

Г.С.Головченко, асистент, Сумський НАУ

С.С.Яцун, к.т.н., доцент, Сумський НАУ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ПРИЛАДУ ДЛЯ ОБМОЛОЧУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Розроблена математична модель технологічного процесу роботи приладу для обмолочування сільськогосподарських культур по визначенню його основних параметрів.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Якість роботи молотильних пристроїв комбайнів, яка характеризується в основному процентом недомолоту і подрібненням зерна, залежить не стільки від самого молотильного пристрою, скільки від фізико – механічних властивостей і стану культури, що обмолочується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідники І.Ф. Василенко, М.А. Пустигін, А.Ф. Соколов обмолочування зернових культур оцінювали трьома способами з визначенням виділення однієї зернини із колоса: 1) на копрі – при протаскуванні колоса крізь щілину; 2) на центрифугі – статичною дією сил інерції; 3) в шахті – ударом (динамічною дією сил інерції).

Порівняння показників, які характеризують обмолочування, одержаних трьома способами, з якістю роботи молотильного пристрою комбайна, показало найбільш повну кореляцію між недомолотом і роботою по виділенню однієї зернини із колоса в шахті ударом.

Значним недоліком способу оцінки обмолочування в шахті ударом (коли колос закріплювався на падаючому під дією сили тяжіння вантажі і необхідно було будувати глибоку шахту) була громіздкість цього способу, важкість його здійснення і неможливість досягнення швидкості достатньою для повного виділення зерна із колосу у більшості сільськогосподарських культур.

Класифікатор обмолочування, запропонований М.А. Пустигінем, розроблений з використанням того ж принципу виділення зерна, що і в шахті – ударом, але в ньому для надання швидкості затискачу з колосом перед ударом обмежувач замість сили тяжіння використана енергія пружини. При невеликих габаритах і малій масі в класифікаторі колосу перед ударом може бути надана така швидкість, яку можна було одержати в шахті висотою лише 20 м.

Класифікатор обмолочування може бути

використаний і для оцінки обсіпання зернових культур з визначенням процента виділення зерна на перших ступенях.

На кафедрі «Трактори та сільськогосподарські машини» розроблений і виготовлений такий прилад.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження є розробка математичної моделі технологічного процесу роботи приладу з визначенням його основних параметрів.

Виклад основного матеріалу досліджень. Класифікатор обмолочування дозволяє визначити роботу, потрібну на виділення зерна із колоса, і встановити вплив на величину цієї роботи різних факторів (сорт, стиглості, вологості та ін.).

При розробці приладу за основу була прийнята схема, яка запропонована професором М.А. Пустигінем. Прилад [6] складається з таких основних частин (рис.1): корпусу 1, важеля 2, стакана 8, рукоятки 5, гребінки 3, лівого і правого обмежувачів, затискної цанги 4 з гайкою, пружини 6 та амортизатора 7.

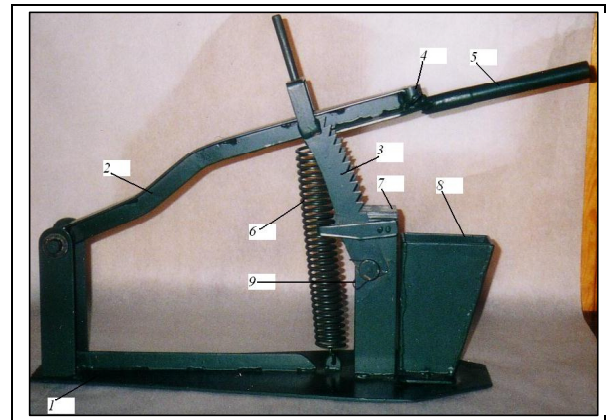


Рисунок 1. Прилад для обмолочування сільськогосподарських культур

Корпус приладу складається з опорної плити, стояка та опорного бруса.

До верхнього кінця стояка шарнірно приєднаний важіль. Вільний кінець важеля

спирається на амортизатор 7, закріплений на опорному брусі. У вільний кінець важеля встановлено цангу 4, до якої прилаштовано гайку, призначену для затискання колоса.

Важелю надано зігнутої форми з таким розрахунком, щоб центр ваги закріпленого колоса за його нульового положення розташовувався приблизно на горизонтальній лінії, яка проходить через центр обертання важеля, тобто щоб швидкість центра ваги колоса була спрямована вертикально.

Гребінка 3 зі штирем прикріплена до опорного бруса; на кінцях штиря встановлено пружину, кінці якої обхоплюють праву і ліву планки гребінки.

Пружина 9 забезпечує заціпання гребінки, а обмежувачі, встановлені у верхній частині опорного бруса, обмежують її відхід у разі опускання важеля. Стакан 8 знімний.

Важіль із нульового положення підіймають у робоче рукояткою 5, при цьому кінці важеля з обох боків кладуться відповідно на зубці опорної частини гребінки. Кожна планка гребінки має по 10 зубців, що відповідає 10 ступеням (класам) приладу. Підіймання важеля на наступну пару зубців відповідає певному розтягу пружини 6.

Легким поштовхом руки на верхню частину гребінки важіль звільняють і, залежно від ступеня розтягу пружини і ступеня його підіймання, він набуває певної швидкості.

У нижньому положенні важіль ударяється об гумовий амортизатор і миттєво зупиняється. Разом із важелем зупиняється і закріплений на його кінці колос, а запас кінетичної енергії кожної зернини витрачається на роботу відділення її від колоса.

Зерно виділяється з колосу у тому разі, коли сила інерції, що діє на зернину в момент зупинки колосу, за величиною перевищує силу зв'язку її з колосом.

Сила інерції зернини дорівнює добутку її маси на прискорення, а останнє залежить від величини швидкості перед ударом, пружності амортизатора і пружності самого колоса.

Зерна падають у стакан. Вимолочені зерна підраховують і зважують.

Розглянемо обґрунтування основних параметрів приладу: важеля 2, пружини 6, гребінки 3.

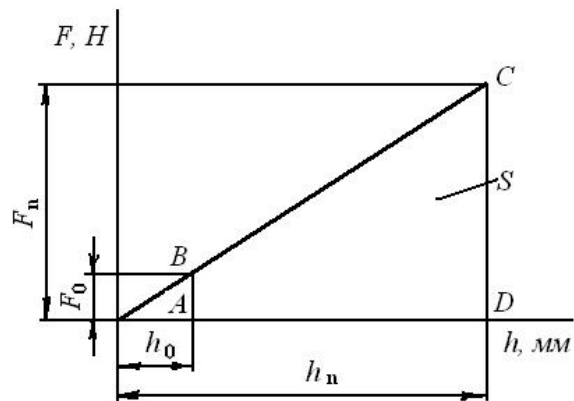


Рисунок 2. Схема до визначення роботи пружини

Робота A (Дж) (рис. 2), яка відбувається при переході важеля із n -го положення в нульове (n_0) пропорційна площі S трапеції $ABCD$

$$A = S \cdot k = (h_n - h_0) \cdot (F_n + F_0) \cdot 0,5 \cdot k \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де h_n, h_0 – величини розтягу пружини відповідно в n -ом та нульовому положеннях, мм;

F_n, F_0 – зусилля навантаження пружини відповідно на ступенях n та 0, Н;

k – коефіцієнт пропорційності. Для нашого випадку $k = 1$;

10^{-3} – переводний коефіцієнт.

Величина розтягу пружини [3]

$$h_n - h_0 = \frac{F_n - F_0}{q_{np}}, \quad (2)$$

де q_{np} – масштаб пружини, Н/мм.

Тоді робота

$$A = \frac{F_n - F_0}{q_{np}} \cdot (F_n + F_0) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = \frac{F_n^2 - F_0^2}{2q_{np}} \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Кінетична енергія важеля

$$\frac{I\omega_B^2}{2} = \frac{F_n^2 - F_0^2}{2q_{np}} \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

де I – приведений момент інерції мас, що рухаються відносно осі обертання важеля,

ω_B – кутова швидкість важеля, рад./с.

Лінійна швидкість центра тяжіння колоса на n -ому ступені перед зупинкою важеля

$$u_n = \omega_B \cdot l, \quad (5)$$

де l – відстань від осі обертання важеля до центра тяжіння колоса, м.

Із рівняння (4) маємо

$$\omega_B = \sqrt{\frac{(F_n^2 - F_0^2) 10^{-3}}{Iq_{np}}}. \quad (6)$$

Через це

$$u_n = \sqrt{\frac{(F_n^2 - F_0^2) \cdot 10^{-3}}{Iq_{np}}} \cdot l$$

або

$$u_n = \sqrt{\frac{q_{np}(h_n^2 - h_0^2) \cdot 10^{-3}}{I}} \cdot l. \quad (7)$$

Прийmemo, що швидкість, яка надається колосу перед зупинкою важеля, змінюється від ступеню до ступеню на одну і ту ж величину, тобто

$$\begin{aligned} u_1 &= 0,1u_{10}; u_2 = 0,2u_{10}; u_3 = 0,3u_{10}; u_4 = 0,4u_{10}; \\ u_5 &= 0,5u_{10}; u_6 = 0,6u_{10}; u_7 = 0,7u_{10}; u_8 = 0,8u_{10}; \\ u_9 &= 0,9u_{10}; u_{10} = 1u_{10}; \end{aligned} \quad (8)$$

Із виразу (7) маємо швидкість центра тяжіння колоса на першому ступеню

$$\begin{aligned} u_1 &= \sqrt{\frac{(F_1^2 - F_0^2) \cdot 10^{-3}}{Iq_{np}}} \cdot l = \\ &= 0,1 \sqrt{\frac{(F_{10}^2 - F_0^2) \cdot 10^{-3}}{Iq_{np}}} \cdot l. \end{aligned} \quad (9)$$

Звідси

$$\begin{aligned} (F_1^2 - F_0^2) &= 0,01 F_{10}^2 - 0,01 F_0^2, \\ F_1 &= \sqrt{0,01 F_{10}^2 + 0,99 F_0^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Використовуючи праву частину рівняння (7) і рівняння (8), маємо для швидкості центра тяжіння колоса на першому ступеню

$$u_1 = \sqrt{\frac{q_{np}(h_1^2 - h_0^2)}{I}} \cdot l = 0,1 \sqrt{\frac{q_{np}(h_{10}^2 - h_0^2)}{I}} \cdot l. \quad (11)$$

Звідси можна знайти величину розтягу пружини на першому ступеню

$$\begin{aligned} h_1^2 - h_0^2 &= 0,1(h_{10}^2 - h_0^2); \\ h_1 &= \sqrt{0,01 h_{10}^2 + 0,99 h_0^2}. \end{aligned} \quad (12)$$

По аналогії величини розтягу пружини на інших ступенях будуть відповідно:

$$\begin{aligned} h_2 &= \sqrt{0,04 h_{10}^2 + 0,96 h_0^2}; \\ h_3 &= \sqrt{0,09 h_{10}^2 + 0,91 h_0^2}; \\ h_4 &= \sqrt{0,16 h_{10}^2 + 0,84 h_0^2}; \\ h_5 &= \sqrt{0,25 h_{10}^2 + 0,75 h_0^2}; \\ h_6 &= \sqrt{0,36 h_{10}^2 + 0,64 h_0^2}; \\ h_7 &= \sqrt{0,49 h_{10}^2 + 0,51 h_0^2}; \\ h_8 &= \sqrt{0,64 h_{10}^2 + 0,36 h_0^2}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} h_9 &= \sqrt{0,81 h_{10}^2 + 0,19 h_0^2}; \\ h_{10} &= 1h_{10}. \end{aligned}$$

Знаючи попередній розтяг пружини h_0 і максимальний розтяг h_{10} , визначимо її розтяг на кожному проміжному ступеню і за цими даними будемо гребінку.

Приведений момент інерції рухомих мас I складається із моментів інерції важеля $I_{важ}$, пружини $I_{пр}$ і колоса I_k відносно осі обертання важеля. Моментом інерції колоса можна знехтувати. Тому остаточно приведений момент інерції мас $I = I_{важ} + I_{пр}$.

Момент інерції важеля $I_{важ}$ (кг·м²) [5] з достатнім ступенем точності визначимо за формулою фізичного маятника

$$I_{важ} = \frac{m_{важ} g d T^2}{4\pi^2}, \quad (14)$$

де $m_{важ}g$ – сила тяжіння важеля, Н;

d – відстань від осі обертання до центра тяжіння важеля, м;

T – період повних коливань, с.

Кінець пружини, що закріплений на важелі, перед зупинкою останнього набуває швидкості, однакової з відповідною точкою важеля. Протилежний кінець має нульову швидкість. Швидкості проміжних частин пружини змінюються за законом прямої лінії між цими значеннями, Будемо вважати, що маса пружини рівномірно розподіляється по всій її довжині.

Кінетична енергія пружини, Дж (рис. 3)

$$E_{пр} = \int_0^l \frac{dm_{пр} \cdot v_x^2}{2}, \quad (15)$$

де $dm_{пр}$ – елементарна маса пружини (приро-

щення маси на ділянці dx), $\frac{H \cdot c^2}{m}$;

v_x – швидкість проміжної точки пружини, м/с.

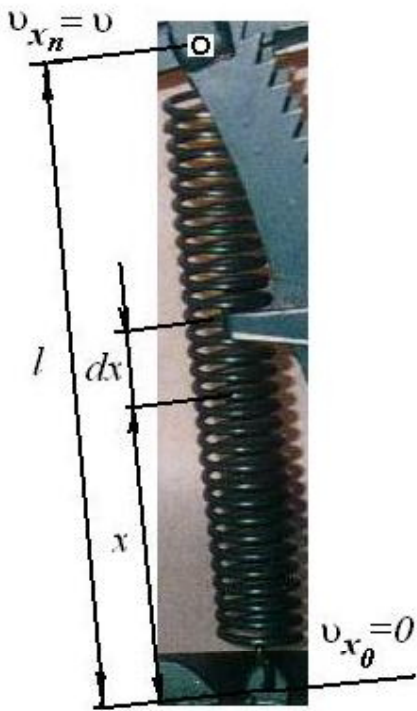


Рисунок 3. Схема до визначення приведеної маси пружини

Елементарна маса

$$dm_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{l} dx$$

Швидкість проміжної точки важеля:

$$v_x = \frac{v \cdot x}{l}$$

Тут x – відстань до проміжної точки від точки, швидкість якої дорівнює нулю.

Підставляючи вирази $dm_{\text{пр}}$ та v_x в рівняння (15), маємо [1]

$$E_{\text{пр}} = \int_0^l \frac{dm_{\text{пр}} \cdot v_x^2}{2} =$$

$$\int_0^l \frac{(v \cdot x)^2}{2l^2} \cdot \frac{m_{\text{пр}}}{l} dx = \frac{v^2 \cdot m_{\text{пр}}}{2l^3} \int_0^l x^2 dx = \frac{m_{\text{пр}} v^2}{6}$$

Звідси маса пружини, приведена до точки кріплення на важелі, визначається із рівняння

$$E_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{прив}} v^2}{2} = \frac{m_{\text{пр}} v^2}{6};$$

Маса

$$m_{\text{прив}} = \frac{m_{\text{пр}}}{3}$$

Приведений момент інерції пружини відносно центра обертання важеля

$$I_{\text{пр}} = m_{\text{прив}} r^2 = \frac{m_{\text{пр}} r^2}{3}, \quad (16)$$

де r – відстань від осі обертання важеля до точки кріплення пружини, м.

Тому приведений момент інерції рухомих мас:

$$I = I_{\text{важ}} + I_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{важ}} g d T^2}{4\pi^2} + \frac{m_{\text{пр}} r^2}{3}. \quad (17)$$

Приклад з визначення основних параметрів та режимів роботи приладу по обмолочуванню сільськогосподарських культур.

Вихідні дані: маса важеля $m_{\text{важ}} = 0,63$ кг; маса пружини $m_{\text{пр}} = 0,3$ кг; відстань від осі обертання важеля до точки кріплення пружини $r = 320$ мм; відстань від осі обертання важеля до кріплення колоса $l = 447$ мм; довжина пружини в вільному положенні $h_b = 170$ мм; величина розтягу пружини в нульовому положенні $h_0 = 200$ мм; величина розтягу пружини на десятому ступені $h_{10} = 308$ мм.

Визначення параметрів та режимів роботи приладу. Відстань між суміжними зубами гребінки $h_3 = (h_{10} - h_0)/10 = (308 - 200)/10 = 10,8$ мм.

Способом коливань визначаємо період коливань, $T = 1,2$ с. Дослідним шляхом визначаємо відстань від осі обертання до центра тягіння важеля, $d = 312$ мм.

Момент інерції важеля відносно осі обертання (14)

$$I_{\text{важ}} = \frac{m_{\text{важ}} g d T^2}{4\pi^2} = \frac{0,63 \cdot 9,81 \cdot 0,312 \cdot 1,2^2}{4 \cdot 3,14^2} = 0,0705 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент інерції важеля відносно центра тягіння

$$I_{\text{цт}} = I_{\text{важ}} - m_{\text{важ}} d^2 = 0,0705 - 0,63 \cdot 0,312^2 = 0,009 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Приведена довжина:

$$l' = \frac{I_{\text{важ}}}{m_{\text{важ}} d} = \frac{0,0705}{0,63 \cdot 0,312} = 0,358 \text{ м.}$$

Відстань між центром тягіння важеля і віссю коливань

$$b = l' - d = 0,358 - 0,12 = 0,046 \text{ м.}$$

Момент інерції пружини згідно з (16)

$$I_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}} r^2}{3} = \frac{0,30 \cdot 0,32^2}{3} = 0,0102 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент інерції рухомих мас (17) $I = 0,0705 + 0,0102 = 0,0807 \approx 0,081$ кг·м².

Масштаб пружини:

$$q_{np} = \frac{F_{10}}{h_{10} - h_e} = \frac{294,3}{0,308 - 0,170} = 2132,6 \text{ Н/м.}$$

Лінійна швидкість центра тяжіння колоса на десятому ступеню:

$$u_{10} = \sqrt{\frac{q_{np}(h_{10}^2 - h_0^2) \cdot 10^{-3}}{I}} \cdot l =$$

$$= \sqrt{\frac{2132,6 \cdot (308^2 - 200^2) \cdot 10^{-3}}{0,081}} \cdot 0,447 = 17,01 \text{ м/с.}$$

Згідно з (8) маємо швидкості центра тяжіння колоса перед зупинкою важеля на ступенях:

$$u_1 = 1,7 \text{ м/с; } u_2 = 3,4 \text{ м/с; } u_3 = 5,1 \text{ м/с;}$$

$$u_4 = 6,8 \text{ м/с; } u_5 = 8,5 \text{ м/с; } u_6 = 10,2 \text{ м/с; } u_7 = 11,9 \text{ м/с;}$$

$$u_8 = 13,6 \text{ м/с; } u_9 = 15,3 \text{ м/с; } u_{10} = 17 \text{ м/с.}$$

Нижче наведені показники обмолочування одного із сортів озимої пшениці.

У приладі за допомогою пружини колосу надають певної швидкості. Отримана зерном кінетична енергія витрачається на відділення його від колоса. Швидкість змінюється в широкому діапазоні. Знаючи кінцеву швидкість (момент удару важеля об обмежувач) і масу зернини, можна обчислити кінетичну енергію, яку мала зернина перед відділенням від колоса. Обчислену так енергію приблизно приймають за роботу відділення зерна від колоса. Колос на кожному ступеню піддавався одноразовому удару важеля об обмежувач послідовно, починаючи з першого ступеня, і на кожному наступному – до повного обмолоту.

При швидкості 17 м/с допускався трикратний удар важеля об обмежувач. Колоски, які залишались після цього на колосі, вважались недомолотом.

Повторність дослідів – шестикратна [2].

Вологість зернової частини озимої пшениці визначалась в чотирикратному повторенні і склала 17,6%.

Оцінку пшениці по обмолочуванню проводили [4] на основі відносних (рис. 4) й енергетичних показників (рис.5). Перші одержували для кожного ступеня класифікатора, виражаючи масу зерна, що виділилась, до маси зерна колосу. Недомолот також виражався в відсотках.

Аналіз одержаних результатів досліджень показує, що відділення зерна від колосу починалось при швидкості обмолочування 1,7 – 5,1 м/с.

При початковій швидкості 1,7 м/с відділення колосків від колосу складало 0 – 7,55%. При досягненні швидкості 17 м/с мав місце недомолот, який складав 0 – 11,53%, а в середньому – 6,07%.

Розрахунок енергії (Дж) на вимолот колосків на кожному ступеню визначали за формулою

$$A = \frac{m_3 v^2}{2000}, \quad (18)$$

де m_3 – маса однієї зернини на i – му ступеню обмолоту, г;

v – швидкість обмолочування на i – му ступеню, м/с.

На відділення зернини від колосу при швидкості 3,4 – 5,1 м/с потрібно $2,54 \cdot 10^{-4}$ – $5,46 \cdot 10^{-4}$ Дж, а при швидкості 15,3 – 17,0 м/с – $37,45 \cdot 10^{-4}$ – $43,35 \cdot 10^{-4}$ Дж, тобто в 7,94 – 14,74 разів більше.

В зв'язку з тим, що при швидкості 17 м/с відбувалось відділення й щуплих колосків, характер кривих при деяких повтореннях змінювався.

Також визначалась робота на обмолот зерна всього колоса.

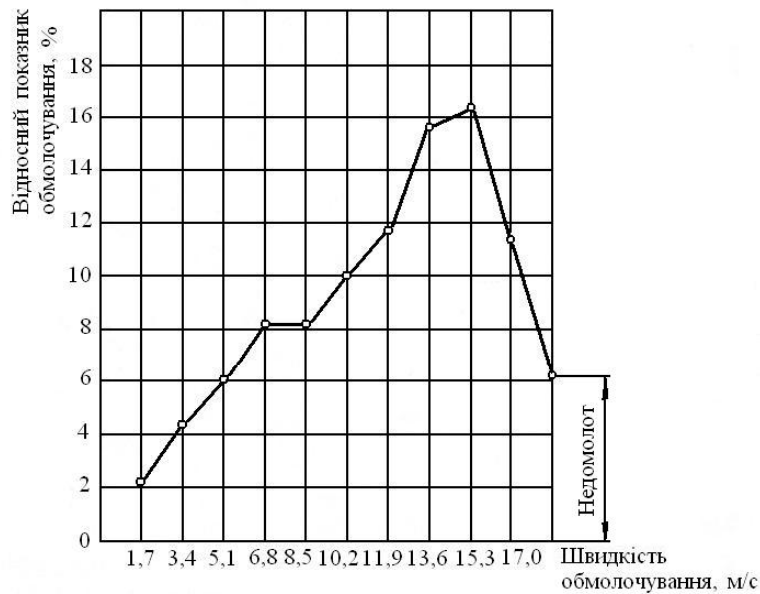


Рисунок 4 . Залежність відносних показників від швидкості обмолочування

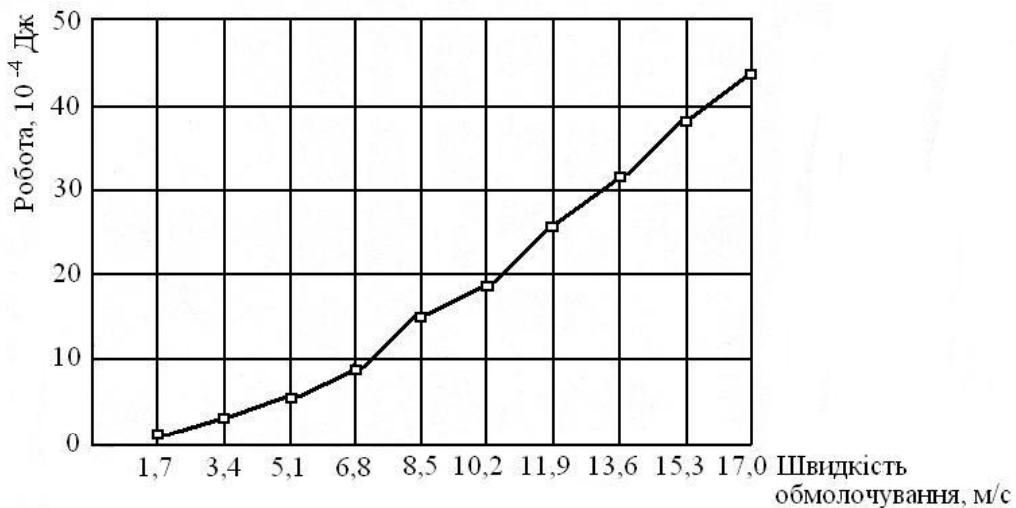


Рисунок 5 . Залежність роботи на виділення зернини від швидкості обмолочування

Висновки. Розроблена математична модель обмолочування сільськогосподарських культур по технологічного процесу роботи приладу для визначенню його основних параметрів.

Література

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ. / Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – М.: Государственное изд-во физико – математической литературы, 1962. – 608 с.
2. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. / Веденяпин Г.В. – М.: Колос, 1967. – 199 с.
3. Войтюк Д.Г. Теорія сільськогосподарських машин: Практикум: Навч. посібник / Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. //За ред.. С.С. Яцуна. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 201 с.
4. Войтюк Д. Г. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум. Навч. посібник / Д. Г. Войтюк, О. М. Царенко, С. С. Яцун та ін.; За ред. С. С. Яцуна. – К.: Аграрна освіта, 2000. – 93 с.
5. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Часть 2. Динамика. Издание третье, исправленное и дополненное./ Яблонский А.А. – М.: Высшая школа, 1966. – 411 с.

6. Яцун С. С. Прилади для визначення механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських рослин під час збирання./ Яцун С. С., Довжик М. Я., Єрмак М. І. та ін. // Вісник Сумського НАУ. Механізація та автоматизація виробничих процесів, вип. 7, 2001. – С. 39 – 43.

Разработана математическая модель технологического процесса работы устройства для обмолота сельскохозяйственных культур по определению его основных параметров.

Agricultural Crops' Threshing Device's Technological Process' Work Mathematical Model Has Been Developed By The Definition of Its Basic Parameters.