МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Механіко-технологічний факультет

Кафедра ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВОЇ І ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ

Методичні вказівки до практичної роботи на тему:

"Вивчення складного руху моделі молотка дробарки"

для здобувачів ступеня вищої освіти "Доктор філософії"
механіко-технологічного факультету
спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
ОНП "Галузеве машинобудування"

м. Мелітополь - 2021

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВОЇ І ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ. Методичні вказівки до практичної роботи на тему: **"Вивчення складного руху моделі молотка дробарки"** для здобувачів ступеня вищої освіти «Доктор філософії» механіко-технологічного факультету зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» - Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2021. – 20 с.

Розробники Самойчук К.О., д.т.н., проф.
Бойко В.С., к.т.н., доцент

Рецензент: Мілько Д.О., д.т.н., професор кафедри машиновикористання в землеробстві

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика

Протокол № 1 від 27 серпня 2021 року.

Затверджено методичною комісією механіко-технологічного факультету, протокол № 10 від 31 серпня 2021 року.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ

ВИВЧЕННЯ СКЛАДНОГО РУХУ МОДЕЛІ МОЛОТКА ДРОБАРКИ

Мета роботи: Встановити раціональне значення показника лінійного співвідношення діаметра ротора дробарки з шарнірно закріпленими молотками.

Час виконання роботи 4 год.

1 Порядок виконання роботи

- розглянути основи теорії конструктивного співвідношення лінійного розміру радіуса підвісу до приведеної довжини молотка;
- ознайомитись з принципом дії та будовою експериментальної лабораторної установки та іншим обладнанням робочого місця;
- ознайомитись з вимогами техніки безпеки при проведенні роботи;
- провести експериментальні дослідження згідно з методикою проведення роботи;
- обробити результати експерименту та сформулювати висновки;
- скласти та оформити звіт з лабораторної роботи.

2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

- ***повторити:*** основні поняття з теорії стійкості руху молотків дробарки в процесі подрібнення сировини;

- ***знати:***

1) рекомендовані конструктивні співвідношення лінійного розміру радіуса підвісу молотка на барабані дробарки до приведеної довжини молотка;

2) механізм коливання шарнірно закріпленого на роторі молотка відносно радіального положення, в якому він утримується відцентровою силою інерції при обертанні барабана;

- ***вміти:*** проводити налаштування лабораторної установки, користуватися контрольно-вимірювальними приладами, визначати значення кутів відхилення молотка від його радіального положення.

3 Основні теоретичні положення

Одним з ефективних шляхів підвищення якості та зниження енергоємності процесу подрібнення зернових матеріалів є вдосконалення молоткового ротора дробарки на базі дослідження динаміки руху молотка, як фізичного маятника у полі відцентрової квазіпружної сили.

В наукових працях М.М. Гернета, В.Д. Земскова, С.В. Мельникова, В.С. Панової та інших дослідників наводиться цілий ряд значень конструктивного співвідношення лінійного розміру радіуса підвісу до приведеної довжини молотка дробарки: ***0,25; 2,25; 4; 6,25***.

Зазначено, що вказані значення є однаково прийнятними, оскільки при цьому рух молотка буде стійким. Проте відмічено, що в межах зони стійкості спостерігаються коливання шарнірно закріпленого на роторі молотка відносно радіального положення, в якому він утримується відцентровою силою інерції при обертанні барабана. Відхилення молотка відбувається під дією сили опору матеріалу, який надходить у робочу камеру через завантажувальний отвір (рисунок 1).

Після першого удару молотка частки, що потрапили через завантажувальний пристрій у робочу камеру, одержують ударний імпульс і починають хаотично рухатися в напрямку обертання ротора. Далі відбувається подрібнення розколюванням, стиранням, стисненням і частково – ударом, зі швидкістю меншою, ніж при першому ударі. Тому найбільш сприятливі умови для ударного подрібнення – в зоні завантаження при прямому ударі, коли зернівка рухається перпендикулярно до вектора лінійної швидкості робочої грані молотка.

Удар буде найбільш ефективним, коли молоток в зоні завантаження знаходиться у радіальному положенні відносно осі підвісу і має максимальну відносну швидкість.

Вважаючи, що затухання коливань немає, тому що час між двома послідовними ударами складає 0,02…0,03 с, графічно відносний рух молотка за умови найбільш ефективної взаємодії можна представити у наступному вигляді (рисунок 1):

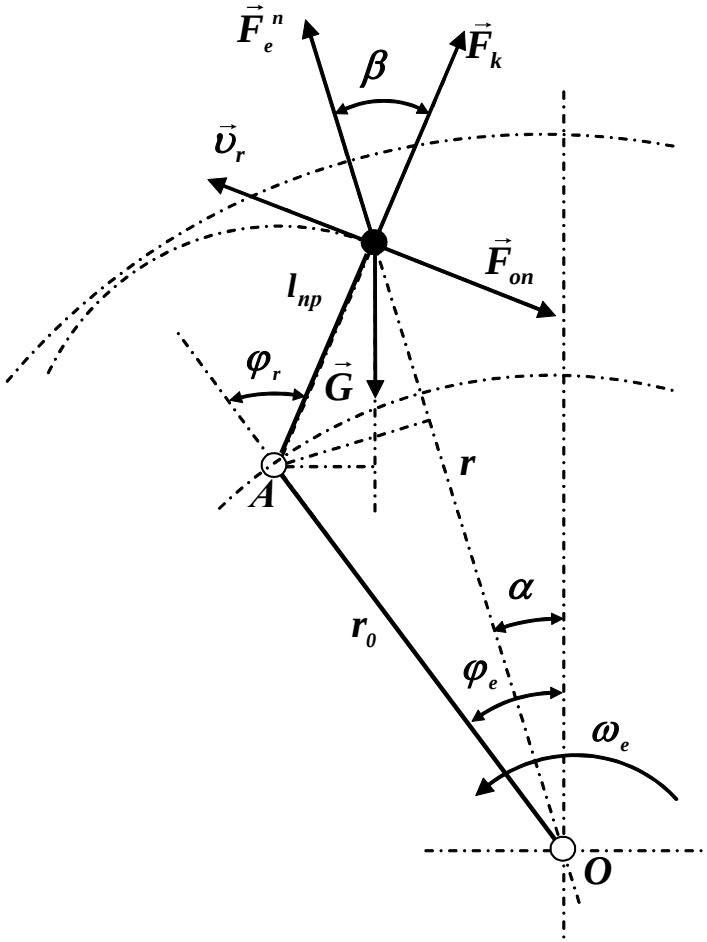

Рисунок 1 – Розрахункова схема ротора дробарки з шарнірно закріпленими молотками

m - маса молотка, кг; g - прискорення вільного падіння, м/с^2; μ - коефіцієнт опору середовища, с^1; ω_r - колова швидкість відносного руху молотка, с$^{-1}$; ω_e - колова швидкість переносного руху молотка (частота обертання ротора), с$^{-1}$; υ_r - лінійна швидкість відносного руху молотка, м/с; l_{np} - приведена довжина молотка як фізичного маятника, м; r_o - радіус ротора, на якому закріплена вісь молотка, м; r - радіус обертання центра мас молотка відносно осі ротора, м.

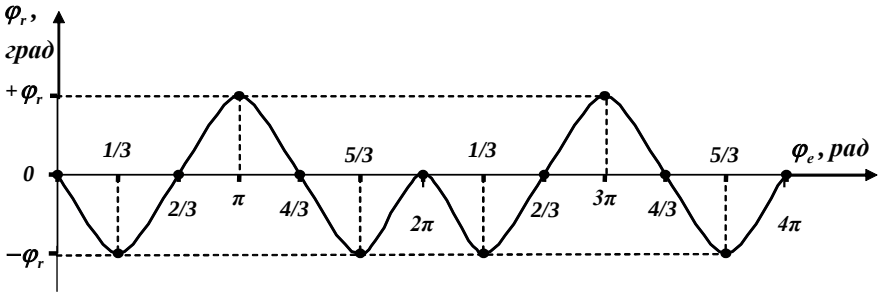

Рисунок 2 – Графічна модель коливань молотка:

φ_r – кут відхилення молотка; φ_e – кут повороту ротора.

Залежність періодів обертання ротора і коливань молотка

$$T_e = (N + 0{,}5)T_r, \quad \text{або} \quad \omega_r / \omega_e = (N + 0{,}5), \qquad (1)$$

де T_e - період обертання ротора, с; T_r - період коливань молотка, с; ω_e - частота обертання ротора, $с^{-1}$; ω_r - частота коливань молотка, $с^{-1}$;

N - ціле число $0, 1, 2, 3\ldots$

З метою виявлення відомостей, при якому значенні показника лінійного співвідношення ротора виконується вимога досягнення максимальної швидкості і мінімальних кутів відхилення молотка в момент початку удару, необхідно провести серію дослідів на спеціально розробленій і виготовленій установці.

4 Оснащення роботи приладами та механізмами

Установка (рисунок 3) змонтована на основі 1, яка одночасно містить елементи електричної схеми.

Для проведення дослідів при різних кутових швидкостях диска, привод якого здійснюється двигуном 3 постійного струму (ПЛО-7-2 з номінальною потужністю 110 Вт), підключеного через напівпровідниковий блок живлення до мережі перемінного струму. Регулювання числа обертів виконується лінійним автотрансформатором, включеним у ланцюг обмотки ротора двигуна. Для виміру швидкості обертання диска вал двигуна з’єднаний з валом тахогенератора 7, до клем якого підключений прилад, що фіксує частоту обертання диска 4 з маятником.

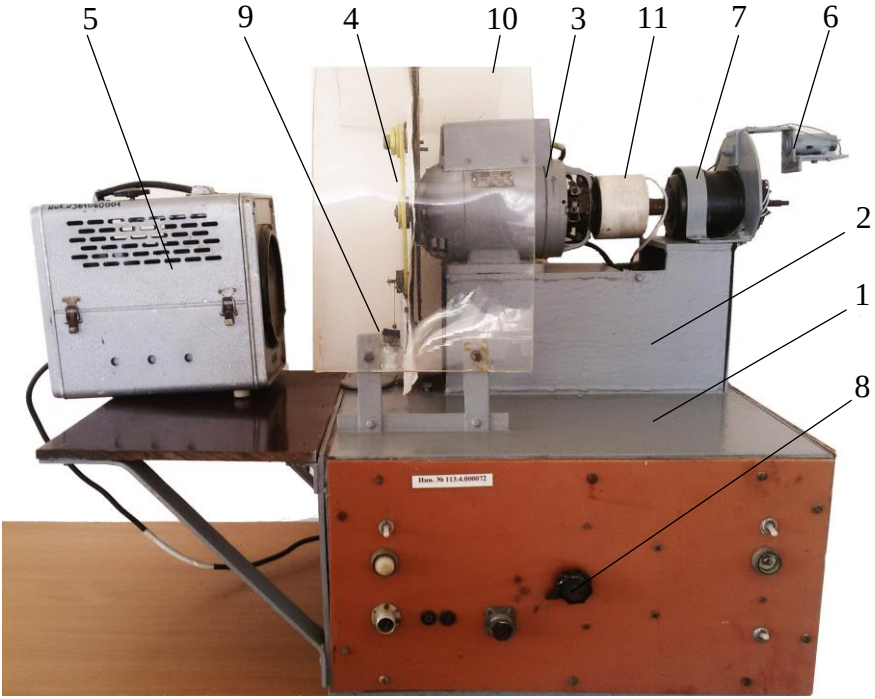

Рисунок 3 – Установка для досліджень коливань моделі молотка

1 - основа; 2 - корпус; 3 - електродвигун; 4 - диск; 5 - тахометр стробоскопічний; 6 - датчик тахометра; 7 - тахогенератор; 8 - регулятор частоти обертання; 9 - пристрій навантаження; 10 - кожух захисний; 11 механізм вмикання.

Маятник 1 (рисунок 4), що складається зі сталевої кульки та гнучкої капронової нитки, моделює молоток дробарки, який закріплений на диску 6 за допомогою гвинта. Таке закріплення дозволяє легко змінювати довжину маятника і, відповідно, значення показника лінійного співвідношення між радіусом підвісу $\boldsymbol{r_o}$ і приведеною довжиною молотка $\boldsymbol{l_{пр}}$.

Вісь підвісу маятника вільно обертається в підшипниках, що встановлені на диску 6. У зв’язку з незначністю опору повороту осі і дуже малими масами нитки і кульки маятник установки з достатнім ступенем точності можна прийняти за математичний, а відстань від осі пальця до центра кульки рівною приведеній довжині молотка.

На диску закріплена шкала кутових амплітуд коливань маятника 2, яка обертається разом з диском 6. Центр цієї шкали сполучений з віссю підвісу маятника, а її нульова відмітка розташована на радіусі диска.

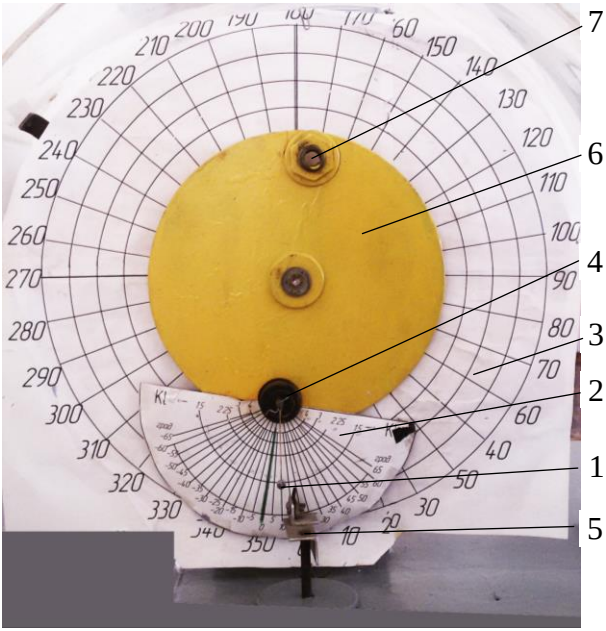

Рисунок 4 – Система шкал експериментальної установки
1- модель молотка (математичний маятник); 2- шкала кутового відхилення моделі молотка; 3- шкала кутового положення осі підвісу молотка; 4- вісь підвісу молотка; 5- механізм створення опору; 6- диск; 7- противага.

Положення шкали 2 і разом з нею осі підвісу маятника в кожен момент часу можна визначати за круговою шкалою 3, закріпленій разом із захисним кожухом 10 нерухомо на корпусі 1 (рисунок 3).

Нульова відмітка нерухомої шкали розташована внизу. При кожному оберті вала контакт механізму вмикання 11, встановлений на рухомому текстолітовому кільці, замикає сталеві пружинні контакти електричного ланцюга стробоскопа 5. Безінерційна лампа стробоскопа при кожному оберті висвітлює на мить диск і маятник, причому вони і шкала представляються спостерігачеві нерухомими.

Це дозволяє відраховувати за нерухомою шкалою 3 кут повороту осі, а за рухомою шкалою 2 – кут відхилення маятника від радіально-рівноважного положення. Механізм вмикання лампи 11 дозволяє вільний поворот втулки на будь-який кут. Обмежується поворот втулки кутом 360° за допомогою гвинта і обмежувача. Поворотом втулки разом із пружинними контактами, здійснюваним при обертанні диска, досягається змінення моменту вмикання лампи стробоскопа і, відповідно, миттєве висвітлення маятника при будь-яких, наперед обраних положеннях його осі підвісу.

Коливання маятника збуджуються механізмом створення опору 5 (рисунок 4), що складається з гумової пластини, об яку при кожному оберті диска вдаряється кулька маятника.

Пластина за допомогою кронштейна закріплена на гвинті, підйом і опускання якого здійснюється поворотом гайки. Регулюванням розташування пластини по висоті досягають ударів кульки по одній і тій же площадці пластини при різній довжині маятника. Ця площадка відзначена зафарбованою плямою. Реакція пластини імітує реакцію порцій матеріалу, що надходять у дробильну камеру.

При русі в продуктово-повітряному шарі робочої камери відбувається безліч зіткнень молотка з твердими частками шару, але вони менш інтенсивні, мають безладний, хаотичний, неперіодичний характер.

Контактування ж молотків з порціями матеріалу, що надходять у камеру, мають періодичний характер, що визначає коливання молотка. Тому дослідження періодичних коливань маятника проводяться з однією пластиною.

На основі теоретичної залежності для визначення відносної швидкості фізичного маятника на осі, що обертається, будується в графічному вигляді динаміка змінення відносної швидкості молотка за один оберт ротора при наступних значеннях показника лінійного співвідношення ротора: $\kappa_L=1,5$; $\kappa_L=2,25$; $\kappa_L=3$; $\kappa_L=4$ (рисунок 5).

Оскільки при коливанні фізичного маятника швидкість центра мас максимальна при куту відхилення, який наближається до нуля, за характером кривої відносної швидкості досить легко спостерігати змінення відносного зазору.

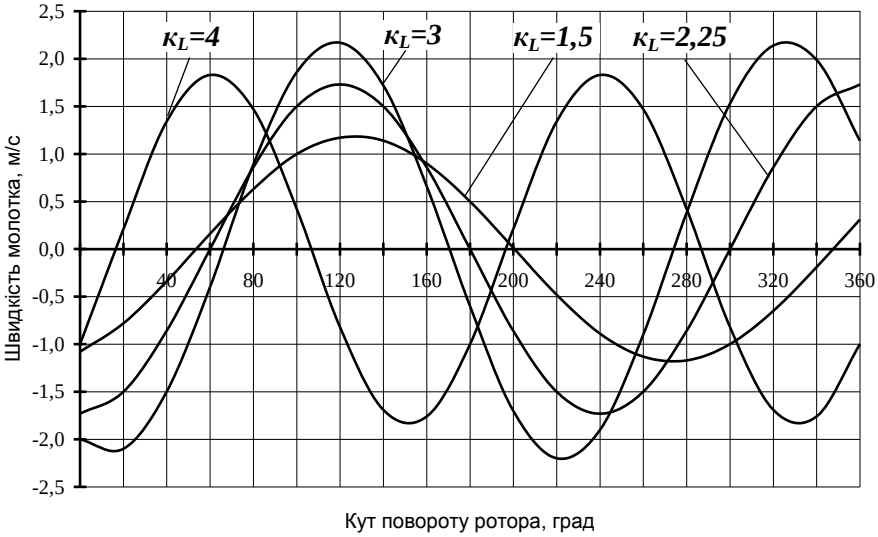

Рисунок 5 – Графіки відносної швидкості молотка

Значення і характер кривих при куті повороту ротора дають змогу визначити напрямок та величину відносної швидкості молотка в момент безпосередньо перед ударом у зоні завантаження.

Характер кривизни графіка κ_L=1,5 (рисунок 5) показує, що молоток, пройшовши кут максимального відхилення, рухається в сторону удару (знак "+"), але не встигає досягнути максимального значення швидкості до удару. Крива, побудована за експериментальними даними підтверджує висновок М.М. Гернета про „хитливість“ руху молотка при значеннях радіуса підвісу, близьких до приведеної довжини молотка (тобто показник ротора κ_L=1,5); оскільки крім визначених, спостерігається ще й „накладення“ коливань з малою амплітудою і високою частотою (вібрація).

Аналогічне дослідження кривої κ_L=3 показує, що молоток в момент удару, пройшовши радіальне положення, наближається до максимального кута відхилення, відповідно зменшуючи енергію удару.

Значення кривої $\kappa_L=4$ після проходження максимального кута відхилення досягає екстремуму, що свідчить про проходження радіального положення, і в момент перед ударом молоток рухається до положення максимального кута відхилення в бік, протилежний напрямку удару.

Аналіз показує, що лише при значені показника лінійного співвідношення $\kappa_L=2,25$ вектор відносної швидкості молотка направлений в сторону удару, значення його наближається до максимуму, відповідно відносний зазор близький до мінімального значення.

5 Методика проведення роботи

Зафіксувати кути відхилення фізичного маятника (φ_r). Для цього використати явище стробоскопічного ефекту під час обертання ротора, для визначення відносної швидкості у коливальному русі при значеннях показника лінійного співвідношення ротора $k_L = 1,5; 2,25; 3; 4$.

Відстань r_o від осі обертання диска до осі підвісу маятника у всіх дослідах цієї серії постійна і дорівнює $0,09$ м. Довжина $l_{пр}$ маятника послідовно встановлюється рівною $0,0225$; $0,030$; $0,040$; $0,060$ м, що відповідало значенням показника лінійного співвідношення k_L 4; 3; $2,25$; $1,5$.

З метою збереження постійної величини кінетичної енергії кульки при ударі на різних довжинах маятника кутові швидкості обертання ω_e диска підбиралися так, щоб величина кінетичної енергії

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{m(r_o + l_{пр})^2 \cdot \omega_e^2}{2}$$ була постійною.

Для маятника довжиною $l_{пр}= 0,030$ м прийняте значення кутової швидкості $\omega_{e30} = 104,7$ рад/с (відповідне $n = 1000$ об/хв.), також прийняті $\omega_{e22,5} = 111,7$ рад/с, $\omega_{e40} = 96,6$ рад/с, $\omega_{e60} = 83,8$ рад/с, $\omega_{e90} = 69,8$ рад/с. З маятником довжиною $l_{зв}=0,040$ м ($k_L=2,25$) досліди проводяться також при кутових швидкостях обертання диска $\omega_e = 73; 104,7; 125,6; 175,1$ рад/с.

При зазначених значеннях ω_{e30} відцентрова сила маси кульки маятника більша за силу ваги в:

$$\frac{m(r_o + l_{пр})^2 \cdot \omega_e^2}{2} = \frac{(0{,}09 + 0{,}03) \cdot 104{,}8^2}{9{,}81} \approx 13{,}7 \text{ разів.}$$

у зв'язку з чим коливання, викликані зміненнями моменту гравітаційних сил ваги маятника при його обертанні, настільки незначні, що в дослідах, проведених без удару кульки об пластину відхилення маятника від радіально-рівноважного стану в усіх положеннях осі підвісу є практично непомітним.

Одержані значення відхилень моделі молотка занести в звіт у вигляді таблиці 1

Таблиця 1 – Значення кутів відхилення молотка від радіального положення

Значення k_L	Кут повороту диска φ_e, град.																	
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
1,50																			
2,25																			
3,00																			
4,00																			

Побудувати графіки відносного руху моделі молотка при значеннях показника лінійного співвідношення ***4; 3; 2,25; 1,5*** за зразком рисунка 5.

Рисунок 6 – До побудови графіка за даними експерименту

6 Вимоги безпеки

Під час проведення роботи додержуватись загальної інструкції з охорони праці, наведених в розділі „Загальні вимоги безпеки“.

7 Контрольні питання

1 Вкажіть причину відхилення молотка дробарки від радіального положення в процесі роботи?

2 Чому рух шарнірно закріпленого молотка є складним?

3 Який рух вважається переносним в системі „барабан-молоток“?

4 Який рух вважається відносним в системі „барабан-молоток“?

5 Назвіть найбільш сприятливі умови для ударного подрібнення молотковими дробарками.

6 Опишіть фізичну суть показника лінійного співвідношення ротора.

7 З яких основних частин складається експериментальна установка для дослідження складного руху молотка дробарки?

8 Опишіть методику виконання експериментальної частини даної лабораторної роботи.

9 Знайдіть на графіку відносного руху молотка точки, де молоток приймає радіальне положення.

10 Знайдіть на графіку відносного руху молотка максимальні відхилення молотка.

11 Охарактеризуйте кінематичні властивості молотка в екстремальних точках та радіальних положеннях

12 Чому в експерименті не враховується маса сталевої кульки маятника?

8 Тестові завдання

1) Яке явище використовується для фіксації кутів відхилення моделі молотка?

1 сингулярний ефект; 2 стробоскопічний ефект;

3 стереоскопічний ефект.

2) При якому значені показника лінійного співвідношення κ_L вектор відносної швидкості молотка направлений в сторону удару?

1 $\kappa_L=1,5$; $\kappa_L=2,25$; $\kappa_L=3,0$.

3) З якою метою потрібно визначати приведену довжину молотка дробарки?

1 для визначення приведеної маси молотка;

2 для визначення моменту інерції маси молотка;

3 для визначення допустимого зазору між молотком і декою.

4) Яке співвідношення R_n/l_k (радіуса осі підвісу до приведеної довжини) вважається самим вигідним?

1 $R_n/l_k = 1$; 2 $R_n/l_k = 2$; 3 $R_n/l_k = 4$.

5) З якою метою потрібно визначати момент інерції маси молотка дробарки?

1 для забезпечення виникнення явища резонансу в барабані;

2 з метою забезпечення раціональної динаміки барабана;

3 з метою визначення оптимального пускового моменту барабана.

Література

1. Ялпачик Ф.Ю. Кормодробилки конструкция, расчет / Ф.Ю. Ялпачик, Г.С. Ялпачик. Запорожье, Коммунар 1992. - 290 с.

2. Ялпачик Ф.Е. Влияние износа молотков кормодробилки на передачу ударов по осям подвеса. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Научно-технический сборник. Выпуск 69. Киев: Урожай, 1989.

3. Лабораторный практикум по процессам і аппаратам пищевых производств. Под ред. А.С. Гинзбурга. Москва. Агропромиздат. 1990. - 256 с.

4. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. / С.В, Мельников. – Л.: Колос 1978. 560 с.