

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
“Автоматизація виробничих процесів”
для студентів спеціальності 131 „Прикладна механіка”
освітньої програми „Технології машинобудування”
усіх форм навчання

2022

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Автоматизація виробничих процесів” для студентів спеціальності 131 „Прикладна механіка” освітньої програми „Технології машинобудування” усіх форм навчання. /Укл. С.І. Дядя, В.М.Паміров, В.М.Томілін– Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022.- 23с.

Укладачі: С.І. Дядя, доц., к.т.н.
В.М. Паміров, зав. лаб. каф. ТМБ
В.М. Томілін, зав. лаб. каф. ТМБ

Рецензент: Н.В. Гончар, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: С.І.Паміров

Затверджено
на засіданні кафедри
“Технології машинобудування”
протокол № 1 від 29.08.2022р.

Рекомендовано до видання
НМК М ф-та
Протокол № 1 від 22.09.2022

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1 Ознайомлення з конструкцією та знімання статичних характеристик датчиків	4
Лабораторна робота №2 Вивчення принципу роботи та знімання статичних характеристик сельсинів	10
Лабораторна робота №3 Точність настроювання та продуктивність токарних верстатів за різних умов автоматизації	16
Лабораторна робота №4 Вивчення принципу роботи та визначення продуктивності вібробункеру	18

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З КОНСТРУКЦІЄЮ ТА ЗНІМАННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ

1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією та принципом роботи датчиків (див. додаток). Визначити залежність $i=f(x)$ для якірного та плунжерного індуктивних датчиків.

2 Устаткування, прилади та інструмент

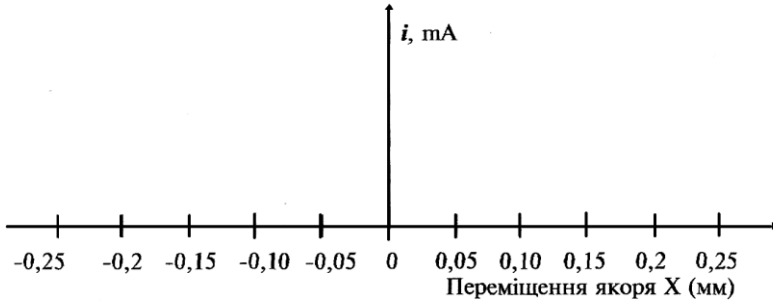
- лабораторний стенд з якірним диференціальним індуктивним датчиком;
- лабораторний стенд з плунжерним диференціальним індуктивним датчиком;
- годинник індикаторний - 3 шт.

3 Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію та принцип роботи датчиків.
2. Визначити залежність $i=f(x)$ для якірного та плунжерного індуктивних датчиків, для чого:
 - а) ввімкнути стенд в мережу змінного струму з напругою 220В;
 - б) встановити якір (плунжер) в середнє положення, яке для першого визначається за мінімальним показанням міліамперметра, а для другого за найбільшим;
 - в) встановити індикатор 5 (рис. 1.1, 1.2) на середину діапазону вимірювання та повернути шкалу, так щоб стрілка співпала з нулем;
 - г) за допомогою гвинта 4 здійснювати крокові переміщення якоря по 0,05 мм чи плунжера по 0,5 мм спочатку в один, а потім в інший бік від середнього положення. Для кожного фіксованого положення якоря чи плунжера знімають показання міліамперметра і записують в таблиці 1.1 і 1.2. Досліди повторюють не менш 3-х разів. Загальне переміщення якоря не повинно перебільшувати $\pm 0,25$ мм, а плунжера ± 5 мм;
 - д) по середнім значенням дослідних даних побудувати характеристики залежності струму i від переміщення X датчиків;
 - е) із графіків визначити чутливість датчиків.

Таблиця 1.1 – Таблиця та графік залежності вихідного струму якірного індуктивного датчика від переміщення якоря

№ дос- ліду	Переміщення якоря, мм											
	-0,25	-0,2	-0,15	-0,1	-0,05	0	+0,05	+0,1	+0,15	+0,2	+0,25	
1												
2												
3												
i_{cp}												

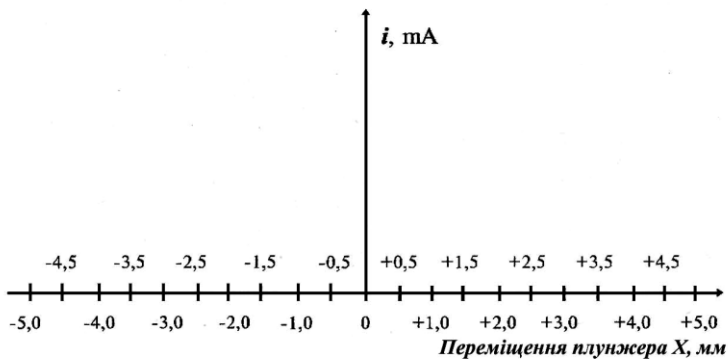


ж) зробити висновки по точності індуктивних датчиків.

В висновках необхідно відмітити відповідність отриманих експериментальних даних теоретичним і пояснити можливі розходження.

Таблиця 1.2 – Таблиця та графік залежності вихідного струму плунжерного індуктивного датчика від переміщення плунжера

№ досліду	Переміщення плунжера, мм																					
	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0	+0,5	+1,0	+1,5	+2,0	+2,5	+3,0	+3,5	+4,0	+4,5	+5,0	
1																						
2																						
3																						
i_{cp}																						



4 Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Устаткування, прилади та інструмент.
4. Таблиці 1.1 та 1.2 з результатами.
5. Графіки залежностей.

6. Висновки.

5 Вказівки з техніки безпеки

Застерігаючи травмування при виконанні роботи необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

- не виконувати монтажні, ремонтні, дослідні та інші роботи з струмонесними частинами обладнання при ввімкненому живленні датчиків.

6 Конструкція та принцип роботи датчиків Якірний індуктивний датчик

У системах автоматики застосовуються для вимірювання малих переміщень (до 0,5 мм) та перетворювання їх в електричний сигнал. Схема датчика показана на рис. 1.1

Датчик складається з двох дроселів із змінним повітряним зазором. Повітряний зазор як одного, так і другого дроселя змінюється за допомогою одного загального якоря 1.

При середньому положенні якоря повітряні зазори обох дроселів δ_1 та δ_2 будуть однакові. Індуктивні опори котушок дроселів 2 і 3 будуть однакові. При відхиленні якоря від середнього положення повітряний зазор у одній котушки збільшується, а в другій зменшується. Відповідно, індуктивний опір першої котушки зменшується, а другої збільшується.

Вхідною величиною датчика є механічне переміщення якоря, вихідною - струм i при заданій напрузі U . Величина струму, що проходить через котушку одного з дроселів:

$$i = \frac{U}{z},$$

де $z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}$ - уявний опір котушки датчика;

R – активний опір котушки (Ом);

ω - кутова частота змінного струму;

L – індуктивність котушки (Гц);

$$L = \frac{n^2 \cdot 10^{-3}}{R_{CT} + \frac{2 \cdot \delta}{0,4 \cdot \pi \cdot S_M}},$$

де n – число витків котушки;

R_{CT} – опір магнітопроводу;

S_M – площа магнітопроводу;

δ - повітряний зазор.

У ходових конструкцій датчиків $R \ll \frac{2 \cdot \delta}{0,4 \cdot \pi \cdot S_i}$ та $R \ll L$

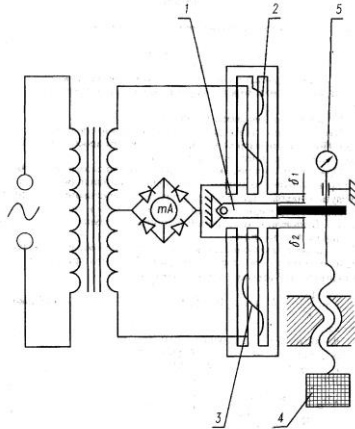


Рисунок 1.1 – Схема якірного індуктивного датчика

Нехтуючи величинами R_{CT} та R , без великої похибки можна вважати, що уявний опір однієї котушки дорівнює:

$$z = \omega \cdot L = \frac{0,2 \cdot n^2 \cdot S_i \cdot \omega}{\delta} \cdot 10^{-3} (\text{Ом})$$

Струм, що проходить крізь котушки:

$$i = \frac{U \cdot \delta \cdot 10^8}{0,2 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot S_i \cdot \omega} (\text{А})$$

Струм, що проходить крізь обидві котушки датчика, буде в 2 рази більший $i_g = 2i$.

Початковий повітряний зазор обирається у межах $0,2+0,5$ мм. При $\delta=0,5$ мм - дуже зменшується чутливість датчику.

Плунжерний диференціальний індуктивний датчик

В системах автоматики застосовується у тих випадках, коли необхідно вимірювати великі переміщення.

Схема датчика показана на рис. 1.2.

Циліндричний сталевий якір (плунжер) 1 переміщується у середині однакових котушок 2 і 3, в ввімкнених за диференціальною схемою.

Реактивний опір котушок залежить від положення плунжеру. При зміщенні плунжеру від середнього положення реактивний опір котушок змінюється в протилежних напрямках та у випрямляча з'являється струм, пропорційний зміщенню плунжера.

Випрямлення змінного струму здійснюється за допомогою двохнапівперіодного випрямляча.

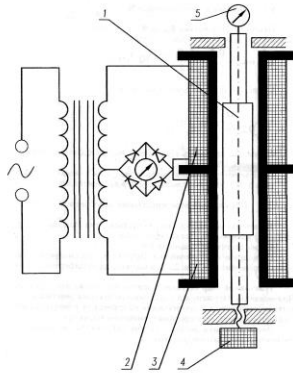


Рисунок 1.2 – Схема плунжерного диференціального індуктивного датчика

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ТА ЗНІМАННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЬСИНІВ

1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією та принципом роботи сельсин – датчика (СД) та сельсин - приймача (СП), схемою включення і принципом роботи сельсинів в індикаторному (дистанційна передача кутових переміщень) та у трансформаторному режимах, визначення точності дистанційної передачі кутових переміщень при роботі сельсинів у індикаторному режимі, визначення залежності вихідної напруги сельсин - трансформатора від кута розузгодження θ .

2 Устаткування, прилади та інструмент

- лабораторний стенд, який складається з сельсина – датчика (СД), сельсина – приймача (СП), блока цифрової індикації (БЦІ).

3 Порядок виконання

1. Ознайомитися з конструкцією СД і СП та порядком вмикання пристрою цифрової індикації .

2. Скласти схеми вмикання СД і СП і вивчити принцип роботи сельсинів в індикаторному та трансформаторному режимах (див. додаток)

3. Визначити точність дистанційної передачі кутових переміщень при роботі сельсинів в індикаторному режимі , для чого :

а) перемикач роду роботи встановити в положення «Індикаторний режим»;

б) включити мережу змінного струму 220В;

в) встановити шкали роторів СД і СП на 0 ;

г) обертанням СД послідовно задавати кути повороту, які дорівнюють 10° , 20° , 30° , ..., 350° , 360° . Для кожного фіксованого значення кута повороту СД визначити кут повороту СП в градусах і записати в табл. 2.1 ;

д) аналогічно повторити дослід (експеримент) , але при обертанні ротора СД у протилежному напрямі ;

е) визначити розгалуження $\theta = \beta - \alpha$ при обертанні ротора СД праворуч та ліворуч .

4. Визначити залежність вихідної напруги сельсин – трансформатора від кута розгалуження, для чого :

а) встановити перемикач роду роботи у положення «Трансформаторний режим»;

б) встановити ротори СД і СП на 0 по шкалам;

в) повернути ротор СП на кут 90° для отримання нульового показання приладу, закріпити його у цьому положенні ;

г) послідовно обертати ротор СД та через кожні 10° кута повороту (розузгодження) визначати зміни показань на БЦІ. Дані записати до табл.2.2;

д) після експерименту відімкнути живлення ;

е) по експериментальним даним побудувати графік залежності вихідного струму від кута розузгодження $I_{\text{вих}}=f(\theta)$ (рис.1).

5.Скласти звіт з лабораторної роботи .

Таблиця 2.1

Кут обертуту ротора СД $\alpha, ^\circ$	Кут обертуту ротора СП $\beta, ^\circ$ (праве обертання)	Кут обертуту ротора СП $\beta_1, ^\circ$ (ліве обертання)	Кут розузгодження $\theta = \beta - \alpha$ (праве обертання)	Кут розузгодження $\theta = \beta_1 - \alpha$ (ліве обертання)
10				
.....				
360				

Таблиця 2.2

град		10	20	30	40	360
Вихідний струм	1										
	2										
	3										
	$i_{\text{сеп}}$										

4. Зміст звіту

1. Назва роботи, мета

2. Схеми вмикання сельсинів в індикаторному та трансформаторному режимах.
3. Таблиці досліджених даних.
4. Графіки.
5. Висновки.

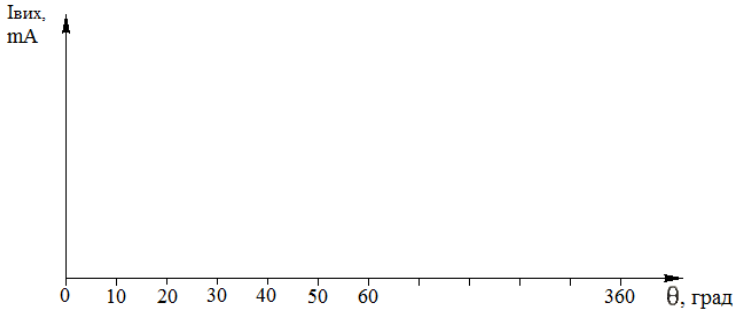


Рисунок 2.1. - Залежність вихідного струму сельсин – трансформатора від кута розузгодження

5. Вказівки з техніки безпеки

Запобігаючи травмування при виконанні роботи необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

- не виконувати монтажні, ремонтні, дослідні та інші роботи з струмонесними частинами обладнання при ввімкненому живленні сельсинів.

6 Конструкція та принцип роботи сельсинів

Конструктивно сельсин – датчик (СД) і сельсин – приймач (СП) виконані за типом синхронних машин перемінного струму, але значно менших розмірів. Однофазна обмотка укладена на статорі з чітко вираженими полюсами, а трьохфазна – на роторі з неявно вираженими полюсами.

Індикаторний режим

Схема вмикання обмоток сельсинів при дистанційній самоналагоджувальній передачі кутових переміщень показана на рис.2.2.

Перемінне напруження живлення створює в статорних обмотках пульсуючі магнітні потоки $\Phi_i = \Phi \sin \omega t$, напрямком, яких співпадає з напрямком осей статорних обмоток. Ці магнітні потоки індуктують в обмотках роторів ЕДС, величина яких залежить від розташування осей обмоток роторів відносно обмоток статора.

$$E_1 = E_m \cos \beta$$

$$E_2 = E_m \cos (\beta - 120^\circ)$$

$$E_3 = E_m \cos (\beta + 120^\circ)$$

де E_m – максимальне значення ЕДС фазової обмотки ротора, коли вісь її співпадає з віссю статорної обмотки.

При $\alpha = \beta$ ЕДС у відповідних обмотках 1-1', 2-2', 3-3' рівні між собою та протилежні за напрямком, внаслідок чого результуючі ЕДС в кожній парі з'єднаних обмоток дорівнюють 0 і струм в ланцюзі роторів відсутній: $I_1 = I_2 = I_3 = 0$.

Якщо ротор СД повернути на деякий кут $\theta = \alpha - \beta$ відносно ротора СП, то результуючі ЕДС у відповідних обмотках роторів не дорівнюють 0, і в ланцюгах роторів виникають зрівнювальні струми I_1, I_2, I_3 . З'являється синхронізуючий момент $M_{\text{сун.}} = M_{\text{max}} \sin \theta$, де M_{max} – найбільший синхронізуючий момент для цієї конструкції сельсинів.

Ця формула справедлива тільки для статистичних режимів і для невеликих швидкостей обертання ($n \leq 500-600$ об/хв.). Стійкими є положення при $\theta = 0^\circ$ та $\theta = 360^\circ$. Кут розузгодження (похибка) передачі залежить від похибки виготовлення сельсинів та робочого моменту M_p валу СП.

$$M_p = M_{\text{тертя}} + M_{\text{навантаження}}$$

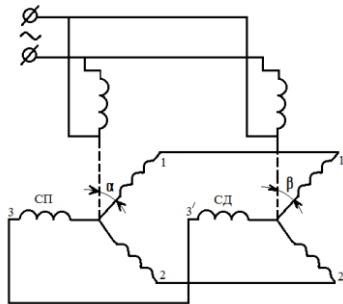


Рисунок 2.2 – Схема роботи сельсинів в індикаторному режимі

Похибка (кут розузгодження) від M_p визначається за формулою :

$$B = \arcsin \frac{M_p}{M_{max}}$$

Трансформаторний режим

Сельсини в трансформаторному режимі використовуються в слідкуючих системах для отримання сигналу похибки виконавчого механізму, використовуємо для здійснення потужного слідкуючого руху.

Схема вмикання сельсинів в трансформаторному режимі показана рис.2.3.

Магнітний потік обмотки збудження сельсин – датчика СД індуктує в фазових обмотках та обмотках його ротора ЕДС.

$$E_1 = E_m \cos \beta$$

$$E_2 = E_m \cos (\beta - 120^\circ)$$

$$E_3 = E_m \cos (\beta + 120^\circ)$$

Так як в обмотках ротора СП ніякі додаткові ЕДС не наводяться , то для фазових струмів можна записати :

$$I_1 = \frac{E_1}{2z} \quad I_2 = \frac{E_2}{2z} \quad I_3 = \frac{E_3}{2z}$$

де z -повний опір кожної обмотки .

Ці струми створюють перемінні магнітні потоки котушок 1,2,3, які в однофазній статорній обмотці сельсин – трансформатора будуть індукувати ЕДС:

$$E'_1 = A \cdot I_1 \cos \beta$$

$$E'_2 = A \cdot I_2 \cos (\beta - 120^\circ)$$

$$E'_3 = A \cdot I_3 \cos (\beta + 120^\circ)$$

де A - коефіцієнт пропорційності .

Сумарна ЕДС , діюча на затискаях α та β статорній обмотці сельсин – трансформатора буде дорівнювати

$$U_{вих} = E_1 + E_2 + E_3$$

Підставимо значення $E_1, E_2, E_3, I_1, I_2, I_3$, та E_1', E_2', E_3' . Після виконання тригонометричних перетворень отримаємо остаточно :

$$U_{\text{вих}} = U_m \cos(\beta - \alpha) = U_m \cos \theta,$$

Де $\theta = \beta - \alpha$ - кут розузгодження. Таким чином, напруга на затискачах однофазної обмотки сельсин – трансформатора не залежить від кутового положення ротора, а залежить від кута розузгодження θ .

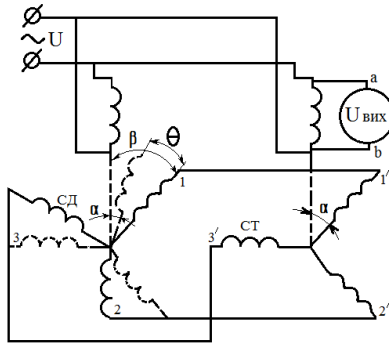


Рисунок 2.3 – Схема роботи сельсинів в трансформаторному режимі

Для практичного застосування зручніше, щоб в узгодженому положенні при $\theta=0$ напругення $U_{\text{вих}}=0$

Це досягається за рахунок повороту ротора СТ на 90° . У цьому разі кут $\theta'=90+\theta$ і $U = U \sin \theta$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ТОЧНІСТЬ НАСТРОЮВАННЯ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ ЗА РІЗНИХ УМОВ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією механізмів настроювання токарних верстатів та визначити точність та продуктивність, що забезпечуються при їх використанні..

2 Устаткування, прилади та інструмент

- токарний верстат 16К20;
- токарний верстат з ЧПУ WL320;
- індуктивний датчик, АЦП Е 140;
- оправка.
- ноутбук

3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з принципом настроювання інструменту при обробці на токарних верстатах.
2. Підготувати до проведення роботи токарний верстат з ручним управлінням 16К20, встановивши жорсткий упор і лімб поперечного переміщення супорту на 0, та токарний верстат з ЧПУ WL320, встановивши програму переміщення супорту.
3. Налаштувати вимірювальну систему.
4. Провести настроювання інструменту відносно деталі з використанням жорсткого упору, лімбу та програми ЧПУ з записом отриманих результатів.
5. Заповнити таблицю 3.1, записати в неї час, затрачений на настроювання, точність настроювання з використанням жорсткого упору, лімбу та програми ЧПУ.

4 Зміст звіту

1. Назва роботи.

2. Мета роботи.
3. Устаткування, прилади та інструмент.
4. Таблиця 3.1 з результатами.
5. Висновки.

Таблиця 3.1 – Точність настроювання та використаний час

№	Вид настроювання	Точність, мм	Час, с
1	по жорсткому упору		
2	по лімбу		
3	по програмі ЧПУ		

5 Вказівки з техніки безпеки

Запобігаючи травмування при виконанні роботи необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

- не включати верстат без дозволу викладача.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВІБРОБУНКЕРУ

1 Мета роботи

Вивчити улаштування та роботу вібраційного споживача; визначити продуктивність вібробункера в залежності від різних факторів.

2 Устаткування, прилади та інструмент

- вібробункер з одним вертикально розміщеним електромагнітним вібратором;
- автотрансформатор, який дозволяє регулювати напругу на обмотках електромагніту у межах $\sim U = 0 \dots 300 \text{ В}$;
- індуктивний датчик, АЦП Е 140;
- магнітна стійка;
- деталі $D_{\max} = 20 \text{ мм}$.

3 Порядок виконання роботи

1. Виміряти за допомогою хронометра швидкість руху заготовки та визначити фактичну продуктивність вібробункера Q_{ϕ} при різних значеннях напруги U на електромагніті. Данні вимірювань занести до таблиці 4.1.

2. Виміряти за допомогою вібродатчика переміщення лотка в горизонтальній A_{Γ} та вертикальній $A_{\text{в}}$ площинах при тих же, що і в п. 1 значеннях напруги U на електромагніті. Дані вимірювань занести до таблиці 4.2.

3. За результатами розрахунків визначити теоретичну продуктивність $Q_{\text{т}}$. Результати занести до таблиці 4.2.

4. Побудувати графіки, які виражають залежність параметрів.

$$Q_{\phi}=f(U) \text{ та } Q_{\text{т}}=f(U)$$

5. Скласти звіт та зробити висновки по роботі.

Таблиця 4.1

Напруга, В	Час руху заготовок по лотку за один крок	Швидкість, V_3 мм/сек	Фактична продуктивність, шт/хв
127			
220			
260			

Таблиця 4.2

Напруга, В	Амплітуда коливань, мм		Швидкість, $V_{зт}$ мм/сек	Теоретична продуктивність, шт/хв
	$A_{г}$	$A_{в}$		
127				
220				
260				

4 Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Устаткування, прилади та інструмент.
4. Результати вимірювань та розрахунків.
5. Графіки залежностей продуктивності вібробункера від напруги.
6. Висновки

5 Вказівки з техніки безпеки

Запобігаючи травмування при виконанні роботи необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

- не виконувати монтажні, ремонтні, дослідні та інші роботи з струмонесними частинами обладнання при ввімкненому живленні вібробункера.

Конструкція та принцип дії вібробункеру

Вібробункер (рис.5.1) складається з циліндричної чаші 1, на внутрішній поверхні якої виконана спіральна доріжка (лоток) прямокутної форми. Кут нахилу спірального лотка $\alpha = 2,8^\circ$.

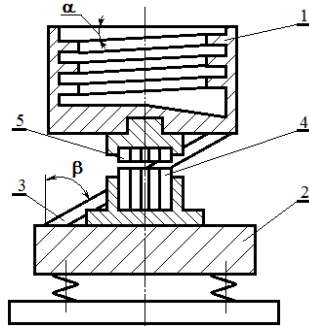


Рисунок 5.1 – Конструкція вібробункеру

Розміри лотка декілька більше розмірів заготовок, що дозволяє їм рухатися по лотку тільки в один ряд. У верхній частині лотка передбачений скидач, який пропускає по лотку заготовки тільки у визначеному положенні і скидає заготовки у нижню частину чаші, якщо вони знаходяться в іншому положенні.

Чаша 1 кріпиться до основи 2 за допомогою трьох плоских пружин 3, нахилених під кутом $\beta = 21,8^\circ$ до вертикальної осі вібробункера. Коливальний рух здійснюється від електромагнітного вібратора, який складається з статора 4 (електромагніту), жорстко зв'язаного з основою і якоря 5 (пластини), прикріпленого до днища чаші. Зазор між якорем та електромагнітом устанавлюється в межах $(0,1 \dots 1,0)10^{-3}$ м. Обмотка вібратора через випрямляч включається у мережу змінного струму з величиною напруги $\sim U=220$ В та частотою $\nu=50$ Гц. Так як випрямлювач буде пропускати струм тільки в ході одного напівперіоду (який іде у одному напрямку), то якорь за час одного періоду буде притягуватися статором один раз. У зв'язку з цим частота збуджуючого зусилля, яке передається вібратором на чашу з заготовками, буде дорівнювати частоті змінного струму, тобто $\nu = 50$ Гц.

Визначення продуктивності вібробункера

Конструкція вібробункера повинна забезпечувати надійну його роботу у оптимальному для даних заготовок режимі з заданою продуктивністю.

Параметри оптимального режиму роботи вібробункера залежать від частоти коливання чаші, конфігурації заготовок та швидкості їх руху. Фактична продуктивність (шт/хв) вібробункера визначається за формулою:

$$Q_{\Phi} = \frac{60 \cdot V_3}{D_{\text{зmax}}} \cdot k_3$$

де V_3 – швидкість руху заготовки по лотку, мм/сек;

$D_{\text{зmax}}$ – максимальний діаметр заготовки, мм;

k_3 – коефіцієнт заповнення, який враховує розриви у потоці заготовок, що рухаються по лотку, та залежний від способу орієнтації. При орієнтації шляхом зміни положення заготовки на лотку без скидання її у чашу $k_3 = 0,7 \dots 0,9$, при орієнтації зі скиданням заготовок $k_3 = 0,35 \dots 0,55$, в залежності від кількості ступенів орієнтації.

Швидкість руху заготовок по лотку(мм/сек) визначається експериментальним шляхом заміру часу, за який мічена заготовка переміститься на 1 виток:

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_{\text{лф}}}{\tau \cdot \cos \alpha}$$

де $D_{\text{лф}}$ – середній діаметр лотка, мм;

τ – час переміщення заготовки на 1 виток, сек;

α – кут нахилу лотка.

Теоретична швидкість переміщення заготовки (мм/сек) визначається по формулі:

$$V_{\text{ст}} = 2\pi\nu A_{\Gamma} k_c$$

де ν – частота коливань чаші (50 Гц);

A_{Γ} – амплітуда коливань лотка у горизонтальній площині, мм;

k_c – коефіцієнт швидкості.

Амплітуда коливань чаші вібробункера у вертикальній (A_v) та горизонтальній (A_n) площині вимірюється спеціальним індуктивним датчиком.

Коефіцієнт k_c – попередньо визначається по графіку (Додаток А) в залежності від коефіцієнтів k_α та k_β при значенні параметра режиму роботи вібробункера $\zeta = 1,6$.

$$k_\alpha = \frac{\text{tg}\alpha}{f} \quad ; \quad k_\beta = \frac{\text{ctg}(\beta-\alpha)}{f}$$

де f – коефіцієнт тертя (Додаток В)

Уточнюємо значення параметра ζ .

$$\xi = \frac{A_v \cdot \omega}{2g \cdot \cos \alpha}$$

де A_v – вертикальна амплітуда коливань чаші, мм;

ω – кутова частота коливань чаші

$$\omega = 2\pi\nu$$

З графіка (Додаток Б) визначаємо уточнене значення k_c по параметрам ξ та k_β .

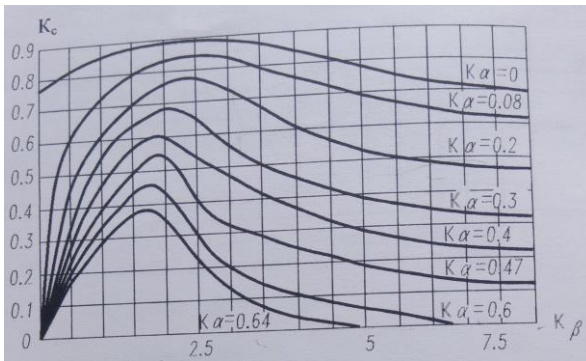
Якщо k_c^x та k_c^y відрізняється один від одного, то у формулу теоретичної швидкості підставляємо значення k_c , що дорівнює

$$k_c = k_c^y \cdot \frac{k_c^x}{k_c^y}$$

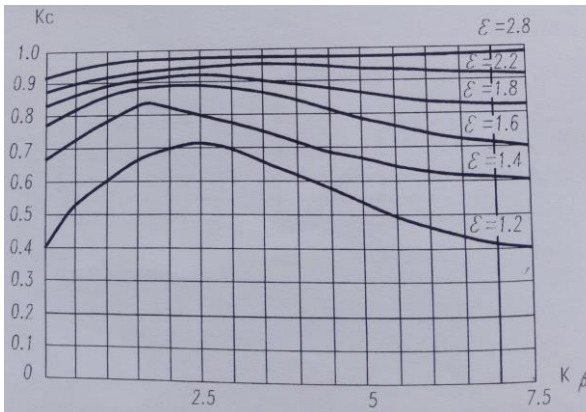
Тоді теоретична продуктивність розраховується за формулою

$$Q_T = \frac{60 \cdot V_{3T}}{D_{3max}} \cdot k_3$$

Додаток А



Додаток Б



Додаток В

Матеріал	Тверда сталь	М'яка сталь	Латунь	Алюміній
Тверда сталь	0,393	0,410	0,535	0,649
М'яка сталь	0,410	0,411	0,506	0,605
Нікель	0,428	0,429	0,504	0,745
Мідь	0,548	0,533	0,618	0,695
Латунь	0,535	0,508	0,634	0,706
Алюміній	0,644	0,605	0,706	0,937
Скло	0,695	0,721	0,837	0,845
Олово	0,785	0,786	0,752	0,905
Свинець	1,955	1,930	2,100	2,000