
- experimentally determine the coefficient of shear resistance in two ways: by the parameters of the axisymmetric slope and direct shear;
- experimentally determine the coefficient of friction of grain material with plastic and steel surfaces;
- to determine the conditions and parameters of avalanche-like movement of the layer of grain material on the inclined surface by the developed experimental device.

The object of the study is the loading of bucket elevator buckets, taking into account the physical and mechanical properties of the layer of grain material.

Accordingly, the subject of the study is the patterns of influence of structural and kinematic parameters of bucket elevator on the loading of buckets with grain materials.

The research methods used in the work are analytical studies using the

methods of elasticity theory, laws of physics and theoretical mechanics, experiment planning to determine the number of test repetitions depending on the relative measurement error and the required percentage of reliability, methods of graphical processing of exam data, application of developed devices and modern measuring instruments.

The scientific novelty of the obtained results is that for the first time the dependences of the tangential stresses, angular deformations of the grain layer and the shear resistance coefficient on the slope parameters, which take into account the parameters of the internal shear; for the first time the coefficient of filling of buckets and coefficients of resistance at scooping from an embankment and loaded on the course and against a course of a traction element are defined by analytical methods.

The method of determining the parameters of internal shear and limit values of the yield strength of grain materials and rational structural and kinematic parameters of bucket filling, which, in contrast to the known ones, takes into account tangential stresses, angular deformations of the grain layer and coefficient of resistance; the method of calculating grain burrows has been improved, which, in contrast to the known ones, takes into account the coefficient of bucket filling when scooping from the embankment and loaded along and against the traction element.

The main scientific results of the research are as follows:

The generalization of the results of known studies shows that the problem of increasing the productivity of grain burrows with ensuring the stability of the loading of buckets, taking into account the physical and mechanical properties of grain materials. Statistical methods for determining the effective angles of internal friction do not fully reflect the process of interaction of particles during shear. The scooping process was considered as a scheme of scooping by one bucket, while in the work of the bucket elevator it is implemented sequentially by a group of buckets with a completely different scheme of their filling.

The scientific and applied problem aimed at increasing the productivity of grain burrows and ensuring the stability of filling the bucket loading by

substantiating the structural and kinematic parameters. The dependences of the tangential stresses, angular deformations of the grain layer and the shear resistance coefficient on the slope parameters are established, which, in contrast to the known ones, take into account the internal shear parameters. Analytical methods determine the fill factor of buckets and coefficients of resistance when scooping from the embankment and loaded along and against the traction element, taking into account that in contrast to the known tangential stresses, angular deformations of the grain layer and the coefficient of resistance.

It is established that the elasticity and shear resistance are determined by the need to overcome forces from the action of orthogonal tangential stresses due to angular deformation of the grain stacking structure and tangential rolling friction stresses at the exit of grains from gearing. The value of the relative angular deformation of the shear Y for wheat $Y = 0.520$; millet – 0.492; peas – 0.487; soybeans – 0.477; barley – 0.563; oats – 0.446; rye – 0.590; buckwheat – 0.523; corn – 0.580; sunflower – 0.450.

When starting the bucket elevator after loading the hopper and the formation of the embankment is filling the buckets, immersed in the embankment. It is established that the scooping factor is $K_{ZACH} = 2,416$, and the total scooping resistance is $F_{ds} = 279.6$ N. Starting the noria with an empty hopper leads to its long-term filling and long-term operation of the bucket elevator with reduced productivity. The coefficient of scooping at a constant mode of operation of the bucket elevator is – $K_{ZACH} = 1,748$; scooping resistance $F_{dp} = 202.2$ N. The increase in scooping coefficients with increasing speeds is nonlinear increasing. At speeds above 5 m / s, the specific power of the drive increases sharply.

All grain materials with a moisture content of $W < 12.5\%$ must be loaded into the bucket along the way. Wheat with an optimum humidity of 14.5% and above can be loaded against the stroke. Corn grain has a more elastic and fragile shell and soft endosperm, so its susceptibility to injury is very high. Even at optimum humidity of corn of 14% of loading it is necessary to spend on the move. In addition, noria

operation should occur at speeds of 0.7–1.2 m/s for dry grain ($W < 12\%$) and 1.2–2 m/s and for grain with a moisture content of 14% and above.

With direct falling flow, due to the expansion of the nutrient flow, especially for spherical grains (peas, soybeans), with avalanche-like movement due to rebound, a significant part of the grain may not get into the bucket. The flow expansion coefficient reaches the values of $K_N = 1.89–2.9$ for different materials, with an oblique drop of $K_N = 1.15–1.2$, in this regard, direct feed is not recommended for raw materials with a humidity of $W < 12\%$ and for spherical grains.

Experimental studies of avalanche-like flow have shown that it is not recommended to use direct feed: for large spherical grains (peas, soybeans, etc.); for bulk materials with humidity up to 12%. The oblique feed must be used for traction bodies with the number of buckets per 1 m, which is close to the maximum allowable.

The results of the study were implemented at PJSC "Karliv Machine-Building Plant" (Karlivka) with the economic effect of the introduction into serial production of 105 thousand UAH. and LLC JV "White Well" with an economic effect of 120 thousand UAH. The results of the work were introduced into the educational process of the State Biotechnological University (KhNTUSG named after P. Vasylenko).

Key words: bucket elevator, ladles, shear resistance coefficient, shear stresses, porosity, friction coefficient, filling factor, scooping coefficient, loading chute, outflow parameters.