

*Results over of research of technical state of details as eccentric that widely apply in machines for processing of agricultural raw material are brought in paper. Technology renewal of cast-iron parts – eccentric persons is improved with use of defense in natural gas at its burning together with oxygen.*

***Eccentric, wear, coefficients, spoilage, fitness, surfacing, nozzle, gas-ring.***

УДК 621.867.13

## **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ**

***А.В. Гудова, кандидат технічних наук  
О.Ю. Ткаченко, магістр***

*Наведено основні результати експериментальних досліджень динаміки руху скребкового конвеєра. Визначено залежність продуктивності, споживаної потужності та енергоємності транспортування зерна від параметрів конвеєра.*

***Динаміка руху, енергоємність транспортування, енерговитрати.***

**Постановка проблеми.** В процесі роботи скребкових конвеєрів у тяговому органі та елементах приводу виникають значні динамічні навантаження, що обумовлені пуском чи гальмуванням конвеєра, раптовим заклинюванням тягового органу, або в період усталеного руху. Теоретичними дослідженнями встановлено, що такі динамічні навантаження спричиняють виникнення коливальних процесів зі значною зміною швидкості та прискорення [7,6]. У зв'язку з цим нами проведена оптимізація режиму руху конвеєра, що дозволяє мінімізувати коливання в ланках приводного механізму та гнучкому тяговому органі [9].

Для підтвердження адекватності отриманих в попередніх дослідженнях теоретичних даних динаміки руху скребкового конвеєра проведено експериментальні дослідження за умови роботи електродвигуна на природній механічній характеристиці (реальний режим роботи конвеєра).

© А.В. Гудова, О.Ю. Ткаченко, 2014

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженню динамічних процесів, що виникають в конвеєрах з ланцюговим тяговим органом в період пуску та усталеного руху та побудові їх математичних моделей присвячено роботи [4, 11, 12].

Питання оптимального керування рухом механізмів різного призначення висвітлено в роботах [2, 5]. В дослідженні [8] наведено методику розв'язку оптимізаційних задач руху механічних систем за допомогою прямого варіаційного методу. Автори мінімізували середньоквадратичне значення динамічної складової приводного зусилля механічної системи.

Вирішенню задач використання частотно-регульованого асинхронного електропривода для підвищення надійності, безпечності функціонування скребкових конвеєрів присвячено роботи [1, 3].

**Метою досліджень** є встановлення експериментальних залежностей впливу параметрів скребкового конвеєра (факторів) на продуктивність, споживану потужність, енергоємність транспортування зерна; порівняння експериментальних залежностей динаміки руху конвеєра з теоретичними з метою встановлення адекватності теоретичних досліджень.

**Результати досліджень.** Для порівняння експериментальних даних динаміки руху скребкового конвеєра з теоретичними побудовано графіки кутової швидкості та прискорення приводного та натяжного валів скребкового конвеєра (рис. 1). Суцільна чорна лінія відображає кінематичні функції отримані теоретичним шляхом, сіра – відповідні кінематичні функції отримані експериментально.

Аналізуючи графіки порівняння кінематичних функцій скребкового конвеєра отриманих теоретичним шляхом та експериментально (рис. 1) видно, що вихід конвеєра на усталену швидкість відбувається за однаковим законом, але за експериментальним законом час виходу на усталену швидкість на 0,03с більший, ніж за теоретичним.

На графіках кутової швидкості (рис. 1,б) та прискорення (рис. 1,г) натяжного валу після досягнення конвеєром усталеної швидкості за експериментальними даними спостерігаються деякі залишкові коливання. Це може бути обумовлено тим, що математична модель скребкового конвеєра враховує не всі фактори, що впливають на динаміку руху конвеєра.

Також експериментальними дослідженнями встановлено, що характер зміни швидкості та прискорення приводного і натяжного валів (рис. 1) має виражений коливальний характер, що підтверджує необхідність проведення оптимізації режиму пуску скребкового конвеєра для мінімізації таких коливань.

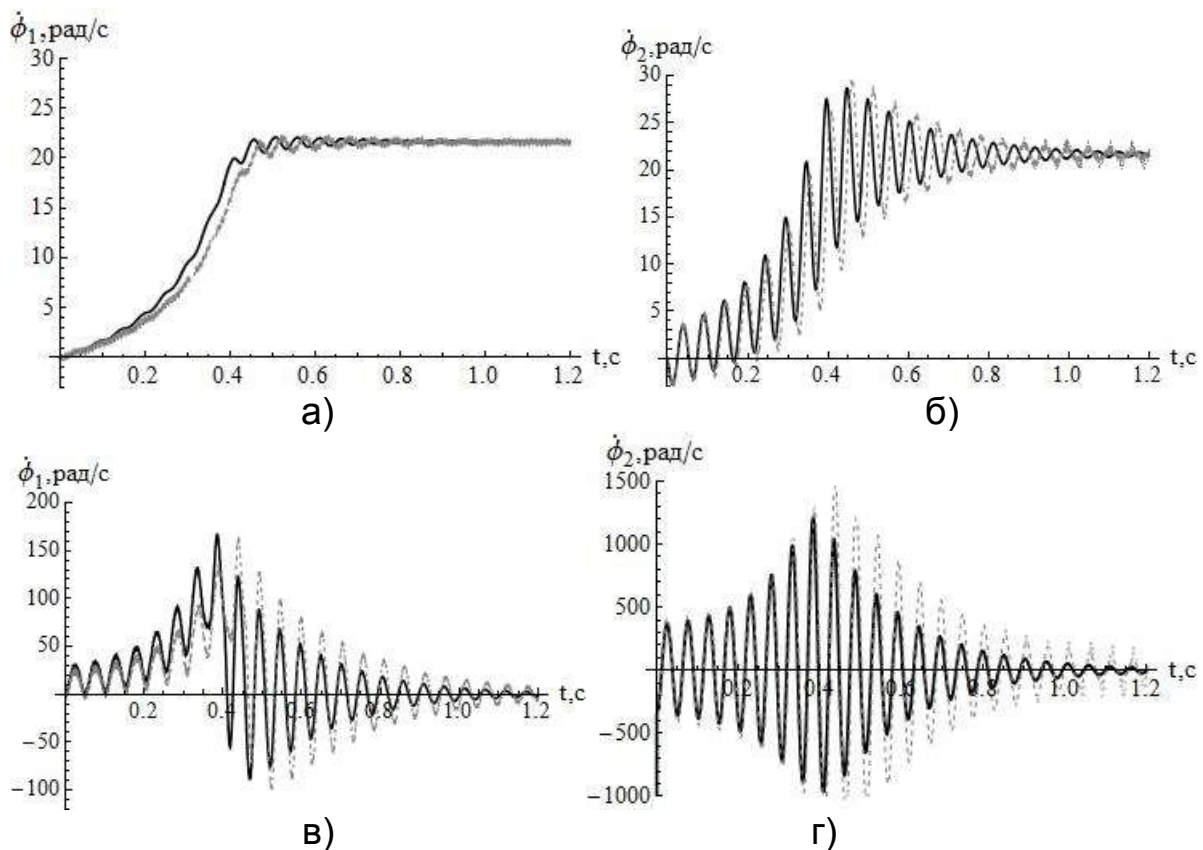


Рис. 1. Графіки порівняння теоретичних та експериментальних даних: а) кутової швидкості  $\dot{\phi}_1$  приводного валу; б) кутової швидкості  $\dot{\phi}_2$  натяжного валу конвеєра; в) кутового прискорення  $\ddot{\phi}_1$  приводного валу; г) кутового прискорення  $\ddot{\phi}_2$  натяжного валу конвеєра.

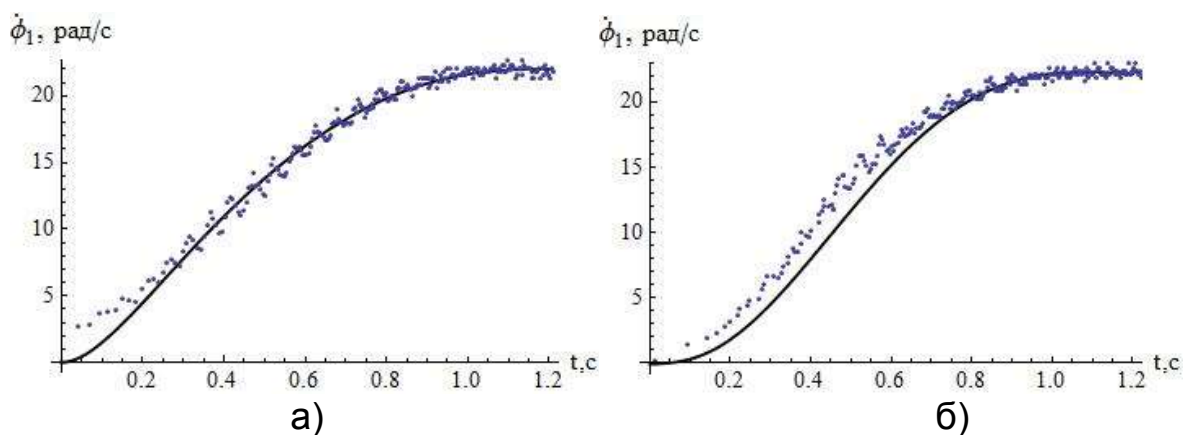


Рис. 2. Графіки порівняння теоретичних та експериментальних даних зміни кутової швидкості приводного валу скребкового конвеєра за критеріями оптимізації середньоквадратичного значення: а) швидкості зміни зусилля; б) прискорення зміни зусилля в робочій вітці конвеєра між вантажем та натяжною зірочкою.

Наведемо графіки порівняння законів зміни кутової швидкості приводного валу скребкового конвеєра за оптимальними законами,

які отримані теоретичним шляхом та експериментально. На рис. 2 лінія чорного кольору відображає теоретично отриманий оптимальний закон руху, а лінія сірого – експериментально. Аналізуючи отримані графіки можна зробити висновок, що реалізація оптимального режиму руху скребкового конвеєра за допомогою частотного перетворювача відбувається досить точно. Найкраще співпадіння теоретичних та експериментальних даних дав критерій оптимізації середньоквадратичного значення швидкості зміни зусилля в робочій вітці конвеєра між вантажем та натяжною зірочкою (рис. 2, а), коефіцієнт варіації складає 4,97%. З графіків рис. 2 видно, що оптимізація режиму пуску дозволяє значно зменшити амплітуду коливань в ланках конвеєра.

Порівнюючи графіки на рис. 1 а,б і рис. 2 видно, що при реальному режимі руху конвеєр виходить на усталену швидкість за 0,4с, в той час як при оптимальному – за 1с. Такий плавний процес дозволяє зменшити амплітуду коливань, особливо це помітно для натяжного валу. Максимальна кутова швидкість при реальному режимі складає 29 рад/с, а при оптимальному – 21,5 рад/с. Це свідчить про те, що оптимізація режиму пуску дозволяє зменшити коливальний характер руху конвеєра на 25%, а значить і динамічні навантаження.

Друга серія дослідів передбачала встановлення залежності продуктивності  $Q$  (т/год), споживаної потужності  $P$  (кВт) та енергоємності транспортування зерна скребковим конвеєром  $E$  (кВт·год/т) від таких факторів: кута нахилу конвеєра до горизонту  $\beta$  (град.), швидкості руху тягового органу  $v$  (м/с), коефіцієнту опору руху вантажу по жолобу з врахуванням форми скребка  $\omega_{on}$  (вантаж, що транспортується – кукурудза). Експерименти проведено за планом Бокса-Бенкена [10].

Скребкові конвеєри типу ТС-40 можуть бути як горизонтальними так і похилими (до 52°). Однак, при максимальному куті нахилу значно падає продуктивність, що обумовлено зменшенням коефіцієнту заповнення міжскребкового простору. Тому для дослідження оберемо середній діапазон значень кута нахилу конвеєра до горизонту  $\beta$  від 10° до 30°. Лінійна швидкість конвеєра  $v$  варіюється в межах 0,7 – 1,5 м/с. Для коефіцієнту опору руху вантажу (кукурудза) по жолобу з урахуванням форми скребків та матеріалу жолоба і скребків використано такі значення: для контактної поверхні сталь-сталь  $\omega_{on}=0,6$ ; для контактної поверхні пластик-пластик (прямі скребки)  $\omega_{on}=0,52$ ; для контактної поверхні пластик-пластик (ввігнуті скребки)  $\omega_{on}=0,44$ .

Запишемо кодування:

$$x_1 = \frac{\beta - 20}{10}; \quad x_2 = \frac{\nu - 1}{0,3}; \quad x_3 = \frac{\omega_{on} - 0,52}{0,08}. \quad (1)$$

Наведемо результати кодування факторів в таблиці 1.

### 1. Результати кодування факторів.

Найменування факторів	Рівні і значення факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	1	
Кут нахилу конвеєра $\beta$ , град ( $x_1$ )	10	20	30	10
Усталена швидкість транспортування $\nu$ , м/с ( $x_2$ )	0,7	1	1,3	0,3
Коефіцієнт опору руху вантажу по жолобу ( $x_3$ )	0,44	0,52	0,6	0,08

Отримано математичну залежність взаємодії продуктивності  $Q$ , т/год з кодованими факторними ознаками, яка має такий вигляд:

$$y = 43,667 - 1,387x_1 + 10,587x_2 - 3,6x_3 - 0,3x_1x_3 + 0,125x_1x_3 - 0,875x_2x_3 + 0,317x_1^2 - 1,883x_2^2 + 1,492x_3^2. \quad (2)$$

Результати проведених досліджень показано на рис. 3 у вигляді поверхонь відгуку впливу змінних закодованих факторів на продуктивність.

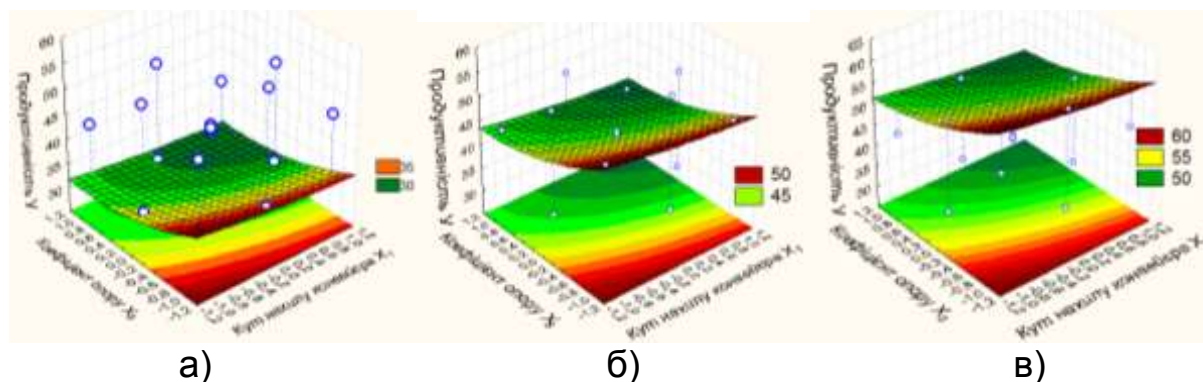


Рис. 3. Залежність продуктивності скребкового конвеєра від коефіцієнту опору руху і кута нахилу при швидкості транспортування: а)  $\nu = 0,7$  м/с; б)  $\nu = 1$  м/с; в)  $\nu = 1,3$  м/с.

Аналіз взаємного впливу коефіцієнту опору та кута нахилу (рис. 3) показує, що максимальне значення продуктивності складає 60 т/год і досягається при швидкості транспортуванні 1,3 м/с, куті нахилу конвеєра до горизонту  $10^\circ$  та при мінімальному коефіцієнті опору  $\omega_{on} = 0,44$ , що відповідає контактній поверхні пластик-пластик та ввігнутій формі скребка. Це пояснюється тим, що така форма скребка забезпечує більший коефіцієнт заповнення міжскребкового простору.

Дослідження потужності  $P, \text{кВт}$  споживаної електродвигуном скребкового конвеєра при транспортуванні зерна (на прикладі кукурудзи) проводилось при таких же змінних факторах, як і для продуктивності та отримано таку математичну модель взаємодії факторних ознак другого порядку:

$$y = 1,863 + 0,06x_1 + 0,1687x_2 + 0,1462x_3 + 0,0425x_1x_2 + 0,0125x_1x_3 + 0,045x_2x_3 - 0,0267x_1^2 - 0,0041x_2^2 - 0,024x_3^2. \quad (3)$$

Результати проведених досліджень показано на рис. 4, на якому представлено поверхні відгуку впливу змінних закодованих факторів на споживану потужність скребкового конвеєра.

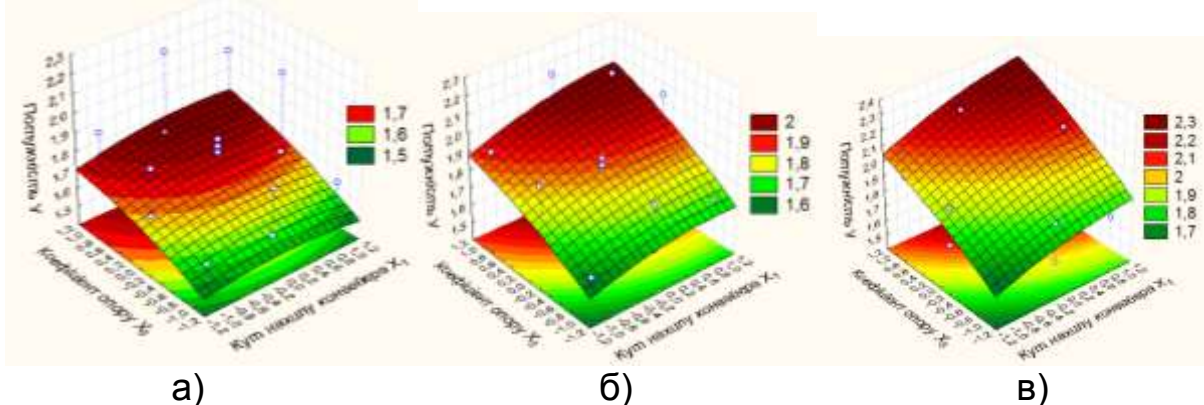


Рис. 4. Залежність споживаної потужності скребкового конвеєра від коефіцієнту опору руху і кута нахилу при швидкості транспортування: а)  $v = 0,7 \text{ м/с}$ ; б)  $v = 1 \text{ м/с}$ ; в)  $v = 1,3 \text{ м/с}$ .

Аналізуючи рис. 4 встановлено, що більшення швидкості транспортування до  $v = 1,3 \text{ м/с}$  призводить до збільшення споживаної потужності на  $0,35 \text{ кВт}$ . Зі збільшенням кута нахилу конвеєра до  $\beta = 30^\circ$  та коефіцієнту опору до  $\omega_{on} = 0,6$ , витрати потужності зростають на  $13\%$ . Суттєвому зниженню енерговитрат (до  $15\%$ ) сприяє виготовлення поверхні жолоба з високоміцного поліетилену та застосування ввігнутої форми скребка. Така форма скребка забезпечує рівномірний розподіл навантаження на скребок по всій його поверхні, а отже зменшується і тяговий опір.

Проаналізовано питому енергоємність транспортування зерна  $E, \text{кВт} \cdot \text{год}/\text{т}$  скребковим конвеєром. На рис. 5 представлено поверхні відгуку впливу змінних закодованих факторів (кута нахилу  $\beta$ , швидкості транспортування  $v$  та коефіцієнту опору  $\omega_{on}$ ) на питому енергоємність. Отримано таку математичну модель взаємодії вище зазначених факторних ознак другого порядку:

$$y = 0,0427 + 0,0027x_1 - 0,007x_2 + 0,0067x_3 + 0,00048x_1x_2 + 0,0006x_1x_3 - 0,00028x_2x_3 - 0,0007x_1^2 + 0,0035x_2^2 - 0,0014x_3^2. \quad (4)$$



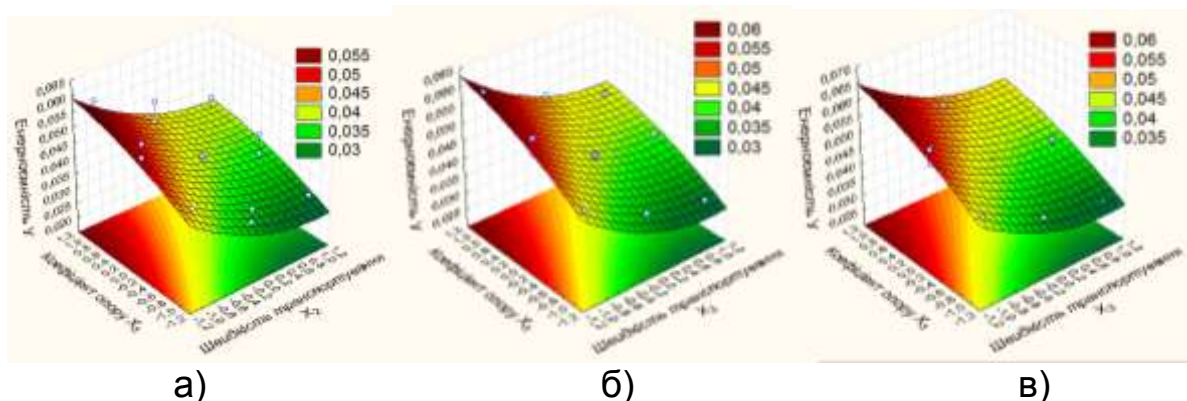


Рис. 5. Залежність енергоємності транспортування зерна скребковим конвеєром від коефіцієнту опору руху і швидкості транспортування при куті нахилу: а)  $\beta = 10^\circ$ ; б)  $\beta = 20^\circ$ ; в)  $\beta = 30^\circ$ .

З графіків на рис. 4 встановлено, що максимальне значення енергоємності складає 0,065 кВт·год/т при коефіцієнті опору  $\omega_{on} = 0,6$ . Застосування скребка розробленої форми з високоміцного поліетилену з коефіцієнтом опору руху  $\omega_{on} = 0,44$  дозволяє зменшити енергоємність транспортування на 30%. Зі збільшенням швидкості транспортування збільшується продуктивність, а отже енергоємність зменшується, тому мінімальне її значення знаходиться в межах 0,03–0,035 кВт·год/т при  $v = 1,3 \text{ м/с}$ . Зміна кута нахилу конвеєра до горизонту від  $10^\circ$  до  $30^\circ$  збільшує енергоємність транспортування на 5%.

**Висновок.** Експериментальними дослідженнями підтверджено адекватність обраної математичної та динамічної моделей руху скребкового конвеєра. Підтверджено позитивний ефект від застосування керованого приводу за допомогою частотного перетворювача. Встановлено вплив кута нахилу конвеєра до горизонту  $\beta$  (град.), швидкості руху тягового органу  $v$  (м/с), коефіцієнту опору руху вантажу по жолобу з врахуванням форми скребка  $\omega_{on}$  (вантаж, що транспортується – кукурудза) на продуктивність, споживану потужність, енергоємність транспортування зерна.

### Список літератури

1. Бабокин Г.И. Автоматизированный электропривод конвейеров / Г.И. Бабокин, В.И. Шуцкий, Т.В. Насонова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2003. – №10. – С. 240–241.
2. Григоров О. Оптимальное керування рухом механізмів вантажопідйомних машин / О. Григоров, В. Ловейкін. – К.: Наука, 1997. – 262 с.
3. Каширских В.Г. Управление пуском одноприводного скребкового конвейера / В.Г. Каширских, С.С. Переверзев // Вестник Кузбасского ГТУ. – 2005. – № 5. – С. 79–82.

4. Кондрахин В.П. Математическая модель для исследования нагрузок в двухскоростном многодвигательном приводе и тяговом органе скребкового забойного конвейера / В.П. Кондрахин, А.А. Мельник // Наукові праці ДонНТУ. – 2008. – Вип. 16 (142), Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк. – С. 132–140.
5. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин / В.С. Ловейкин. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
6. Ловейкін В.С. Багатомасова модель динаміки руху скребкового конвеєра з урахуванням дисипативних сил / В.С. Ловейкін, О.Ю. Костина // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). ПолтНТУ. – 2012. – Вип. 1(31). – С. 35–43.
7. Ловейкін В.С. Дослідження динаміки пуску скребкового конвеєра зі змінним навантаженням в процесі пуску / В.С. Ловейкін, О.Ю. Костина // Motrol. – 2011. – 13В. – С. 42–48.
8. Ловейкін В.С. Оптимізація перехідних режимів руху механічних систем прямим варіаційним методом / Ловейкін В.С., Ловейкін А.В., Ромасевич Ю.О. // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – №1. – С. 7–13.
9. Ловейкін В.С. Оптимізація режиму пуску скребкового конвеєра / В.С. Ловейкін, О.Ю. Костина // Вісник тернопільського національного технічного університету. – 2012. – №1(65). – С. 64–69.
10. Некомпозиционные планы и их применение [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://mdor.sourceforge.net/help\\_pe/index\\_ru.html](http://mdor.sourceforge.net/help_pe/index_ru.html) – Назва з екрану.
11. Хорольський І.М. Динаміка ланцюгових систем і замкнутих контурів машин неперервного транспорту / І.М. Хорольський. – Львів: Наука, 1999. – 194 с.
12. Чугреев Л.И. Динамика конвейеров с цепным тяговым органом / Л.И. Чугреев. – М.: Недра, 1976. – 162 с.

*Приведены основные результаты экспериментальных исследований динамики движения скребкового конвейера. Определенно зависимость производительности, потребляемой мощности и энергоемкости транспортировки зерна от параметров конвейера.*

***Динамика движения, энергоемкость транспортировки, энергозатраты.***

*The main results of pilot studies of movement dynamics of scraper conveyor are given. Dependence of productivity, power consumption and power consumption of transportation of grain on conveyor parameters is defined.*

***Movement dynamics, power consumption of transportation, energy consumption.***