

УДК 621.867.133
© 2017

Бурлака О. А., кандидат технічних наук
Полтавська державна аграрна академія

Яхін С. В., кандидат технічних наук
Полтавська державна аграрна академія

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНА У ЕЛЕВАТОРІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ

Рецензент – доктор технічних наук, професор В. П. Дмитриков

Виявлені недоліки існуючих конструкцій елеваторів зернозбиральних комбайнів типу КЗС-9-1, такі як: неповнота відцентрового розвантаження, підвищені енергетичні витрати на транспортування, підвищена ступінь подрібнення зерна під час збирання мало-врожайних сільськогосподарських культур. Теоретичні дослідження процесу розвантаження зерна враховують коливання ланцюга елеватора та обґрунтовують пропозицію збільшення сектору розвантаження. Така пропозиція узгодить час проходження зерна по скребку з часом проходження скребка в зоні розвантаження.

Ключові слова: елеватор, зерновий потік, сектор розвантаження, колова циркуляція.

Постановка проблеми. Якість транспортування зерна елеваторами комбайнів типу РСМ-10 та КЗС-9 не відповідає сучасним вимогам: спостерігається неповнота розвантаження та, як її наслідок, – підвищене подрібнення зерна, не враховуються умови роботи під час обмолоту маловрожайних культур.

Аналіз основних досліджень і публікацій з даної проблеми. Проблемам теорії та практики, щодо удосконалення транспортних систем сільськогосподарських машин присвятили частину своїх досліджень такі відомі вчені, як Р. Л. Зенков, В. І. Кленин, Л. В. Погорілий, В. А. Сакур, Г. Е. Листопад, Е. С. Босой та інші. Проте питання підвищення якості транспортування зерна скребокними елеваторами за умов коливань у ланцюгових передачах потребують подальшого вдосконалення, тому на них і зосереджено головну увагу даного дослідження.

Мета і завдання досліджень: розробка заходів та рекомендацій по зменшенню пошкоджень зерна під час транспортування у підйомному елеваторі, що є актуальною проблемою в складі модернізації вітчизняного зернозбирального комбайна, тому ступінь дослідженості якості транспортування зерна дає змогу підвищити

якість роботи транспортних систем зернової групи досліджуваних машин.

Матеріали і методи досліджень. Під час проведення даних теоретичних досліджень використані методи математичного моделювання.

Результати досліджень. На багатьох зернозбиральних комбайнах як вітчизняного (наприклад, КЗС-9 «Славутич»), так і закордонного виробництва підйомний елеватор змонтовано під кутом стосовно горизонту. Розрахункова схема сил, що діють на зернину у верхній частині елеватора, повинна враховувати такий нахил (рис. 1).

Позначимо β – кут між вертикальною віссю та повздовжньою віссю симетрії елеватора, $\gamma = \pi/2 - \beta$ – кут нахилу транспортера стосовно горизонту. Тоді кут α буде змінюватись за залежністю: $\alpha = g - wt$ та характеризувати зміну напрямку сили ваги стосовно скребка, коли останній здійснює обертальний рух.

На зернину діють сили: $G = mg$ – вага зерна; N – нормальна реакція поверхні; $F = kN$ – сила тертя зернини по поверхні скребка; $P_{ин} = mr^2$ – відцентрова сила інерції; $F_{нов} = kmv$ – сила опору повітря, що виникає під час руху матеріальної точки відносно скребка та діє в напрямку, протилежному такому рухові; $F_{кар} = 2mv$ – сила Каріоліса, спрямована перпендикулярно до вектору відносної швидкості та діюча в напрямку, протилежному напрямку обертання диска.

Прийmemo вісь OX, як спрямовану вздовж поверхні скребка, а вісь OY – перпендикулярно такій поверхні. Додатний напрямок руху – рух зерна вгору по скребку під дією сили $P_{ин}$.

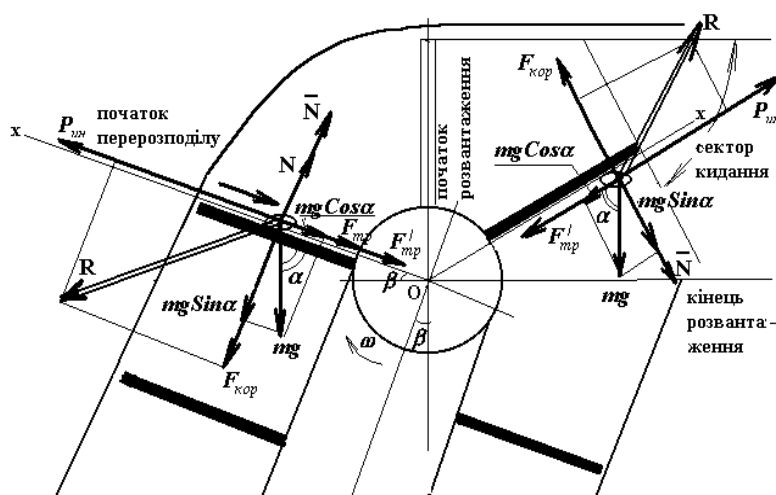


Рис. 1. Розрахункова схема сил, що діють на частинку вантажу для зернового скребкового елеватора у комбайні

Оскільки рух зерна буде здійснюватися тільки вздовж поверхні скребка, тоді диференціальне рівняння руху у векторній формі має вигляд [2]:

$$m(d^2xdt^2) = P_{шн} + G + F_{кар} + F_{тр} + F_{тр1} + F_{пов}, \quad (1)$$

або:

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

Загальним розв'язанням диференційного рівняння (2) буде сума [1, 3, 4]:

$$X(t) = X_{одн}(t) + X_{одн}(t),$$

де $X_{одн}(t)$ – загальний розв'язок однорідного рівняння

$$x + (k + 2f)x - \omega^2x = 0;$$

$X_{одн}(t)$ – частковий розв'язок неоднорідного рівняння.

Загальний розв'язок диференційного рівняння можливо записати у вигляді:

$$X_{заг} = C_1e^{t_1} + C_2e^{t_2} + A_1 \cos(\xi - t) + B_1 \sin(\xi - t). \quad (3)$$

Для винайдення розрахункових коефіцієнтів C_1 та C_2 використаємо початкові умови:

$$C_1 = \frac{((k + 2f\omega) / 2 + (\sqrt{(k + 2f\omega)^2 + 4\omega^2} / 2))(-B_1 \sin \xi - A_1 \cos \xi + r)}{-\sqrt{(k + 2f\omega)^2 + 4\omega^2} + \frac{+A_1\omega \sin \xi + B_1\omega \cos \xi}{-\sqrt{(k + 2f\omega)^2 + 4\omega^2}}}$$

$$C_2 = \frac{((k + 2f\omega) / 2 - (\sqrt{(k + 2f\omega)^2 + 4\omega^2} / 2))(-B_1 \sin \xi - A_1 \cos \xi + r)}{-\sqrt{(k + 2f\omega)^2 + 4\omega^2} - \frac{-A_1\omega \sin \xi + B_1\omega \cos \xi}{-\sqrt{(k + 2f\omega)^2 + 4\omega^2}}}$$

де $\xi = \psi + \gamma$, $tg = \frac{\sin}{\cos} = \frac{1}{f}$, тобто $= arctg\left(\frac{1}{f}\right)$.

Наприклад, для елеваторів зернозбиральних комбайнів КЗС-9 «Славутич» рішення складеного диференційного рівняння запишеться у вигляді:

$$X_{заг} = (0,01008\dots 0,01149)e^{(27,53\dots 22,81)t} + (0,0123\dots 0,01336)e^{-(49,866\dots 60,09)t} - (0,001\dots 0,0016)\cos((2,588\dots 2,416) - 37,07t) + (0,0034\dots 0,00318)\sin((2,588\dots 2,416) - 37,07t). \quad (4)$$

Робочим органом підйомного елеватора зернозбирального комбайна типу РСМ-10 або КЗС-9 є ланцюг зі скребками – ланцюг ТРД-38-4000-2-2-6-6 ГОСТ 4267-78 (довжина ланцюга близько 4,5 м). Верхня привідна зірочка елеватора має сім зубців. Під час роботи такої ланцюгової передачі рух ланцюга визначається рухом шарніру ланки, що остання увійшла у зачеплення з ведучою зірочкою. Кожна ланка веде ланцюг під час обертання зірочки на один кутовий крок, після чого уступає місце наступній ланці. У зв'язку з цим швидкість ланцюга не постійна.

Швидкість ланцюга максимальна в положенні, за якого радіус зірочки, що проведений через шарнір, є перпендикулярним по відношенню до ведучої частини ланцюга (рис. 2). У довільному кутовому положенні ведучої зірочки, коли ведучий шарнір повернутий відносно перпендикуляра до робочої частини ланцюга під кутом α , повздовжня швидкість ланцюга:

$$v = \omega r \cos \alpha, \quad (5)$$

де ω – постійна кутова швидкість ведучої зірочки;

r – радіус розташування шарнірів ланцюга (початкового кола ведучої зірочки);

α – кут повороту, що змінюється в межах від 0 до π / z_1 .

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

Під час розглядання природи нерівномірності руху ланцюгової передачі рахують, що привідна зірочка обертається рівномірно внаслідок значних приєднаних до неї інертних мас [2]. У нашому випадку природу коливань ланцюга елеватора можливо розглядати в залежності від кінематичної схеми зернозбирального комбайна. Як наслідок, коливання лінійної швидкості ланцюга елеватора призведе до коливань кутової швидкості верхньої привідної зірочки.

Розглянемо рівняння (2) руху зерна по скребку елеватора комбайна в разі відцентрового розвантаження з урахуванням коливань кутової швидкості:

$$x'' + (k + 2f\omega)x' - \omega^2 x = g [\sin(\omega t) + f \cos(\omega t)], \quad (6)$$

де ω – функція від часу руху t , яку задаємо як періодичну функцію: $\omega = a + b|\cos(nt)|$, при

$$a = 37,07 \cos(\pi / z) = 33,4 c^{-1}; \quad nt = \alpha = 37,07 / 2 \cdot 7t; \quad b = \Delta\omega = 37,07 - 33,4 = 3,67 c^{-1}.$$

Тепер рівняння (5) розглядається як лінійне неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку з періодичними коефіцієнтами.

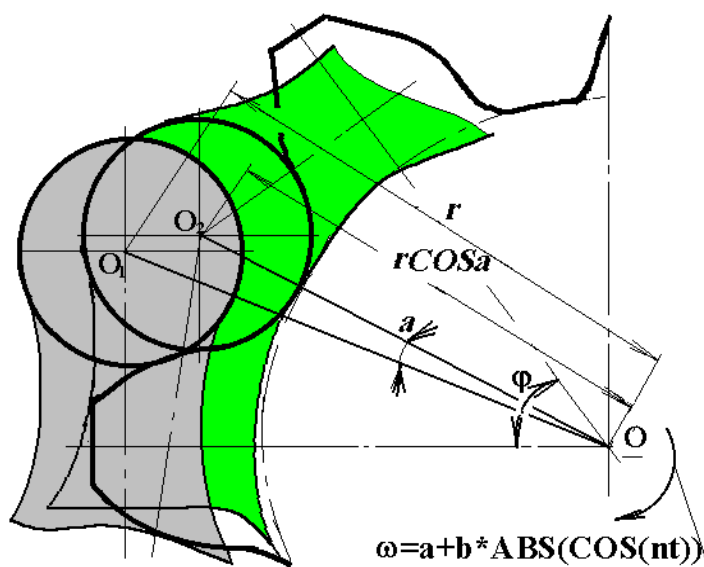


Рис. 2. Схема до обґрунтування коливань у ланцюговій передачі

Для вирішення такого рівняння використаємо метод варіації довільних сталих – метод Лагранжа [1, 3, 4]. Загальну систему рішень рівняння (6) шукаємо у вигляді:

$$X(t)_{\text{заз}} = C_1(t)Z_1 + C_2(t)Z_2, \quad (7)$$

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

$Z_1 + Z_2$ – система рішень однорідного рівняння: $x - \underline{\omega}^2 x + x(k + 2f\underline{\omega}) = 0$, що відповідає рівнянню (5), які шукаємо у вигляді:

$$Z_1 + Z_2 = C_1 e^{\chi_1(t)} + C_2 e^{\chi_2(t)},$$

де C_1 та C_2 – довільні сталі;

χ_1 та χ_2 – функції часу t – додатні корені характеристичного рівняння однорідної частини рівняння (6).

Тоді:

$$X_{\text{заз}}(t) = \int \frac{-g\sqrt{1+f^2} \sin(\psi + \gamma - \underline{\omega}t)}{e^{\chi_1 t} \left(\text{tbnABS}[\sin(nt)] \frac{4fk + 8f^2 \underline{\omega} + 8\underline{\omega}^2}{\sqrt{(k + 2f\underline{\omega})^2 + 4\underline{\omega}^2}} + \sqrt{(k + 2f\underline{\omega})^2 + 4\underline{\omega}^2} \right)} dt e^{\chi_1 t} +$$

$$+ \int \frac{g\sqrt{1+f^2} \sin(\psi + \gamma - \underline{\omega}t)}{e^{\chi_2 t} \left(\text{tbnABS}[\sin(nt)] \frac{4fk + 8f^2 \underline{\omega} + 8\underline{\omega}^2}{\sqrt{(k + 2f\underline{\omega})^2 + 4\underline{\omega}^2}} + \sqrt{(k + 2f\underline{\omega})^2 + 4\underline{\omega}^2} \right)} dt +$$

$$+ C_1 e^{\chi_1 t} + C_2 e^{\chi_2 t}. \quad (8)$$

Рівняння (8) описує рух зернини по скребку елеватора за будь-яких додатніх функцій $\underline{\omega} = f(t)$, що характеризують нерівномірність обертання верхньої ведучої зірочки. Підінтегральні функції $C_1(t)$ та $C_2(t)$ можливо обчислити за допомогою числових методів на ПК.



Рис. 3. Діаграма руху порції зерна по скребку елеватора, розрахована на прикладі конструктивних параметрів комбайна КЗС-9 «Славутич»

Сталі коефіцієнти C_1 та C_2 знаходимо, використовуючи початкові умови: $X_{заз}(0) = r$ – в початковий момент часу частка зерна міститься на скребку на мінімально можливій відстані від осі обертання верхньої зірочки елеватора: $r = 0,02 м$, що зумовлено особливостями конструкції. Відстань $г$ визначається з робочого креслення. $X'_{заз}(0) = 0$ – рух починається зі стану спокою.

На рис. 3 зображені діаграми руху зерна по скребку елеватора на прикладі комбайна КЗС-9 «Славутич», що обчислені на ПК, з метою порівняння впливу нерівномірності обертання ведучої зірочки на характер руху.

Висновки. Аналізуючи діаграми руху зерна по скребку елеватора під час відцентрового розвантаження можна зазначити:

1. Вплив неоднорідних частин рівняння (2), що описує опір рухові проекції сили тяжіння та

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Бибиков Ю. Н.* Курс обыкновенных дифференциальных уравнений : учебное пособие для студентов университетов / Ю. Н. Бибиков – М. : Высш. школа, 1991. – 303 с., ил.

2. *Бурлака О. А.* Дослідження технологічного процесу розвантаження та обґрунтування параметрів підйомного елеватора зернозбирального комбайна : дис. ... к.т.н. : 05.20.01 / УААН. – К. : Інститут механізації та електрифікації сільського господарства УААН (ІМЕСГ УААН), 2000. – 239 арк. + дод.

сили тертя зерна по скребку від сили тяжіння, є незначним у порівнянні із впливом коливань кутової швидкості обертання верхньої ведучої зірочки елеватора за відцентрового типу розвантаження.

2. Нерівномірність руху зерна по скребку збільшується експоненціально в разі віддалення від центру обертання верхньої зірочки елеватора.

3. Кут нахилу елеватора відносно вертикалі є маловпливовим щодо проходження технологічного процесу відцентрового розвантаження.

4. Вплив зміни коефіцієнтів тертя зерна по скребку елеватора ($f = 0,3...0,5$) та коефіцієнтів опору повітря ($k = 0,07...0,15$) визначає найкращі та відповідно найгірші умови розвантаження, що характеризує зона між кривими руху (рис. 3) з їх граничними значеннями.

3. *Матвеев Н. М.* Дифференциальные уравнения : [для физико-математической специальности] / Н. М. Матвеев – М. : Просвещение, 1988. – 254 с.

4. *Самойленко А. М.* Дифференциальные уравнения: примеры и задачи : [учебное пособие для вузов]. – 2-е изд., перераб. / А. М. Самойленко, С. А. Кривошея и др. – М. : Высшая школа, 1989. – 382 с.