

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ЗПО «ДПТК»
Олександр СТРИЛЕЦЬ
31.08.2026 р.
ПОГОДЖЕНО
Заступник директора з навчально-методичної
роботи ЗПО «ДПТК»
Сергій ГОРДІЄНКО
31.08.2026 р.

МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ «ОСНОВИ АЛГОРИТМІЗАЦІЇ ТА ПРОГРАМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ»

ВСТУП

Методичні матеріали до практичних занять з дисципліни «Основи алгоритмізації та програмування автоматизованих систем» розроблено відповідно до робочої навчальної програми дисципліни для здобувачів освіти спеціальності G11 «Машинобудування (за спеціалізаціями)» спеціалізації G11.01 «Верстати та інструменти» освітньо-професійного ступеня «фаховий молодший бакалавр».

Мета практичних занять — закріплення теоретичних знань, отриманих під час лекційних занять, та формування практичних навичок з розробки алгоритмів, програмування та керування автоматизованими системами в галузі машинобудування.

Основні завдання практичних занять:

- Набуття навичок складання алгоритмів лінійної, розгалуженої та циклічної структури.
- Вивчення принципів функціонування систем програмного керування (СПК, ЦПК, ЧПК, АПК).
- Опанування методів розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК.
- Формування вмінь застосовувати CAD/CAM-системи для підготовки керуючих програм.
- Розвиток навичок налагодження верстатів з ЧПК та контролю точності обробки.
- Аналіз структури автоматизованих виробничих систем та перспектив їх розвитку.

Практична робота № 1 ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ДАВАЧІВ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Мета роботи : Ознайомитися з будовою та принципом роботи електростатичних давачів механічних величин, визначити їх статичні й динамічні характеристики.

Теоретичні відомості

Призначення давача – перетворення механічної величини в електричну. Основними видами давачів, які здійснюють це перетворення, є контактні (найпростіші), дротяні, реостатні й потенціометричні.

Дротяні давачі (тензодавачі). Принцип їх дії заснований на зміні опору дроту при його розтягуванні й стискуванні. Тензодавач (рис. 1.1) являє собою тонкий дріт, складений у вигляді решітки й обклеєний з обох боків ізоляційними пластинками з цигаркового паперу. Смугу паперу разом з дротом наклеюють на випробовувану деталь. Дріт виготовляють з нікелю, константану, платино-іридію або інших матеріалів, які володіють високим питомим опором. Діаметр дроту 0,015 – 0,05 мм, довжина 25 – 40 мм. Величина номінального опору тензодавача в межах 50 – 1000 Ом. Ці давачі використовують у вагах типу ВНЗ-5, призначених для вимірювання маси.

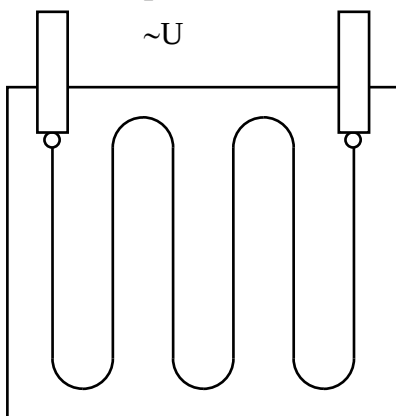


Рис. 1. Схема дротяного давача

Реостатні й потенціометричні давачі. Їх використовують для вимірювання лінійних і кутових переміщень, а також для перетворення в електричний струм і напругу. Перевагою таких давачів є простота конструкції та можливість використання без наступного підсилення, недоліком – наявність ковзаючого контакту, для переміщення якого необхідне значне зусилля.

Схему реостатного давача для лінійних переміщень зображено на рис. 2. При постійному значенні напруги $U = \text{const}$, залежно від довжини x , змінюється сила струму I , який протікає по реостату. Визначимо, за яким законом буде змінюватися сила струму I . Позначимо (рис. 2а) через R повний опір реостата, r – опір частини реостата, по якому протікає струм, l – повна довжина реостата, x – довжина переміщення повзунка реостата. За законом Ома маємо:

$$i = U/r.$$

Для опору r можна записати:

$$r = \frac{R}{l}(l-x) = R - \frac{R}{l}x.$$

Після підстановки значення r отримаємо:

$$i = \frac{U}{R - \frac{R}{l}x},$$

тобто нелінійну гіперболічну залежність сили струму від переміщення. При $x=0$ $i=U/R$; при $x=l$ $i=\infty$ (коротке замикання). На рис. 1.2б зображено залежність сили струму від переміщення для реостатного давача. Через нелінійність статичної характеристики реостатні давачі не отримали широкого

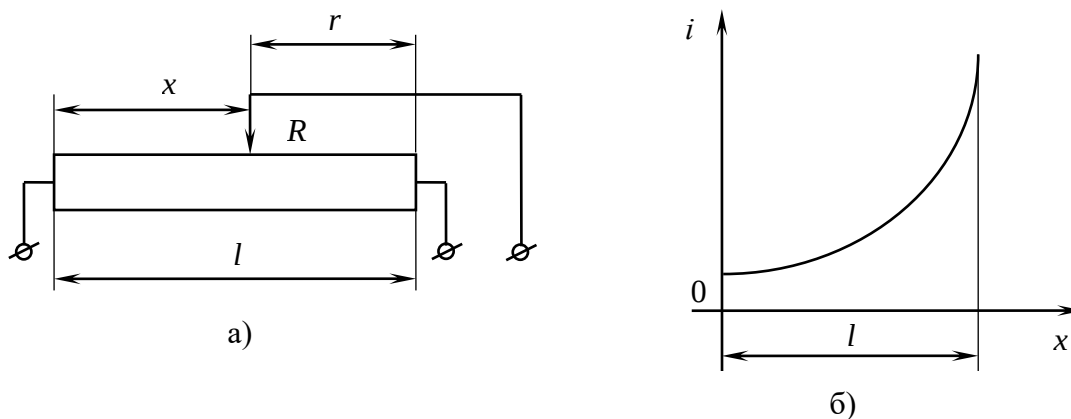


Рис. 2. Реостатний давач: а) схема реостатного давача для лінійних переміщень; б) залежність сили струму від переміщення реостатного давача

застосування.

У більшості випадків використовують потенціометричні давачі (рис. 3а). Якщо потенціометричний давач не навантажувати або навантажувати невеликим опором, то, очевидно, будемо мати лінійну залежність $U=Kx$ де $K=U/l$.

При вмиканні на давач навантаження з опором R_n , співрозмірного за величиною з опором R самого давача, отримаємо спотворення лінійної залежності.

Статичні характеристики потенціометричного давача при врахуванні опору навантаження R_n будуть мати вигляд як на рис. 3б. Максимальне відхилення статичної характеристики від лінійної буде при $x = \frac{2}{3}l$.

Для забезпечення лінійності потенціометричного давача необхідно домагатися виконання умови $R_n \geq R$.

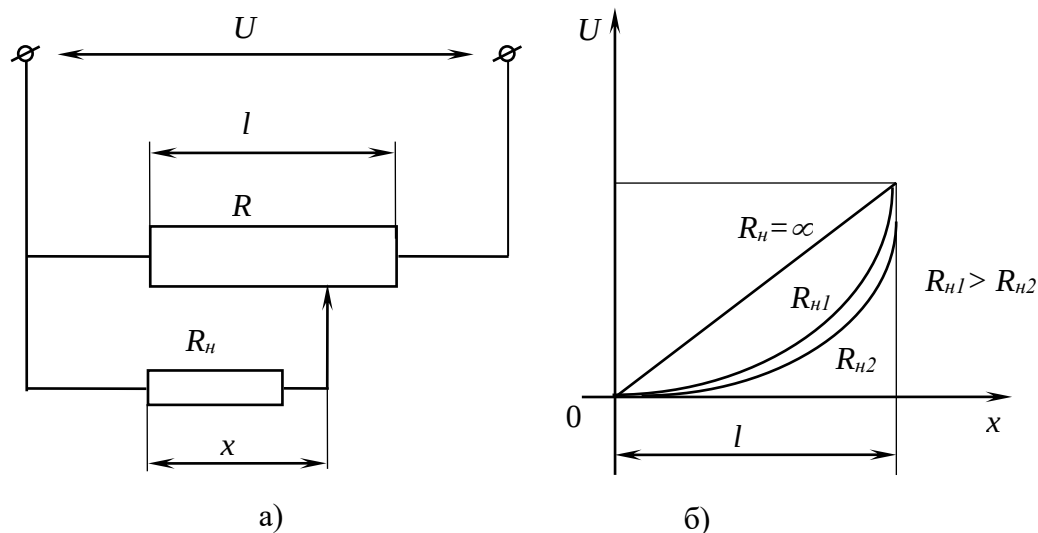


Рис. 3. Датчики механічних величин: а) схема потенціометричного давача; б) електричні характеристики давача

Часто потрібно, щоб потенціометричний давач реагував на знак вхідної величини, тобто змінював полярність напруги, яка знімається, при зміні напрямку переміщення повзунка потенціометра. В таких випадках використовують потенціометричний давач із середньою точкою (рис. 4а). Мостовий потенціометричний давач (рис. 4б) не тільки реагує на знак, але й володіє великою чутливістю.

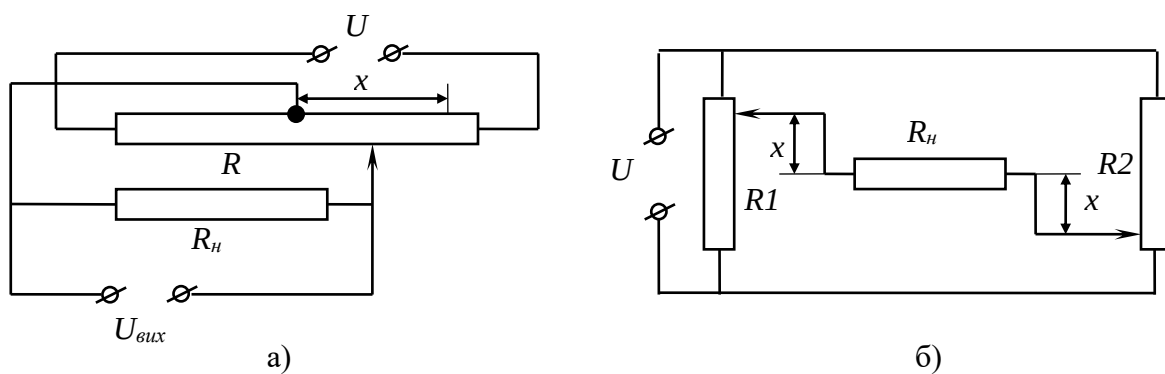


Рис. 4. Схема потенціометричного давача: а) з середньою точкою; б) мостового

Реостатні й потенціометричні давачі можуть працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Конструктивно їх виконують у вигляді проводу, намотаного на каркас. Для виготовлення каркасів використовують керамічні матеріали, пластмаси, гетинакс, метали (алюміній, дюраль), покриті лаком або оксидною ізоляцією. Провід виготовляють із константану, ніхром, манганіну, платини.

Потенціометричні давачі широко застосовують у відслідковуючих системах і вказівниках положення (в механізмах позиційного керування), в якості елементів зворотного зв'язку у виконавчих механізмах електронних регуляторів і т.д.

Реостатні й потенціометричні давачі з точки зору теорії автоматичного регулювання є безінерційними ланками з передавальною функцією $W(p)=k$.

Хід роботи

1. Вивчити принципи роботи електростатичних давачів.
2. Ознайомитися з математичними моделями даних приладів.
3. Провести дослідження реостатного та потенціометричного давачів методом математичного моделювання на ЕОМ.
4. Визначити статичні та динамічні характеристики електростатичних давачів механічних величин згідно з таблицею 1.1.
5. Зробити висновки (на основі математичного моделювання) про фізичні процеси в даних приладах та їх властивості й характеристики згідно з теорією автоматичного керування.
6. Оформити звіт.

Порядок оформлення звіту

Звіт з практичної роботи повинен містити:

1. Тему і мету.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати досліджень (експериментальну криву, криву математичної моделі).
4. Висновки.

Таблиця 1. Параметри реостатного і потенціометричного давачів

Варіант	Реостатний давач			Потенціометричний давач	
	$U, В$	$R, Ом$	$l, мм$	$U, В$	$l, мм$
1	10	10	100	100	55
2	20	30	90	90	65
3	30	40	85	80	45
4	40	70	80	70	70
5	50	90	75	60	35

Контрольні запитання

1. Для яких вимірювань використовують потенціометричні давачі?
2. Чи потребують реостатні й потенціометричні давачі підсилення?
3. За якою умовою досягається лінійність потенціометричного давача?
4. На якому струмі можуть працювати давачі?
5. Як впливає на роботу давача нелінійність його характеристики?
6. Яку ланку являють собою реостатні й потенціометричні давачі?
7. Наявність ковзаючого контакту відносять до недоліку чи переваги?
8. З якого матеріалу виготовляють провід для намотування давачів?
9. Коли спостерігається відхилення характеристики давача від лінійної?
10. Які схеми потенціометричних давачів використовують?

Практична робота № 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ П- ТА ПІ-РЕГУЛЯТОРІВ

Мета роботи: Практична реалізація автоматичної системи регулювання вихідної величини фізичної моделі технологічного об'єкта з використанням промислових П- та ПІ-регуляторів, які працюють у режимах оптимальних значень налагоджувальних параметрів.

Теоретичні відомості

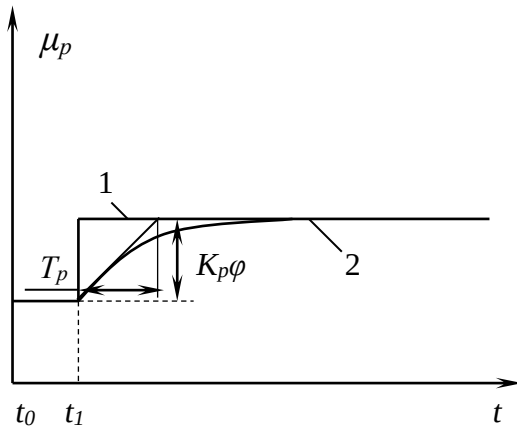


Рис. 1. Часова характеристика пропорційного регулятора при стрибкоподібній зміні вхідної величини: 1) ідеальний регулятор; 2) реальний регулятор

Регулятори, які відпрацьовують П-закон регулювання, називають пропорційними. В них регулюючий вплив x_p пропорційний відхиленню регулюючої величини:

$$\mu_p = K_p \varphi,$$

де K_p — коефіцієнт підсилення регулятора.

Передавальна функція пропорційного регулятора $W_p(p) = K_p$.

Рівняння руху пропорційного регулятора непрямої дії

$$T_p \frac{d\mu_p}{dt} = \varphi - \delta \mu_p$$

$$\text{або } T_p \frac{d\mu_p}{dt} + \mu_p = K_p \varphi,$$

де $T_p = T/\delta$; $K_p = 1/\delta$ — коефіцієнт підсилення.

Часову характеристику пропорційного регулятора зображено на рис. 1. При стрибкоподібній зміні вхідної величини φ вихідна величина μ_p згідно з формулою зміниться також стрибкоподібно (крива 1). Насправді вихідна величина буде змінюватись як зображено на рис. 1 (крива 2). Нехтуючи постійною часу T_p , отримуємо $\mu_p = K_p \varphi$.

Налагоджувальним параметром пропорційного регулятора є величина границі пропорційності δ , обернена коефіцієнту підсилення K_p .

У динамічному відношенні пропорційний регулятор аналогічний безінерційній ланці, тому всі характеристики безінерційної ланки повністю відповідають характеристикам пропорційного регулятора.

При появі в системі регулювання сигналу неузгодженості $\varepsilon(t)$ П-регулятор спрацьовує практично миттєво, тобто система з П-регулятором володіє достатньо високою швидкістю. Однак, якщо при роботі системи величина збурюючого впливу буде змінюватися, то в системі буде підтримуватися задане значення регульованої величини з деякою статичною похибкою. Наявність статичної похибки є недоліком П-регулятора. Якщо за умовами технології процесу допустима деяка статична похибка регулювання, то необхідно застосовувати П-регулятор, тому що статичні системи більш швидкодіючі, стійкі й прості в експлуатації та налагодженні.

Регулятори, які відпрацьовують ПІ-закон регулювання, називають ізодромними. В них регулюючий вплив пропорційний відхиленню та інтеграла від відхилення регульованої величини:

$$\mu_p = K_p \varphi + \frac{K_p}{T_i} \int \varphi dt,$$

де K_p і T_i – відповідно коефіцієнт підсилення й постійна часу, які є параметрами налаштування регулятора.

Ізодромні регулятори скорочено називають ПІ-регуляторами. Вони бувають тільки непрямої дії. ПІ-регулятори є комбінованими регуляторами. В них об'єднані переваги П- та І-регуляторів. У ПІ-регуляторах регулювання здійснюється і за відхиленням, і за інтегралом від відхилення, в результаті чого досягається достатня швидкодія в початковий момент процесу регулювання, підвищена стійкість, властива статичним системам, і відсутня статична похибка, що характерно для астатичних систем.

Регулюючий вплив можна представити в такому вигляді:

$$\frac{d\mu_p}{dt} = K_p \left(\frac{d\varphi}{dt} + \frac{1}{T_i} \int \varphi \right).$$

З наведеного рівняння можна отримати вираз передавальної функції ПІ-регулятора

$$W_p(p) = K_p \left[\frac{(T_i p + 1)}{T_i p} \right].$$

Із отриманого виразу бачимо, що в динамічному відношенні ПІ- регулятор еквівалентний П-регулятору (безінерційна ланка нульового порядку) з коефіцієнтом підсилення K_p та І-регулятору (інтегруюча ланка) з коефіцієнтом підсилення K_p/T_i , які з'єднані паралельно (див. рис. 2). Пунктиром на рисунку обведено регулятор, до складу якого входить підсилювач із передавальною функцією $W_n(p)$.

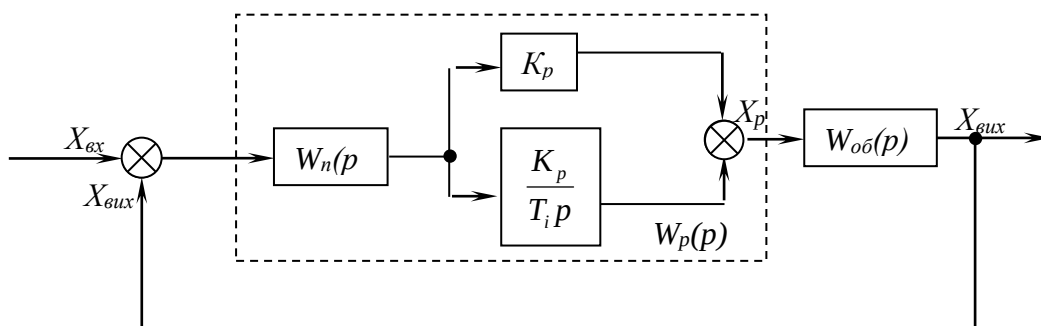


Рис. 2. Структурна схема системи з ПІ-регулятором

Часові характеристики ПІ-регулятора наведено на рис.3. При стрибкоподібній зміні вхідної величини в момент часу t_1 вихідна величина μ_p швидко переходить з початкового положення в нове (з точки A в точку B). Далі проє інтегруюча дія регулятора, яка виє в повільній зміні з постійною швидкістю вихідної величини. Ця швидкість залежить від налагодження часу ізодрома.

На графіка прямій BB_1 відповідає час T_{i1} , а прямій BB_2 – час T_{i2} . Пряма BB_3 відповідає нескінченно тривалому часу ізодрома. В цьому випадку регулятор стає пропорційним.

Час ізодрома за часовою характеристикою визначають наступним чином. Знаходять точки 1 та 2 і визначають відрізок часу від моменту t_1 , протягом якого вихідна величина зміниться під дією механізму ізодрома на значення, що дорівнює відрізку AB . З рисунка бачимо, що в точках 1 та 2 зміна вихідної величини подвоїлася, тому час ізодрома називають ще часом подвоєння. Параметрами налагодження регулятора є коефіцієнт підсилення K_p та час ізодрома T_i .

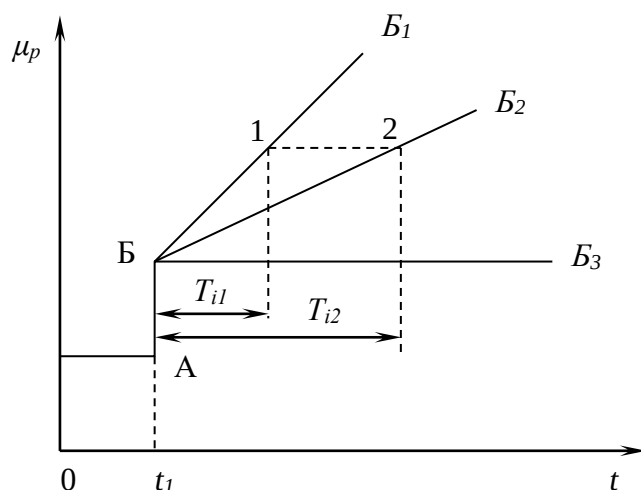


Рис. 3. Часові характеристики ПІ-регулятора

Налагодження П-регулятора

Єдиним параметром, який змінює динамічну характеристику П-регулятора, є його коефіцієнт передавання (підсилення) K_p , якому відповідає зворотна величина – діапазон пропорційності ψ :

$$K_p = \frac{1}{\psi}.$$

Діапазон пропорційності пов'язаний з діапазоном регулювання D_p , який являє собою виражену в процентах частину шкали вимірювального пристрою, в межах якої робочий орган регулятора змінює своє положення від повного відкриття до повного закриття, і шляхом регулюючого органу є залежність

$$\psi = \frac{\frac{D_p}{100} H_{ш}}{100},$$

де D_p – діапазон регулювання, %, $H_{ш}$ – діапазон шкали приладу, од.рег.вел.

Оптимальне значення коефіцієнта передавання регулятора K_p визначають за відомими динамічними характеристиками об'єкта регулювання фізичної моделі теплообмінного апарата:

для аперіодичного перехідного процесу регулювання: $K_p = \frac{0.3}{K_0 \tau_3 / T_0}$;

для перехідного процесу з 20-% регулюванням $K_p = \frac{0.7}{K_0 \tau_z / T_0}$;

для перехідного процесу регулювання з мінімальною квадратичною площею відхилення $K_p = \frac{0.9}{K_0 \tau_z / T_0}$.

Оптимальне значення коефіцієнта передавання регулятора можна також визначити за даними табл.1.

Таблиця 1. Визначення параметрів налагодження П- і ПІ-регуляторів

Показник регулятора	$\tau_z/T_0 < 0.2$		$0.2 < \tau_z/T_0 < 1$		$\tau_z/T_0 > 1$	
	П-регулятор	ПІ-регулятор	П-регулятор	ПІ-регулятор	П-регулятор	ПІ-регулятор
Ψ	$\varepsilon \tau_z$	$1, 1 \varepsilon \tau_z$	$2.6 K_0 \frac{\frac{\tau_z}{T_0} - 0.08}{\frac{\tau_z}{T_0} + 0.7}$	$2.6 K_0 \frac{\frac{\tau_z}{T_0} - 0.08}{\frac{\tau_z}{T_0} + 0.6}$	$2 K_0$	$2 K_0$
T_i	$3, 3 \tau_z$	$2, 5 \tau_z$	---	$\frac{0.8}{\tau_z/T_0}$	---	$0, 6 \tau_z$

В табл. 1 величина $\varepsilon = \frac{v}{\Delta V \tau_z}$ виражена в од.рег.вел./од.збур., величина v визначається за кривою перехідної функції об'єкта регулювання.

Налагодження ПІ-регулятора.

Налагодження регулюючого пристрою, який забезпечує оптимальний перехідний процес регулювання, проводять таким чином. За відомими динамічними характеристиками об'єкта регулювання (рис. 2) визначають швидкість розгону (од.вих.вел./од.вх.вел)

$\varepsilon = \frac{v}{\lambda \tau_z}$, а також коефіцієнт самовирівнювання ξ (од.вх.вел./од.вих.вел)

$$\xi = \frac{\lambda}{\sigma},$$

де v – вихідна величина, од.вих.вел. (визначається за рис. 4.), λ – збурююча дія, од.вх.вел., ξ – вихідна величина об'єкта, од.вих.вел.

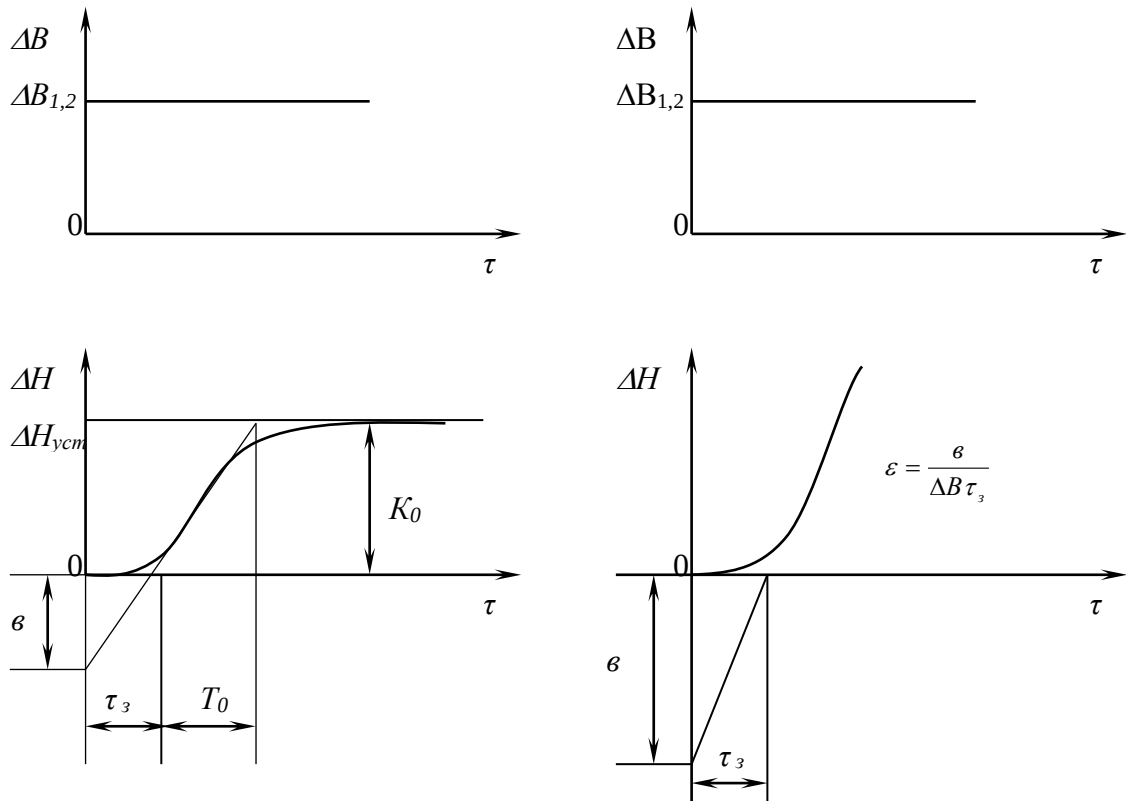


Рис. 4. Криві перехідних процесів об'єктів: а) статичного; б) астатичного

Далі визначають величину добутку ε , τ_3 , ξ і за знайденим значенням знаходять основні параметри динамічного налагодження регулюючого пристрою за виразами:

для випадку $\varepsilon\xi\tau_3 = 0-0,2$ $v_{o.c.} = 1,1\varepsilon\tau_3 s$, $T_i = 3,3\tau_3$;

для випадку $0,2 < \varepsilon\xi\tau_3 < 1,5$ $v_{o.c.} = \frac{2,65}{\xi} \cdot \frac{\varepsilon\xi\tau_3 - 0,08}{\varepsilon\xi\tau_3 - 0,06}$, $T_i = \frac{0,8}{\varepsilon\xi\tau_3} \tau_3$;

для випадку $\varepsilon\xi\tau_3 > 1,5$ $v_{o.c.} = \frac{2 \cdot s}{\xi}$, $T_i = 0,6\tau_3$,

де S – швидкість регулювання од.вел/с, $v_{o.c.}$ – швидкість зворотного зв'язку, од.вел/с.

П-регулятор:

Передавальна функція: об'єкта:

$$W_0(p) = \frac{K_0}{T_0 p + 1};$$

регулятора

$$W_p(p) = K_p.$$

Операторне рівняння САР ($\Delta B(\tau) = \Delta B_0 = \text{const}$)

$$\Delta H(\tau) = \frac{K_H \Delta B_0}{1 + K_0 K_p} \cdot \frac{1}{\left(\frac{T_0}{1 + K_0 K_p} p + 1 \right) p}.$$

Перехідна функція САР $h(\tau) \Delta B_0 = 1$ $h(\tau) = \frac{K_H}{1 + K_0 K_p} \left[1 - e^{\frac{-1 + K_0 K_p}{\tau_0} \tau} \right]$.

ІІІ-регулятор:

Передавальна функція: об'єкта

$$W_0(p) = \frac{K_0}{T_0 p + 1};$$

регулятора

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right).$$

Операторне рівняння САР ($\Delta B(\tau) = \Delta B_0 = \text{const}$)

$$\Delta H(\tau) = \frac{K_H T_i \Delta B_0}{K_0 K_p} \cdot \frac{1}{\frac{T_0 T_i}{K_0 K_p} p^2 + T_i \frac{1 + K_0 K_p}{K_0 K_p} p + 1}.$$

Перехідна функція САР $h(\tau) \Delta B_0 = 1$

При $l > 4T_0 K_0 K_p$

$$h(\tau) = \frac{K_H}{T_0} \cdot \frac{e^{p_1 \tau} - e^{p_2 \tau}}{p_1 - p_2},$$

$$\text{де } p_{1,2} = \frac{-(HK_0 K_p) \pm \sqrt{(1 + K_0 K_p)^2 - 4 \frac{T_0 K_0 K_p}{T_i}}}{2T_0}.$$

Таблиця 2. Параметри налагодження ІІІ-регулятора

Варіант	S, од.вим/с	ΔB	σ	λ
1	0,6	1,0	0,5	1,0
2	0,7	1,2	0,7	1,2
3	0,8	1,3	1,0	1,3
4	0,9	1,4	7,0	1,4
5	1,0	1,5	10,0	1,5
6	1,1	1,6	20,0	1,6
7	1,2	1,7	40,0	1,7
8	1,3	1,8	70,0	1,8
9	1,4	1,9	100,0	1,9
10	1,5	2,0	130,0	2,0

$$h(\tau) = \frac{K_H}{T_0} \cdot e^{\alpha \tau} \sin \beta \tau;$$

$$\alpha = -\frac{1 + K_0 K_p}{2T_0};$$

$$\beta = \frac{\sqrt{4 \frac{T_0 K_0 K_p}{T_i} - (1 + K_0 K_p)^2}}{2T_0},$$

де S – швидкість регулювання, од.вим/с; ΔB – вхідне збурення, од.вим.;
 σ – вихідна величина об'єкта, од.вих.вел; λ – збурюючий вплив.

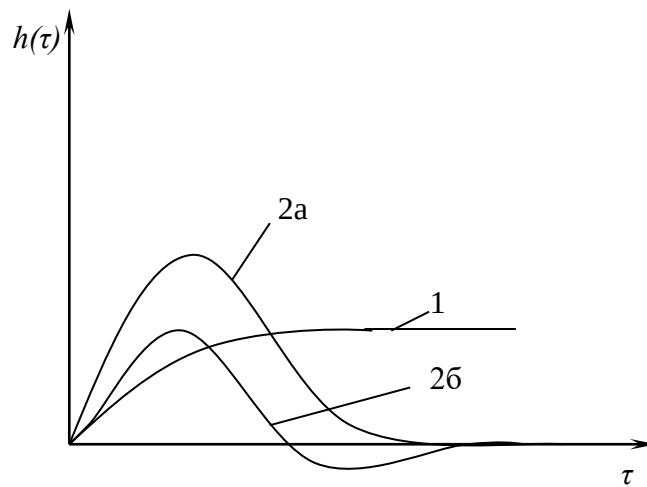


Рис. 5. Перехідні функції лінійних САР

Хід роботи

1. Вивчити принципи роботи П- та ПІ-регуляторів.
2. Ознайомитися з їх математичними моделями.
3. Провести дослідження регуляторів методом математичного моделювання на ЕОМ.
4. Визначити статичні та динамічні характеристики П- та ПІ-регуляторів.
5. Зробити висновки (на основі математичного моделювання) про статичні та динамічні характеристики П- та ПІ-регуляторів згідно з теорією автоматичного керування.
6. Оформити звіт.

Порядок оформлення звіту

Звіт з практичної роботи повинен містити:

1. Тему і мету.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати досліджень.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. Класифікація САР за характером регулювання.
2. Структура автоматичного регулятора.
3. Переваги й недоліки П-регуляторів.
4. Переваги й недоліки ПІ-регуляторів.
5. Динамічні характеристики П-регуляторів.
6. Динамічні характеристики ПІ-регуляторів.
7. Передавальна функція П- і ПІ-регуляторів.
8. Параметри налагодження регуляторів.
9. Структурна характеристика П- і ПІ-регуляторів.
10. Реальні й ідеальні регулятори.

Практична робота №3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАЛАГОДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА

Мета роботи: На основі експериментальних даних провести вибір типового регулятора та розрахувати його основні параметри налагодження.

Теоретичні відомості

Класифікація автоматичних регуляторів

За характером регулюючої дії регулятори бувають прямої і непрямой дії. Регулятори прямої дії – пристрої, які для приведення в дію регулюючого органу не потребують сторонніх джерел енергії. Їх застосовують у тих випадках, коли для приведення в дію регулюючого органу не потрібно великих зусиль і чутливий елемент володіє необхідною для цього потужністю.

Регулятори непрямой дії – пристрої, які для переміщення регулюючого органу потребують додаткової енергії, яку підводять ззовні.

За видом енергії, що використовується, регулятори поділяють на електричні, пневматичні, гідравлічні й комбіновані.

За способом дії регулятори бувають безперервної і перервної (дискретної) дії. Якщо відхилення регульованої величини безперервне й регулятор здійснює безперервне переміщення регулюючого органу, то такий регулятор називають регулятором безперервної дії. Регулятори, у яких при безперервному відхиленні регульованої величини регулюючий вплив змінюється через деякі проміжки часу, називають регуляторами перервної дії. До них відносять релейні та імпульсні регулятори.

Залежно від підтримання потрібної регульованої величини в часі регулятори поділяють на стабілізуючі, програмні й відслідковуючі.

Стабілізуючі регулятори підтримують регульовану величину навколо деякого постійного значення. Якщо необхідно змінити задане значення регульованої величини, то це можна здійснити вручну з допомогою задатчика. Стабілізуючі регулятори знайшли широке застосування у харчовій промисловості. В програмних регуляторах регульована величина змінюється в часі за раніше заданою програмою, яка визначається ходом технологічного процесу за допомогою спеціальних задатчиків. Відслідковуючі регулятори змінюють значення регульованої величини в часі відповідно до змін будь-якої величини, що впливає на задатчик регулятора.

Залежно від характеру вхідного сигналу, тобто від того, який показник ходу технологічного процесу використовується керуючим пристроєм, регулятор відпрацьовує той чи інший вид вихідного сигналу, що використовується для регулюючого впливу на об'єкт. Характер регулюючого впливу називають законом регулювання. Математично закон регулювання виражається алгебраїчним або диференціальним рівнянням і визначається умовами забезпечення стійкості системи й надання потрібної якості процесу регулювання.

За відпрацьовуваним законом регулювання регулятори поділяють на пропорційні, диференціальні, ізодромні, ізодромні з випередженням.

Вибір регуляторів

У практиці автоматичного регулювання промислових об'єктів особливе значення має правильний вибір регуляторів і розрахунок їх оптимальних налагоджень. Ці завдання вирішують на стадії проектування системи автоматичного регулювання (САР) і уточнюють у процесі налагодження регуляторів безпосередньо на працюючому об'єкті.

Цілі, які реалізуються в процесі вибору регуляторів і розрахунку їх оптимальних налагоджень, зводяться до того, що:

- САР і регулятори, які входять до неї, повинні відповідати технологічним і експлуатаційним вимогам даного виробництва і режимним умовам регульованого об'єкта;
- система повинна бути стійкою при найхарактерніших збуреннях, властивих об'єкта;
- повинна бути забезпечена потрібна якість процесу регулювання в динамічному й статичному станах системи, включаючи динамічну точність при безперервно-змінних збуреннях, експлуатаційну надійність, мінімальну вартість й економічну ефективність.

При виборі регуляторів і їх налагодженні потрібно враховувати максимально можливі збурення в умовах правильної експлуатації, але у деяких випадках систему можна перевірити при аварійних збуреннях.

Збурення можуть бути тривалі, які за часом перевищують період регулювання, і короткочасні пікові. Тривалі збурення бувають стрибкоподібні й безперервно-монотонні. Характер збурень практично можна оцінити шляхом систематичних спостережень за роботою об'єкта за записами реєструючих пристроїв.

Методика проектування САР в частині вибору раціонального типу регулятора і розрахунку параметрів його налагоджування визначає таку орієнтовану послідовність вирішення цього завдання, яка може змінюватися, наприклад, при постановці спеціальних досліджень, моделюванні і т. п.:

- ❖ Складають спрощену технологічну схему регульованого об'єкта й визначають умови його регулювання.
- ❖ Із технологічних умов вибирають регульовані величини кожної ділянки об'єкта і оцінюють необхідну точність їх підтримання.
- ❖ З'ясовують динамічні характеристики об'єкта на основі наявних даних або визначають їх експериментально одним із відомих методів.
- ❖ Визначають збурюючі дії для даного об'єкта та їх характер.
- ❖ На основі даних про динамічні характеристики об'єкта у передбаченні вибору спочатку одноконтурної САР встановлюють тип регулюючої дії – перервне релейне або безперервне.
- ❖ Встановлюють показники потрібної якості перехідного процесу.
- ❖ Залежно від характеру регулюючої дії й на основі прийнятого типу перехідного процесу та показників якості встановлюють тип регулятора (закон регулювання) й перевіряють його придатність для прийнятих умов.

- ❖ Якщо прийнятий тип регулятора не задовольняє вимоги, аналізують питання про можливість покращення динамічних характеристик ланок системи.
- ❖ Якщо заходи з покращення динамічних характеристик ланок системи не забезпечують стійкості та якості процесу регулювання, то переходять до аналізу імпульсного або багатоконтурного регулювання, шукаючи його раціональний варіант.

Далі вибирають вид енергоносія, конкретний конструктивний тип регулятора; вибирають і розраховують виконавчий механізм і регулюючий орган, встановлюють їх статичні характеристики.

Вибір регулюючої дії проводять за співвідношенням часу запізнення об'єкта $\tau_{об}$ і постійної часу $T_{об}$ за такою системою:

- при $\tau_{об}/T_{об} < 0.2$ – релейний регулятор;
- при $0.2 < \tau_{об}/T_{об} < 1$ – регулятор безперервної дії;
- при $\tau_{об}/T_{об} > 1$ – імпульсний регулятор або безперервний зі зміною динаміки.

Для оцінювання якості перехідного процесу відповідно до технологічних і експлуатаційних вимог із урахуванням техніко-економічних міркувань оптимальним може виявитися процес із різним характером перехідної функції.

Для реальних умов перехідні функції процесу регулювання можуть наближатися до обмеженого числа типових перехідних процесів, один із яких буде близьким до оптимального для даного конкретного об'єкта.

Такими типовими процесами є (рис. 1):

- ❖ граничний аперіодичний із перерегулюванням, що дорівнює нулю, мінімальним часом регулювання $t_{p,min}$ і максимальним динамічним відхиленням (рис. 1а);
- ❖ із 20%-ним перерегулюванням при мінімальному часі першого півперіоду коливання t_{min} і дещо меншим динамічним відхиленням (рис. 1б);
- ❖ із 40-50%-ним перерегулюванням або з мінімальною квадратичною інтегральною оцінкою $\min \int x^2 dt$, що дає найменше відносне динамічне відхилення, але збільшений час регулювання (рис. 1в).

Після вибору одного з типових перехідних процесів, використовуючи вихідні дані, визначають задане значення динамічного коефіцієнта регулювання, який характеризує максимальне динамічне відхилення.

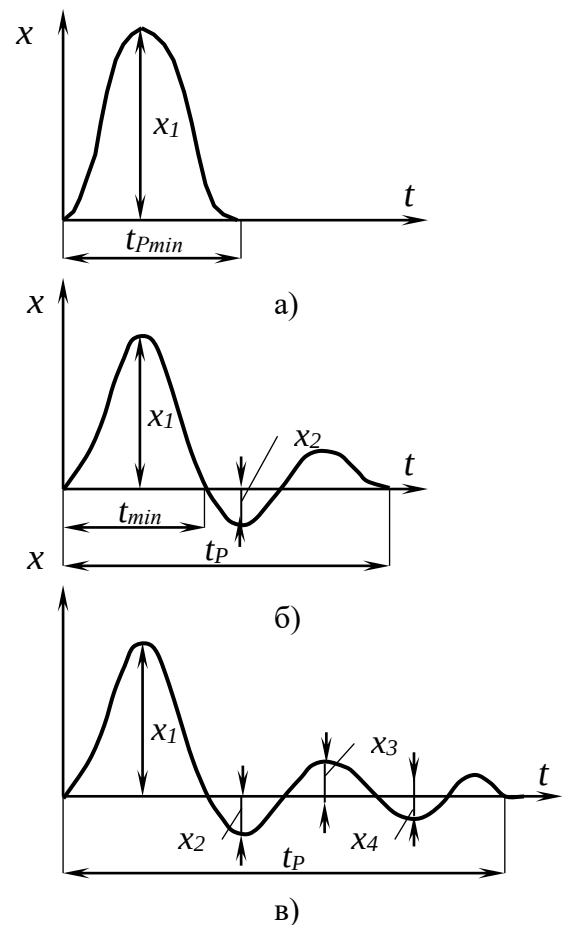


Рис. 1. Типові перехідні процеси

Динамічний коефіцієнт регулювання для статичних об'єктів R_d являє собою відношення максимально допустимого відхилення регульованої величини x_1 у перехідному періоді, викликане деяким одноразовим стрибкоподібним збуренням, до відношення x_0 при такому ж збуренні, але без регулюючої дії:

$$R_d = \frac{x_1}{x_0} = \frac{x_1}{k_{об} \mu_{зб}},$$

де $k_{об}$ – коефіцієнт передавання об'єкта, $\mu_{зб}$ – найбільша величина стрибкоподібного збурення, в % ходу регулюючого органу.

На основі табличних даних R_d для типових перехідних процесів при різних значеннях $\tau_{об}/T_{об}$ вибирають тип регулятора.

Після вибору регулятора треба перевірити, чи забезпечує він потрібний час регулювання при вибраному перехідному процесі. У протилежному випадку необхідно вибрати складніший тип регулятора.

Фактичний час регулювання перевіряють за залежністю між відносним часом регулювання $t_p/\tau_{об}$ і відношенням $\tau_{об}/T_{об}$ об'єкта.

Хід роботи

Лабораторну роботу слід виконувати з використанням ЕОМ. Програма виконана в діалоговому режимі.

Для виконання лабораторної роботи необхідно отримати допуск.

- Після отримання допуску на моніторі з'явиться вікно-меню:

○ Вибір варіанта роботи
○ Графічне зображення даних
○ Числове зображення даних
○ Про програму
○ Вихід із програми

- Переміщення курсору між пунктами меню здійснюється клавішами "↑" або "↓".
- Вибирати пункт "Вибір варіанта роботи", у якому вибирається варіант виконання (від 1 до 5) лабораторної роботи і відповідні йому числові дані.
- У пункті "Графічне зображення даних" наведено графіки експериментальної кривої та математичної моделі.
- У пункті "Числове зображення даних" проводиться вибір типу перехідного процесу з подальшим вибором регулятора й розрахунком параметрів його налагодження.
- Після завершення виконання лабораторної роботи слід вибрати пункт "Вихід із програми".

Варіанти завдань практичної роботи

Вимоги до системи автоматичного регулювання рівня відображено в табл. 1, де:

 $\Delta H_{ст.з.ад}$ – допустима статична похибка регулювання;

- ✚ $\Delta H_{max.ЗAD}$ – максимальна динамічна похибка регулювання;
 ✚ $t_{РЕГ}$ – час регулювання.

Таблиця 1. Вимоги до системи автоматичного регулювання

Варіант	Збудження μ , % ходу регулюючого органу		Показники якості регулювання в абсолютних значеннях		
	μ_1 (плавне)	μ_2 (стрибкоподібне)	$\Delta H_{СТ.ЗAD}$	$\Delta H_{max.ЗAD}$	$t_{РЕГ}$, с
1	10	10	0,10	0,15	84
2	10	15	0,15	0,15	180
3	20	15	0,15	0,20	156
4	20	20	0,10	0,15	240
5	10	15	0,15	0,20	120

Таблиця 2. Дані експериментальної кривої розгону

Параметр	Час, t (с)											
	0	20	40	60	100	160	200	250	400	500	1000	3000
$H, м$	1,003	1,012	1,030	1,079	1,109	1,138	1,168	1,182	1,189	1,193	1,197	1,200

Порядок оформлення звіту

Звіт з практичної роботи повинен містити:

1. Тему і мету.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати досліджень.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення регулятора.
2. Як класифікують регулятори залежно від підтримування потрібної регульованої величини в часі?
3. Що називають законом регулювання?
4. Який зміст коефіцієнта динамічного регулювання?
5. Класифікація регуляторів за характером дії.
6. Класифікація регуляторів за відпрацьованим законом регулювання.
7. Що називають перерегулюванням?
8. Дайте визначення перехідного процесу.
9. Етапи підбору регуляторів.
10. Структурні схеми системи автоматичного регулювання.

Практична робота № 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ НЕПЕРЕРВНОГО ДОЗУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Метароботи: забезпечити процес неперервного дозування з урахуванням взаємодії його з усіма елементами об'єкта й автоматичного регулятора. На основі вихідних даних представити динаміку функціонування автоматичної системи дозування. Вибрати раціональну структуру дозатора й на його основі визначити елементи контуру керування. Провести статистичний аналіз отриманих результатів.

Теоретичні відомості

Неперервне дозування – це складний технологічний процес, що забезпечує необхідну продуктивність – масову витрату сипучих матеріалів і рідин. Процесом неперервного дозування необхідно керувати так, щоб забезпечити високу якість суміші дозованих компонентів і якість напівфабрикату або готової продукції.

Завдання автоматизації процесу дозування:

1. Побудувати процес неперервного дозування з урахуванням його взаємодії з усіма елементами об'єкта керування й керуючого пристрою.
2. На основі аналізу інформації, яка характеризує динаміку функціонування автоматичної системи дозування, вибрати раціональну структуру дозатора, елементів контуру керування.
3. Визначити оптимальні параметри для налагодження регулятора.

Одним із основних елементів у системі автоматичного регулювання (САР) витрат матеріалу, що дозується, власне, об'єкт регулювання – дозатор. Тому першим етапом вивчення процесу дозування є дослідження автоматизованого об'єкта й визначення його придатності до автоматизації.

Дозатор як об'єкт регулювання – це сукупність живильника й вантажопідйомного пристрою – вагового конвеєра.

Автоматичне безупинне вагове дозування матеріалу проводиться бункерними і стрічковими дозаторами. Принцип дії бункерного дозатора безупинної дії заснований на вимірі чутливим елементом 2 і вимірювальним перетворювачем часу 4 зміни витрати матеріалу 5 із живильника в часі й на інтегруванні його інтегратором 3 в міру завантаження або випорожнення бункера 1 (див. рис. 1).

У дозаторах бункерного типу витрата матеріалу з бункера пропорційна зміні маси дозованого матеріалу M у бункері, тобто

$$Q = c \frac{dM}{dt},$$

де c – коефіцієнт пропорційності.

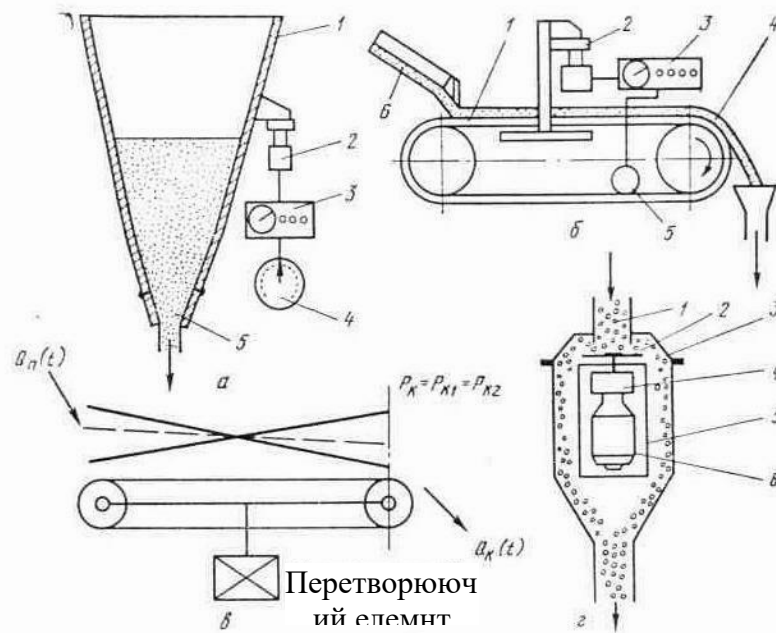


Рис. 1. Схеми безупинного виміру витрат і дозування матеріалів: а) бункерний дозатор; б) стрічковий дозатор (1 – вантажопідіймний конвеєр; 2 – чутливий елемент ваг; 3 – інтегратор; 4 – матеріал; 5 – вимірювальний перетворювач швидкості стрічки; 6 – живильник); в) характеристики розподілу витрати живильника при однаковому середньому P_K і різноманітних значеннях витрат Q_K на виході; г) схема масового витратоміра (1 – патрубок; 2 – ротор; 3 – кожух; 4 – редуктор; 5 – кожух привода; 6 – електродвигун)

Особливість дозаторів бункерного типу в тому, що в них безупинна витрата матеріалів здійснюється при періодичному завантаженні вагового вантажопідіймного бункера. Якщо відомо час циклу завантаження T дозатора, то продуктивність $Q=M/T$, де M – маса матеріалу, що завантажується за один цикл.

Бункерні дозатори безупинної дії можна застосовувати для роботи з сипучими матеріалами й рідинами. Сталість витрати матеріалу підтримується автоматичною системою регулювання.

Принцип дії стрічкових вагових дозаторів безперервної дії заснований на перетворенні вантажопідіймним пристроєм – стрічковим ваговим конвеєром – витрати живильником матеріалу $Q_n(t)$, що подається, в силу ваги $P_K(t)$, яка є функцією часу t .

Продуктивність стрічкового дозатора $Q_d(t)$, яка дорівнює продуктивності вагового конвеєра $Q_K(t)$, в сталому режимі визначається з умови

$$Q_d = Q_{жс} = Q_K = c q v_K,$$

де c – коефіцієнт пропорційності, що залежить від типу вантажопідіймального пристрою; q – навантаження, $кг/м$; v_K – швидкість прямування стрічки конвеєра, $м/с$.

Вантажоприймальний пристрій являє собою не весь конвеєр, а лише частину його. В цьому випадку вантажоприймальним називають ділянку стрічки конвеєра, що безпосередньо впливає на вимірювальний елемент ваг. Довжина його дорівнює відстані між нерухомими роликowymi опорами.

Оскільки $q = P_k / L_k$,

де L_k – довжина вантажнопідйомної (вагової) ділянки конвеєра, м,

$$Q_0 = Q_{жс} = Q_k = c P_k v_k / L_k.$$

Автоматична система регулювання дозатора, для якої вимірювальним параметром є навантаження на конвеєр або сила ваги $P_k(t)$ (або добуток $P_k(t)v_k(t)$), впливаючи на живильник, забезпечує задану продуктивність. Із трьох параметрів (P_k , v_k і L_k), що впливають на добуток, регулювання може проводитися за навантаженням матеріалу $P_k(t)$ на стрічці конвеєра (два інших параметра (v_k і L_k) будуть налагоджувальними) або за двома параметрами (P_k і v_k), тоді налагоджувальним буде тільки один параметр L_k .

Вихідний сигнал дозаторів є лінійною функцією витрати і залежно від виду енергії, яка використовується, визначається з умов

$$Q = cu, Q = ci, Q = cp,$$

де u , i , p – напруга, сила струму і тиски – сигнали, уніфіковані відповідно для електричної й пневматичної систем регулювання.

Особливістю стрічкових дозаторів є наявність запізнення між продуктивністю дозатора $Q_0(t)$ і продуктивністю живильника $Q_k(t)$, зумовленого часом перебування матеріалу на конвеєрі $\tau_2 = L_k / v_k$,

$$Q_0(t) = Q_{жс}(t)(t - \tau_2).$$

Оскільки ваговий конвеєр є інтегруючим елементом, то самому значенню навантаження P_k можуть відповідати різноманітні характерні розташування матеріалу і продуктивність. Стрічкові вагові дозатори застосовують переважно для роботи із сипучими матеріалами.

Крім стрічкових конвеєрів у якості перетворювачів витрати використовують також масові витратоміри. Принцип дії цих приладів базується на вимірюванні сил інерції маси, що рухається, за зміною її кількості прямування. Існує множина типових масових витратомірів: лоткові (пластинчасті), турбінні, коріолісові, гіроскопічні й масоміри (останні забезпечують дозування добре сипучих матеріалів і рідин). В основі побудови масових витратомірів лежить закон гідромеханіки про незалежність кількості прямування елементарного струменя від зміни фізико-механічних властивостей рідини. Масові витратоміри призначені в основному для вимірювання витрати рідин, проте зрідка використовуються і для вимірювання витрати сипучих матеріалів (наприклад, зерна в потоку на млинах). Клас точності масових витратомірів нижче класу точності вагових приладів.

Принцип дії одноагрегатного автоматичного дозатора безупинної дії (рис.2) базується на підтриманні продуктивності (витрати) сипучих матеріалів за допомогою регулювання швидкості стрічки конвеєра. Система керування дозатором (рис. 2) включає вимірювач зусилля 1 і підсилювач 2, що перетворюють вимірювальне навантаження в пропорційний електричний сигнал; перетворювач 6 частоти обертання вала електродвигуна в електричні

сигнали (зазвичай тахогенератор); аналоговий множний пристрій 7, що здійснює перемножування двох сигналів (добуток навантаження на швидкість дає продуктивність); коригувальний прилад 3, що відпрацьовує керуючий вплив за обраним законом регулювання; підсилювач 4 для посилення сигналу керуючого постійного струму з редуктором.

Матеріал, що дозується із бункера, надходить на ваговий конвеєр, який

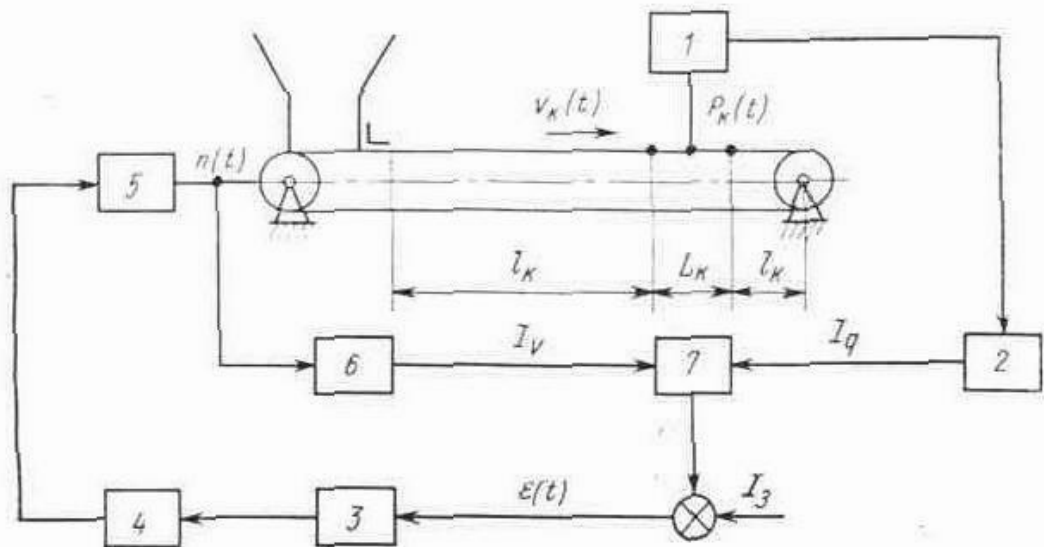


Рис. 2. Одноагрегатний дозатор

виконує також функцію стрічкового живильника. Вимірник зусилля 1 перетворює навантаження на ваговій ділянці конвеєра довжиною L_k (див. рис.2) у пропорційний електричний сигнал, що подається на аналоговий множний пристрій (АМП) 7. Аналоговий сигнал, що відповідає частоті обертання приводного електродвигуна, надходить на інший вхід АМП. Сигнал з АМП надходить на ПІ-регулятор – коригувальний прилад 3, що через підсилювач 4 впливає на приводний електродвигун 5 конвеєра. Швидкість прямування стрічки конвеєра буде змінюватися доти, поки добуток сигналів, пропорційний продуктивності, не дорівнюватиме сигналу завдання.

Математичні моделі дозаторів неперервної дії

Найпоширенішими є дозатори з регулюванням за навантаженням, які мають постійну швидкість руху стрічки конвеєра. Математичний опис таких дозаторів можна отримати у вигляді передавальних функцій і частотних характеристик за відомими передавальними функціями елементів, що входять у дозатор.

Передавальні функції живильників визначають як добуток передавальної функції трьох послідовно з'єднаних елементарних ланок – підсилюючої, запізнюючої й аперіодичної.

В ряді випадків чистим запізнюванням або постійною часу можна знехтувати. Тоді передавальна функція живильника

$$W_n(p) = \frac{k_n e^{-p\tau_1}}{T_n p + 1}.$$

Ваговий конвеєр є найважливішим елементом дозаторів. Від нього істотно залежать їх динамічні характеристики.

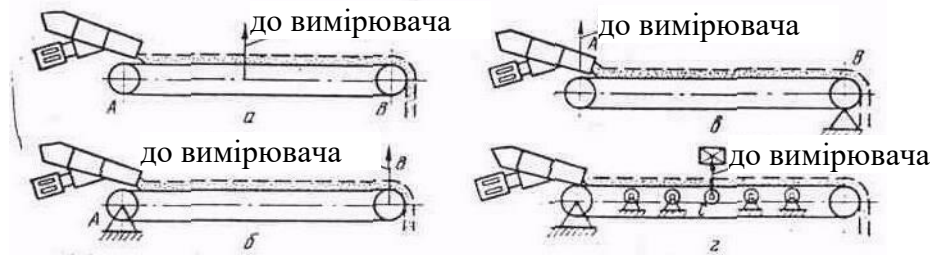


Рис. 3. Типи вантажоприймальних пристроїв стрічкових дозаторів: а) конвеєр із поступальним переміщенням, що повністю передає на ваговий механізм зусилля, пропорційне масі матеріалу, що знаходиться на ньому; б) конвеєр маятникового типу, у який подавання матеріалу здійснюється на нерухому опору, зусилля на силовимірювач передається з боку завантаження матеріалу в точці В; в) конвеєр консольного типу з нерухомою опорою з боку скидання матеріалу, зусилля на силовимірювач передається з боку завантаження матеріалу в точці А; г) вантажоприймальний ролик, умонтований у конвеєр

Ваговий конвеєр має один вхід – продуктивність живильника $Q_n(t)$ та два виходи – зусилля (сила ваги), передане як перетворювач-силовимірювач, і продуктивність дозатора $Q_d(t)$, що дорівнює продуктивності на виході конвеєра $Q_k(t)$. При аналізі й синтезі САР витрати найбільша увага приділяється динамічним характеристикам у каналі продуктивність живильника – зусилля.

У дозаторах застосовують чотири типи вантажоприймальних пристроїв, що входять до складу стрічкових конвеєрів, які різняться способом передавання навантаження на вимірювач зусилля (рис. 3).

Частотні характеристики вантажоприймальних пристроїв поліпшуються при зменшенні часу перебування матеріалу на конвеєрі τ_2 (або часу перебування матеріалу на ваговій ділянці для варіанта з роликоопорою). Проте зменшення часу τ_2 лімітується конструкцією дозатора, оскільки в цьому випадку також знижується корисне навантаження і відношення корисного навантаження до маси конвеєра, що призводить до збільшення похибки вимірювання зусилля.

У цих дозаторах значення витрати не залежить від швидкості прямовання стрічки конвеєра, а визначається продуктивністю живильника. Зміна в них постійної часу конвеєра τ_2 або його швидкості впливає лише на рівень настроювального вихідного сигналу P_k .

Хід роботи

1. Вивчити принципи роботи дозаторів.
2. Ознайомитися з їх математичними моделями.
3. Провести дослідження дозаторів методом математичного моделювання на ЕОМ.

4. Визначити статичні та динамічні характеристики дозаторів.
5. Зробити висновки (на основі математичного моделювання) про статичні та динамічні характеристики дозаторів дії згідно з теорією автоматичного керування.

6. Оформити звіт.

Порядок оформлення звіту

Звіт з практичної роботи повинен містити:

1. Тему і мету.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати досліджень.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке неперервне дозування, його зміст?
2. Які завдання автоматизації процесу дозування?
3. Принцип дії бункерного дозатора.
4. Принцип дії стрічкових, вагових дозаторів.
5. Що таке масові витратоміри? Принцип дії.
6. Пояснити принцип дії одноагрегатного автоматичного дозатора безупинної дії.
7. Які є математичні моделі дозаторів неперервної дії?
8. Способи дозування матеріалів.
9. Від чого залежить величина дозованого матеріалу в стрічкових дозаторах?
10. Типи вантажоприймальних пристроїв у стрічкових дозаторах.

Практична робота № 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕГОНКИ

Мета роботи : Вивчити процес перегонки на базі простого кубового апарата й навчитися проводити дослідження даного процесу, користуючись методом математичного моделювання на ЕОМ.

Теоретичні відомості

Перегонкою називають процес поділу суміші, що складається з двох або більше летючих компонентів.

Необхідною умовою для проведення цього процесу є різна летючість компонентів, що розділяються. Отже, при однаковій температурі пружність пар компонентів, що розділяються, повинна бути різною.

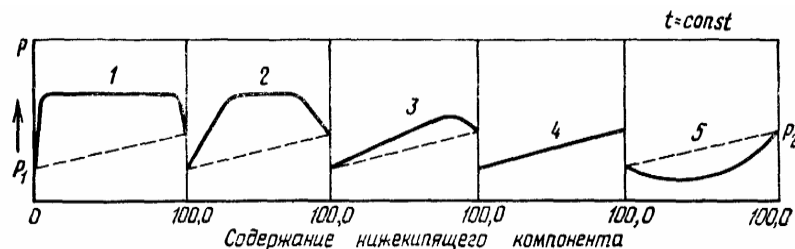


Рис..1. Класифікація бінарних систем

При кипінні суміші, що складається з різних за летючістю компонентів, більш летючий компонент переходить у парову фазу у відносно більшій кількості, ніж менш летючий. Це призводить до збагачення парової фази більш летючим компонентом, тому що він має більшу пружність пари і буде менш киплячим. Таким чином, пара збагачується легколетючим менш киплячим компонентом. Використовуючи це явище, можна розділити складну суміш на компоненти з низьким умістом домішок.

Процес перегонки широко використовується в харчовій промисловості. Найчастіше його використовують у спиртовій і лікеро-горілчаній промисловості, у виноробстві й виробництві ефірних масел. Також у нафтоперегонній справі, у виробництві синтетичного каучуку, лісохімічній промисловості й багатьох інших галузях.

В основу сучасної теорії перегонки покладено закономірності перегонки бінарних сумішей. Основні закони, які керують перегонкою бінарних сумішей, виявили Д. П. Коновалов і М. С. Вревський. Дослідження Д. П. Коновалова стали фундаментом для створення теорії перегонки. Його праці дозволили класифікувати всі бінарні суміші летючих компонентів.

В основу цієї класифікації покладено функціональну залежність загального тиску парів бінарної системи від складу рідкої фази. Якщо на горизонтальній осі (рис. 1) відкласти утримування менш киплячого (більш летючого) компонента, а на вертикальній осі – загальний тиск парів суміші, то

залежно від характеру суміші лінії тиску можуть мати той або інший вигляд. На рис. 1 p_1 і p_2 – тиск парів чистих компонентів.

Лінія 1 відповідає випадку повної нерозчинності компонента (або варіанта, коли спостерігаються тільки сліди розчинності). У цьому випадку загальна пружність пари дорівнює сумі тисків парів чистих компонентів до моменту, поки в рідкому середовищі є обидва компоненти незалежно від їх відносної кількості. До таких сумішей відносять, наприклад, суміші бензолу й води, сірководню й води.

Лінія 2 відповідає суміші компонентів, частково розчинних один в одному. До таких сумішей відносять воду й ізоаміловий спирт, воду й ізобутиловий спирт.

Лінія 3 відповідає сумішам, компоненти яких цілком розчинні один в одному. Загальна пружність пари цих сумішей має максимум, що відповідає визначеному складу рідкої фази за даної температури. До таких сумішей відносять суміші етилового спирту і води, етилового спирту і бензолу.

Лінія 4 відповідає граничному випадку, коли компоненти цілком розчиняються один в одному, не створюючи максимуму або мінімуму. Це відноситься до сумішей метилового спирту і води, бензолу і ксилолу, аміаку і води, метилового й етилового спиртів.

Лінія 5 відповідає випадку повної розчинності компонентів із утворенням особливої точки, що відповідає мінімуму тиску. До цієї групи відносять суміші води і мурашиної кислоти, ацетону і хлороформу. Причиною різниці в закономірностях зміни загального тиску пари бінарних сумішей є різниця у взаємодії молекул компонентів розчинів.

Суміші, що відповідають лінії 4, є найпростішими або ідеальними. Утворення цих сумішей не супроводжується помітним тепловим ефектом. При змішуванні не відбувається стискування або збільшення об'єму суміші. В ідеальних розчинах сили притягання однакових і різних молекул рівні.

У цьому випадку сила, з якою молекули утримуються в рідині, залежить тільки від її відносної кількості того або іншого компонента. При заданій температурі парціальний тиск пари кожного компонента пропорційний його утримуванню в рідині.

Ідеальні розчини описуванняє закон Рауля: парціальний тиск пари компонента P_a' дорівнює тиску насиченої пари цього компонента при даній температурі P_a , помноженому на його молекулярну частку в рідині x_a , тобто

$$P_a' = P_a x_a.$$

Розчини, лінії тиску пари яких відхиляються від прямої (рис. 1), утворюються з чистих компонентів із помітним тепловим ефектом. Це вказує на взаємодію молекул компонентів, що змішуються.

Якщо сила притягування молекул неоднакових компонентів менша, ніж однакових, то тиск пари суміші буде відхилятися вгору від лінії ідеальних розчинів. Якщо сила притягування молекул неоднакових компонентів більша, ніж сила притягування молекул однакових компонентів, крива піде нижче прямої ідеальних розчинів (рис. 1, лінії 3 і 5).

Якщо сила притягування молекул, які не мають виходу, дуже мала, то рідка фаза розшаровується на два шари. Кожен із них посиляє молекули в парову фазу так, наче він знаходиться в розчині один. У цьому випадку загальний тиск дорівнює сумі тисків чистих компонентів за даної температури (лінії 1 і 2).

Основні закони перегонки

Для двох взаєморозчинних рідин правило фаз можна записати так:

$$5 = K - f + 2 = 2 - 2 + 2 = 2,$$

де 5 – число ступенів свободи; f – число фаз; K – число компонентів.

Таким чином, правило фаз вказує на те, що з трьох параметрів (температури T , тиску p і концентрації C), які визначають стан системи, довільно можуть бути обрані два. Якщо задати температуру й тиск, то склад системи (концентрація) буде визначено як для рідкої, так і для парової фаз.

Питання про склад фаз, що знаходяться в рівновазі, є найважливішими у вивченні процесів перегонки. Їх основні закономірності встановлено Д. П. Коноваловим, який, досліджуючи розчини спиртів і органічних кислот у воді, вивів два основних закони.

Перший закон Д. П. Коновалова: «Пара, що знаходиться в рівновазі з розчином, завжди містить у надлишку той компонент, додавання якого до розчину знижує температуру кипіння». Інакше кажучи, пара збагачується тим компонентом, додавання якого до рідини підвищує загальний тиск парів над нею.

Цей закон визначає якісний склад парової фази. Розглянемо систему „етилловий спирт–вода”. Додавання до рідкої фази спирту викликає в цій системі зниження температури кипіння. Отже, при кипінні парова фаза збагачуватиметься парами спирту.

У випадку ідеальних розчинів це положення буде справедливим для будь-якого складу рідкої фази.

Таблиця 1. Фазовий склад компонентів

Фаза	Склад компонентів			
	у % мол.		у % мас.	
	Менш киплячий компонент	Більш киплячий компонент	Менш киплячий компонент	Більш киплячий компонент
Рідка	x	$100-x$	a	$100-a$
Парова	y	$100-y$	b	$100-b$

Для розчину, криві тиску якого мають максимум або мінімум, існує деякий склад рідкої суміші, при якому пари, що виділяються, мають той же склад, що й рідка фаза. Таку суміш називають нероздільно-киплячою або азеотропною. Положення цієї суміші на графіка p – x встановлює *другий закон Д. П. Коновалова:* „В екстремумах тисків пари (або точок кипіння) сумішей вміст рідкої і парової фаз збігається”.

На кривій склад–тиск є точка перегину (лінія 3 і 5 на рис. 1), тому за другим законом Д. П. Коновалова, у цій точці концентрації компонентів в обох фазах будуть однакові. До групи нероздільно-киплячих сумішей відносять суміші етилового спирту і води, етилового спирту і бензолу та ін.

Для вивчення процесу перегонки тієї чи іншої бінарної суміші необхідно знати склад парової фази залежно від вмісту рідкої фази. Для всіх розчинів, крім ідеальних, це співвідношення визначають експериментальним шляхом. Для ідеальних розчинів рівновагу вмісту парової фази можна легко розрахувати. За допомогою експериментальних визначень можна скласти таблицю рівноважних вмістів.

При розгляданні процесу ректифікації (при визначенні вмісту фаз) ми будемо користуватися позначеннями, наведеними в таблиці 1.

Використовуючи експериментальні дані, можна побудувати графік залежності вмісту парової від вмісту рідкої фаз (див. рис. 2). Криву рівноваги, зображену на рис..2, будемо в координатах $y-x$ (% мол.) або в $b-a$ (% мас.). Відповідно до першого закону Д. П. Коновалова, крива для системи „етиловий спирт–вода” проходить вище діагоналі. Отже, пара буде збагачена спиртом порівняно з рідкою фазою. Однак крива перетинає діагональ в одній точці у відповідності з другим законом Д. П. Коновалова. Ця точка характеризує вміст нероздільно-киплячої суміші і є азеотропною точкою. За нормального тиску нероздільно-кипляча суміш системи „етиловий спирт–вода” містить 95,57% мас. спирту при температурі кипіння $78,15^{\circ}\text{C}$. За цього ж тиску температура кипіння етилового спирту дорівнює $78,3$, а води – 100°C .

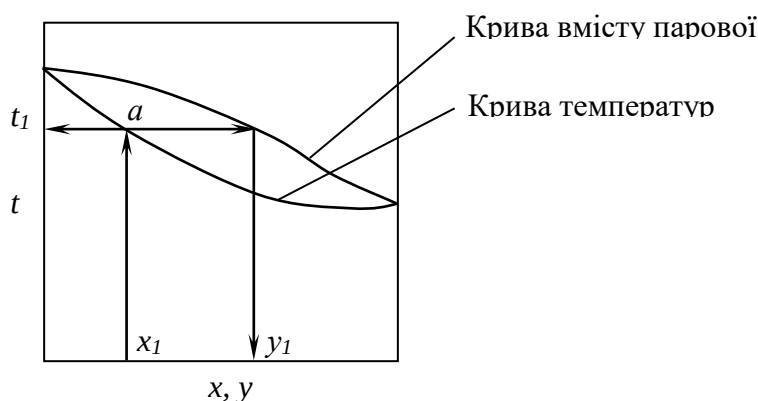


Рис..2. Діаграма температур ($t-x-y$)

Властивості бінарних сумішей можна зобразити також діаграмою, яку називають діаграмою температур (рис. 2). На вертикальній осі ординат цієї діаграми відкладено температури кипіння, а на горизонтальній – утримування менш низько киплячого компонента у рідкій і паровій фазах.

Якщо потрібно визначити температуру кипіння t_1 і вміст парової фази за заданим вмістом рідкої фази x_1 , то побудову робимо таким способом. З точки x_1 проводимо перпендикуляр до точки перетину з кривою температури (точка a). Провівши горизонталь із точки a , знайдемо температуру кипіння t_1 . Вміст пари y_1 знайдемо за допомогою кривої вмісту пар. Побудову зображено на рис. 2.

На рис. 3 зображено теплову діаграму для бінарної суміші. Її будують у координатах I - t - x - y . На вертикальній осі відкладають тепловміст, на горизонтальній — вміст рідкої і парової фаз. У координатах будують криву тепловмісту киплячого розчину і криву тепловмісту насиченої пари. Якщо на вертикальній осі діаграми відкласти масштаб t , то на тому ж графіку можна побудувати криву температур кипіння і криву вмісту пари. Проводячи в координатах 1 - x - y ізотерму AB , можемо перенести її в координати I - x - y . Для цього з точки A опускаємо перпендикуляр на лінію тепловмісту киплячої рідини (точка A_1), а з точки B відновлюємо перпендикуляр на криву тепловмісту пари (точка B_1). З'єднавши точки A_1 і B_1 , отримаємо ізотерму A_1B_1 у координатах I - x - y . З побудови зрозуміло, що перпендикуляри, опущені з точок A_1 , B_1 на осі абсцис, визначають умісти рівноважних рідкої і парової фаз.

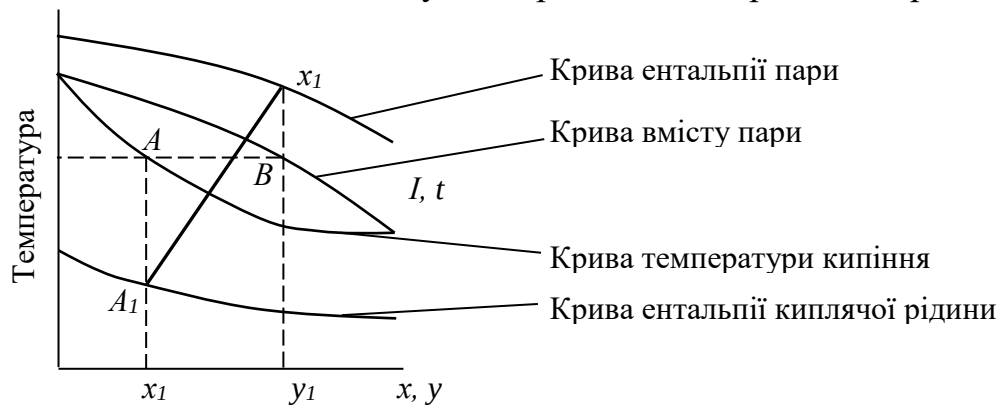


Рис. 3. Теплова діаграма I - t - x - y

При утворенні пари з рідкої бінарної суміші, вона збагачується менш киплячим компонентом. Розглянемо зворотний процес—конденсацію парів, що містять два компоненти. Як бачимо з діаграми рівноваги (див. рис. 4.10.2), пара, що містить b % менш киплячого компонента, знаходиться в рівновазі з рідиною, що містить a % більш киплячого компонента. Тому при частковій конденсації цієї пари парова фаза, що залишилася, збагачується менш киплячим компонентом. Часткову конденсацію, що супроводжується зміною умісту фаз, називають дефлегмацією. Отже, дефлегмацією називають конденсацію парової суміші, яка супроводжується збагаченням парової фази нижче киплячим компонентом. Рідку фазу, яка утворюється при цьому, називають флегмою. Процес дефлегмації можна також використовувати для поділу суміші летючих компонентів.



Рис. 4. Методи перегонки

Класифікація процесів перегонки

Методи перегонки, які застосовують у харчових виробництвах, різноманітні. Класифікацію їх наведено на рис. 4.

Усім іншим видам передувала перегонка, що здійснювалася в одиночному перегонному кубі. Просту перегонку використовують і в даний час, наприклад, у виробництві коньяку й ефірних масел.

Проста перегонка

На рис. 5 зображено апарат для простої перегонки — одиничний куб. Якщо поверхня куба ретельно ізолювана, то можна вважати, що на його внутрішній поверхні пари не конденсуються.

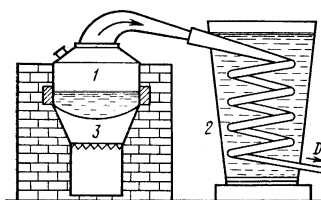


Рис.5. Простий кубовий апарат: 1 – куб; 2 – холодильник; 3 – топка

У такому випадку можна вважати, що апарат працює без дефлегмації й утворені в кубі 1 пари надійдуть у холодильник 2, де законденсуються, створюючи дистилат *D*. Робочий цикл такого одиночного куба складається з таких операцій: наповнення, нагрівання умісту куба (навалювання) до кипіння, перегонка, спускання залишку і підготовка до наступного наповнення.

У процесі перегонки відсотковий уміст менш киплячого компонента у кубі безперервно змінюється. Пари, що утворюються, містять більше менш киплячого компонента, ніж рідка фаза. Тому в міру перегонки концентрація менш киплячого компонента у рідині, що залишається в кубі, зменшується. Внаслідок цього в міру перегонки зменшується уміст менш киплячого компонента в парах, що утворюються. Тому порції дистилату, які послідовно

відбираємо, є нерівноцінними відносно вмісту менш киплячого компонента. Складемо матеріальний баланс простої перегонки в кубі, що працює без дефлегмації. Кількість суміші, що міститься в кубі в якийсь момент перегонки, позначимо через W , кг. Уміст менш киплячого компонента у цій суміші в цей же момент буде $W_a/100$, кг.

За нескінченно малий проміжок часу з суміші, що знаходиться в кубі, буде виділено d кг з умістом менш киплячого компонента b %. При цьому концентрація менш киплячого компонента у кубі зменшиться на da . Таким чином,

$$Wa = (W - dW)(a - da) + dWb.$$

Провівши перетворення, отримаємо

$$Wa = Wa - Wda - dWa + dWda + dWb.$$

Скорочуючи і звільняючись від нескінченно малих розмірів вищого порядку, отримаємо

$$-Wda - dWa + dWb = 0.$$

Звідси

$$dW/W = da/(b - a).$$

Початкову кількість суміші в кубі позначимо через W_0 , уміст компонента, що менш кипить у ній – a . Відповідно наприкінці перегонки масу залишку позначимо через W_1 , а уміст менш киплячого компонента – a_1 . Проінтегруємо ліву частину отриманого вище рівняння в межах від W_1 до W_0 , а праву відповідно – від a_0 до a_1 :

$$\ln \frac{W_1}{W_0} = \int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{b - a}$$

або

$$\int_{W_0}^{W_1} \frac{dW}{W} = \int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{b - a}.$$

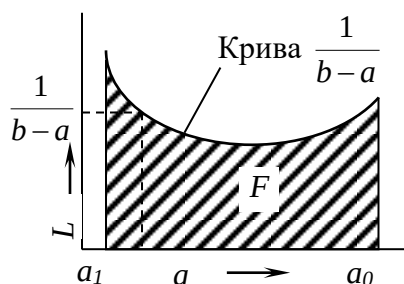


Рис. 6. Графічне визначення кількості дистиляту

Щоб проінтегрувати ці рівняння, потрібно b виразити через a . Однак це не завжди можливо. Тому розв'язком цього рівняння буде графічний метод.

Для визначення числового значення правої частини рівняння будують графік у координатах $a-1/(b-a)$ (див. рис. 6). Криву підінтегральної функції будують за точками з допомогою таблиці рівноваги або кривої рівноваги. Для цього, задаючись довільним значенням a , знаходять відповідно значення b і

обчислюють значення $1/(b-a)$. Отримане значення $1/(b-a)$ відкладають у масштабі (див. рис..6). З'єднавши ряд точок, знайдених таким чином, отримують криву підінтегральної функції.

Заштрихована ділянка на рис.6 площа F буде виражати у визначеному масштабі інтеграл $\int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{b-a}$.

Помножуючи площу F на масштаби, прийняті для побудови a і $1/(b-a)$, отримаємо числове значення інтеграла, який позначимо через K . Таким чином, $\ln(W_1/W_0)=K$.

Звідси можна знайти розмір W_1 , якщо задані W_1, a_1 і a_0 . Кількість дистиляту $D=W_0-W_1$.

Уміст менш киплячого компонента у ньому дорівнює $W_0 a_0 - W_1 a_1$.

Середній уміст менш киплячого компонента у дистиляті, отриманому за весь час перегонки, дорівнює $\frac{W_0 a_0 - W_1 a_1}{W_0 - W_1} = b_{Dcp}$.

Ефективність простої перегонки суміші етилового спирту і води b_{Dcp} – середній уміст спирту у дистиляті (у %) наведено в табл. 2.

За допомогою простої перегонки неможливо отримати дистилят із високим середнім утримуванням менш киплячого компонента. Це бачимо з табл. 2, у якій наведено результати розрахунків для бінарної суміші “етиловий спирт–вода”. Тільки перші порції дистиляту містять значний відсоток менш киплячого компонента. В міру збільшення кількості дистиляту відсотковий уміст у ньому наближається до його умісту в початковій суміші.

Проста перегонка без дефлегмації може мати місце тільки у випадку, коли вжити заходи, які запобігають можливості дефлегмації (ретельна ізоляція, обігрівання стінок куба і труб між кубом і холодильником).

Таблиця 2. Параметри бінарної суміші “етиловий спирт–вода”

Початковий уміст менш киплячого компонента в навалці, %	Відбір дистиляту, % до маси навалки		
	10	25	50
30	65	58,0	39,4
30	74	69,0	58,0
40	75	73,2	68,0
50	77	76,0	74,5
60	80	78,5	78,0
70	83	82,2	81,0
75	84	83,0	81,5

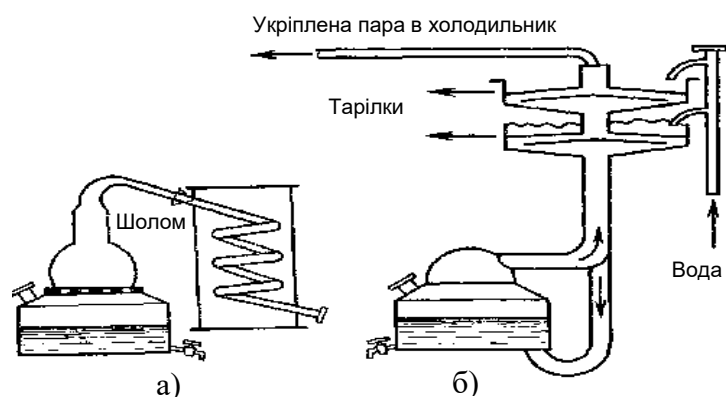


Рис. 7. Прості кубові апарати з дефлегмаційними пристроями: а) з такими, що постачають; б) із тарілками

Дефлегмація збільшує зміцнювальний ефект апарата, тому кубові апарати постачають із пристосуваннями для її посилення. Найпростішим із них є шолом, який встановлено над кубом і повітряним охолоджувачем. Пізніше з'явилися куби, укомплектовані дефлегматорами.

На рис. 7 зображено кубові апарати з дефлегмаційними пристроями. Завдяки процесу дефлегмації зміцнювальний ефект такого апарата більший, ніж зміцнювальний ефект апарата без дефлегмації. Дистилат, отриманий у такому апараті, містить більше менш киплячого компонента, ніж дистилат, отриманий в апараті без дефлегмаційного пристрою.

Якщо при роботі без дефлегмації середню концентрацію менш киплячого компонента позначити через C_{cp} , а за наявності дефлегмації – через C'_{cp} , то коефіцієнт дефлегмації буде більшим одиниці: $\sigma = \frac{C'_{cp}}{C_{cp}}$.

Таблиця 3. Вихідні дані

Варіант	Початкова маса суміші x_n , г	Масова доля етанолу в кубовому осаді x_k , %	Початкова масова доля x_n , %	Крок n , %
1	2850	5	19	0,5
2	2900	6	15	0,1
3	3050	3	20	1
4	2780	10	25	1,5
5	2820	5	18	0,1
6	2950	7	15	0,1
7	2980	8	18	1
8	3010	5	15	1,5
9	3010	4	19	0,1
10	2911	5	19	1

Хід роботи

1. Вивчити принципи протікання процесу перегонки.
2. Ознайомитися з математичними моделями процесів перегонки.

3. Провести дослідження процесу простої перегонки методом математичного моделювання на ЕОМ.
4. Побудувати графіки функціональної залежності процесу простої перегонки, виходячи з розрахованих даних (див. табл. 3).
5. Зробити висновки (на основі математичного моделювання) про фізичні процеси в даному приладі та про його властивості згідно з теорією автоматичного керування.
6. Оформити звіт.

Порядок оформлення звіту

Звіт з практичної роботи повинен містити:

1. Тему і мету.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати досліджень.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що називають перегонкою?
2. Визначити і пояснити загальні принципи процесу простої перегонки.
3. Класифікація бінарних систем.
4. Сформулювати закон Рауля.
5. На що вказує правило фаз?
6. Як визначають склад парової фази бінарної системи?
7. Сформулювати перегонки.
8. Класифікація методів перегонки.
9. Суть процесу дефлегмації.
10. Пояснити зміст процесу простої перегонки.

Практична робота № 6. ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ БУДОВИ, СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ШТАМПУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета роботи: вивчити конструктивну будову основних механізмів, приводів, демпферів та давачів РТК завантаження штампувального обладнання; зобразити компоновальну, кінематичну та пневматичну схеми РТК; розробити алгоритм та циклограму роботи РТК.

Короткий технічний опис РТК завантаження штампувального обладнання

Загальний вигляд РТК завантаження штампувального обладнання показаний на рис. 1. Він складається з живильного механізму, в магазинах якого знаходяться орієнтовані заготовки, та промислового робота МП-9С.

Живильний механізм РТК завантаження штампувального обладнання складається з наступних елементів (рис. 1, 2, 3):

1. Основа
2. Стіл
3. Змінна пластина
4. Плити
5. Магазины поштучної видачі заготовок
6. Кожухи
7. Рама
8. Жолоб для деталі
9. Пневмоциліндр
10. Шток
11. Штуцер
12. Кришка пневмоциліндра
13. Кришка пневмоциліндра
14. Регулювальні гвинти магазинів
15. Штуцер
16. Кронштейн.

Магазины поштучної видачі заготовок 5 розміщені на плитах 4, які нерухомо прикріплені до основи 1 з допомогою гвинтів. В магазини завантажуються деталі типу пластин. Для переналагодження системи на потрібну форму використовують регулювальні гвинти 14 і змінні пластини 3.

Змінні пластини кріпляться з допомогою гвинтів до рухомого стола 2. В них виконані два прорізи під форму деталі. Деталь в прорізах розміщується на мідній підкладці, яка служить магнітним екраном.

Стіл 2 рухається по направляючих основи 1 (вид А). В крайніх положеннях відбувається завантаження одного з прорізів деталлю з магазинів. В цей момент другий проріз знаходиться в зоні завантаження, звідки деталь забирається рукою робота з допомогою електромагнітного захоплювача. При переміщенні стола в інше крайнє положення пустий проріз попадає під магазин

поштучної видачі заготовок, а проріз з деталлю – в зону завантаження.

До основи знизу кріпиться пневмоциліндр 9. З боків до основи кріпляться захисні кожухи 6. Основа прикріплена до рами 7.

При подачі повітря через штуцер 11 і канал в кришці 12 у ліву порожнину пневмоциліндра 9 шток з поршнем 10 переміщується вправо. Рух від штока через кронштейн 16 передається до стола 2. Стіл переміщується в крайнє праве положення. Відбувається завантаження деталлю правого прорізу із магазину, і одночасно забирається деталь із зони завантаження з лівого прорізу.

Наступним кроком роботи живильного механізму є подача тиску в праву порожнину пневмоциліндра 9 через штуцер 15 і канал в кришці 13. Шток рухається вліво – відбувається завантаження лівого прорізу і розвантаження правого.

2. Короткий технічний опис робота МП-9С

2.1. Призначення робота МП-9С

Промисловий робот МП-9С призначений для взяття деталі з живильного механізму, її переносу і завантаження в штампувальний прес.

2.2. Технічні дані робота МП-9С

Вантажопідйомність, кг	0,2
Висування руки, мм	150
Підйом руки, мм	30
Поворот руки, °	120
Час максимального переміщення по:	
– висуванню і підйому, с (не більше)	0,5
– повороту, с (не більше)	0,8
Максимальна абсолютна похибки позиціювання, мм	0,1
Тип приводу	пневматичний
Робочий тиск повітря, МПа (кг/см ²)	0,4-0,5 (4-5)
Тип системи керування	циклова
Електроживлення – мережа змінного струму напругою, В	220
частотою, Гц	50±0,5
Число команд в програмі, шт	30
Число технологічних команд, шт	6
Число точок позиціювання	
по кожній ступені рухливості, шт	2
Маса, не більше, кг	
– маніпулятора	32
– пристрою керування	18
Габаритні розміри, мм	
– маніпулятора	570×232×305
– пристрою керування	450×202×395

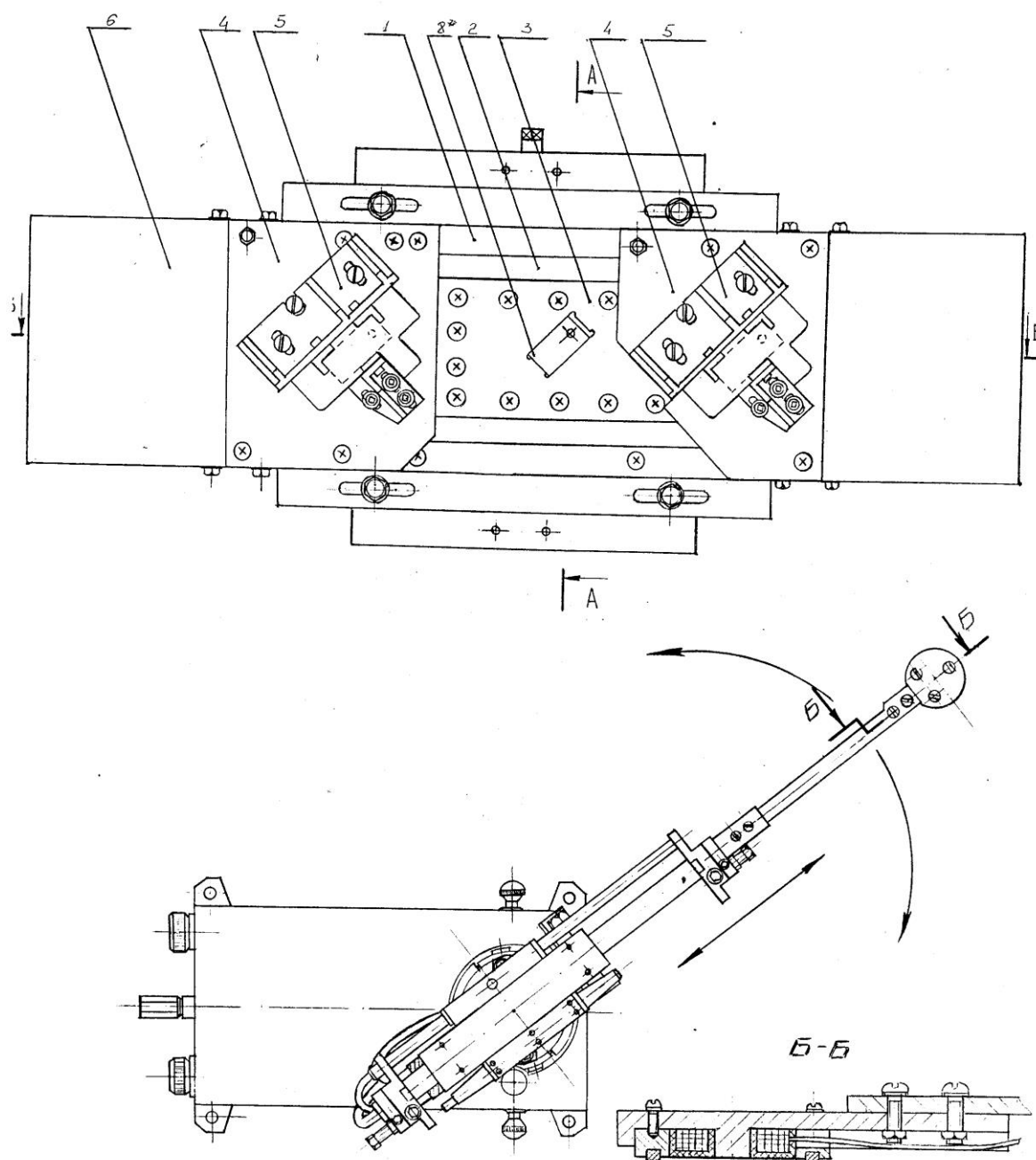


Рисунок 1. Загальний вигляд РТК

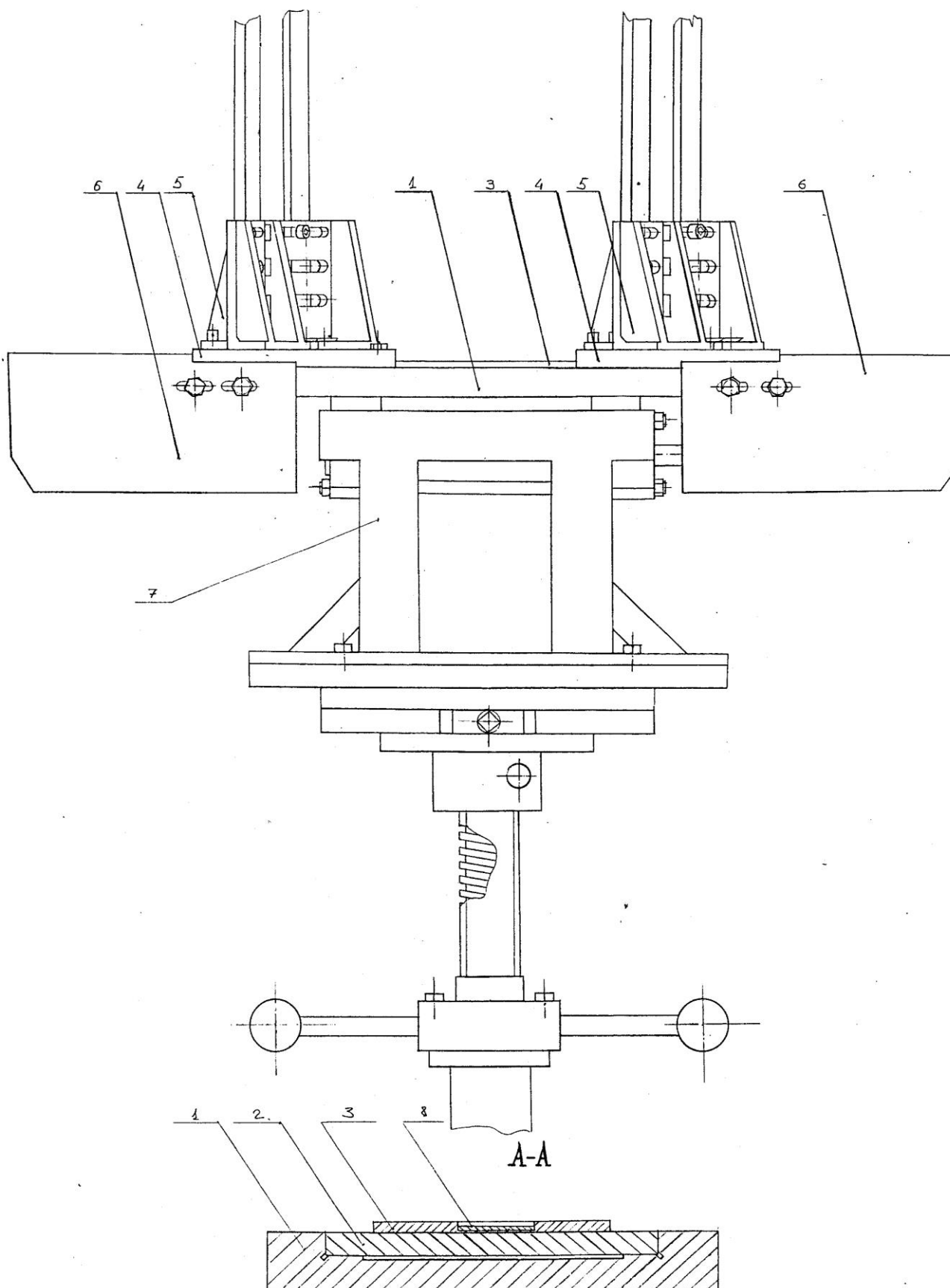


Рисунок 2. Загальний вигляд магазинного пристрою

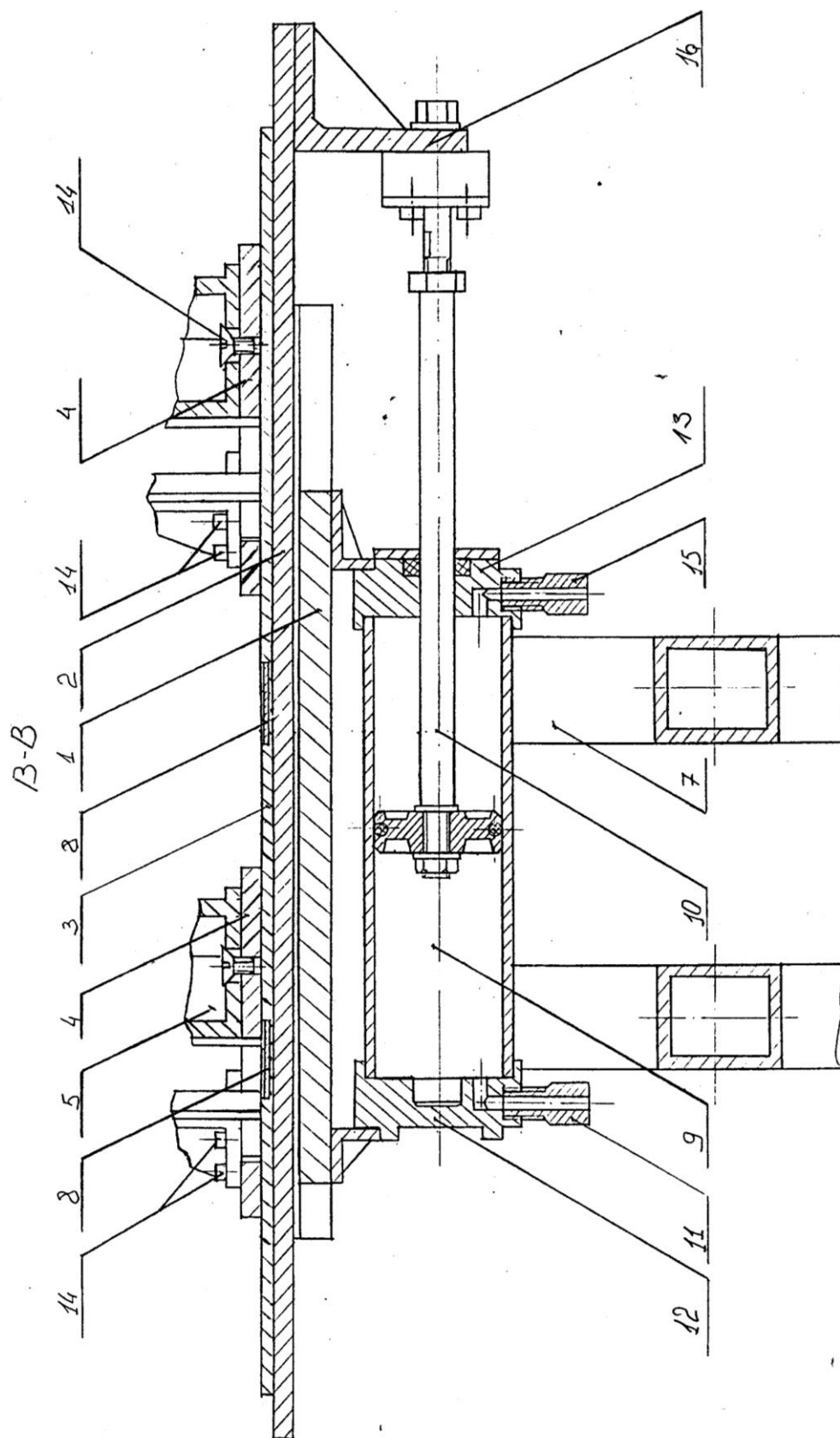


Рисунок 3. Переріз магазинного пристрою

2.3. Будова і принцип роботи складових частин робота МП-9С

2.3.1. Загальний опис

На маніпулятор подається напруга постійного струму 24 В від ЕЦПУ-6030, підключеного до мережі змінного струму напругою 220 В.

Стиснене повітря подається до електропневматичних клапанів маніпулятора через вузол підготовки повітря, який забезпечує регулювання необхідного тиску, подачу повітря і мастила в пневмоциліндри.

У маніпуляторі електропневматичні клапани, встановлені на кожний рух. Кожний клапан забезпечений встановленим на виході дроселем, регулювання якого дозволяє здійснювати зміну швидкості руху.

Хід маніпулятора здійснюється по кінцевих регульованих упорах.

Послідовність і кількість рухів, згідно з прийнятою технологічною схемою здійснюється набором програми на пульті ЕЦПУ-6030. Сигнал про виконання кожного руху видають давачі при підході до них постійних магнітів, встановлених на рухомих частинах. Тільки після одержання сигналу відповіді про виконання руху (команди) відбувається видача команди на виконання наступного руху.

При відсутності сигналу від давача про виконання руху, згідно до програми, маніпулятор зупиняється і до моменту одержання сигналу наступних рухів не відбувається.

Амортизація висування і повороту руки маніпулятора здійснюється гідравлічними демпферами. Амортизація підйому (опускання) руки здійснюється дроселюванням подачі і відводу повітря.

2.3.2. Будова основних вузлів маніпулятора

Конструкція маніпулятора приведена на рис. 4, 5. Маніпулятор складається з таких основних вузлів:

- корпусу з вузлом розподілу повітря;
- механізму підйому;
- механізму повороту;
- муфти з упорами;
- руки;
- амортизатора руки;
- амортизатора повороту;
- захоплювача.

2.3.2.1. Корпус 7 (рис. 4) і 10 (рис. 5) являється основою маніпулятора, у якому розміщений вузол розподілу повітря 14 (рис. 4) і 8 (рис. 5), що складається з 8 електропневматичних клапанів, обладнаних дроселями 15 (рис. 4.4), і здійснена вся електро- і пневморозводка. Для зручності обслуговування корпус має з'ємний, кожух 5 (рис. 5) і дві бокові кришки 3 (рис. 5). На задній стінці корпусу розміщені штуцер 7 (рис. 5) для підводу повітря до вузла розподілу і два роз'єми 6 і 9 (рис. 5) для підключення через кабелі електроживлення до ЕЦПУ-6030.

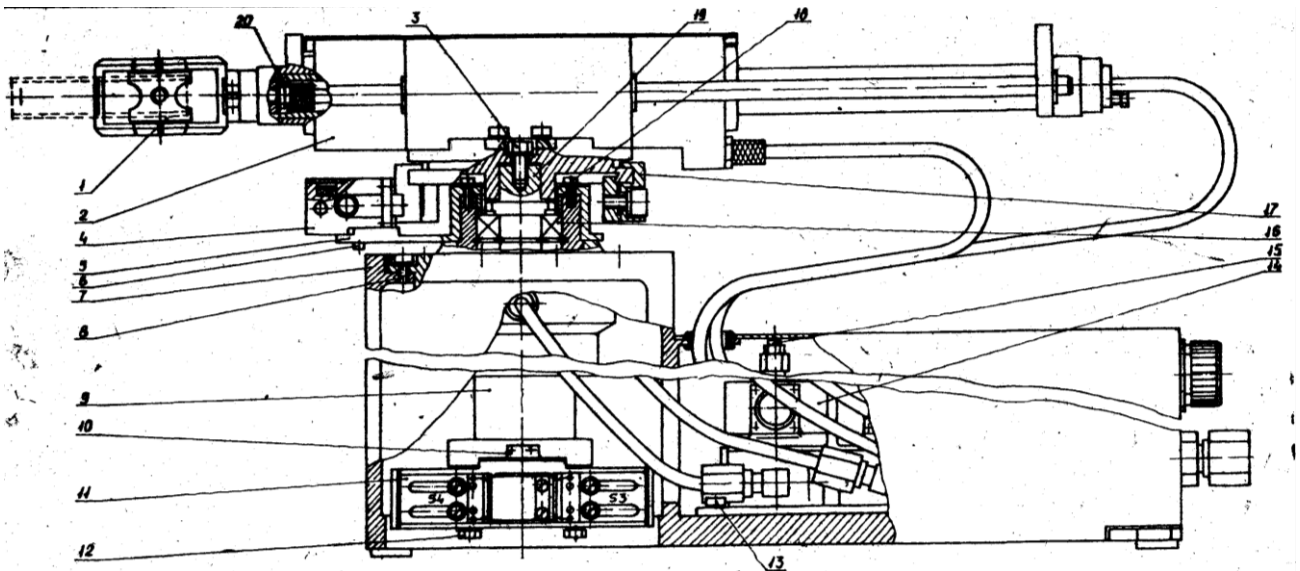


Рисунок 4 Маніпулятор: 1 – захоплювач; 2 – рука; 3 – болт; 4 – амортизатор повороту; 5 – кронштейн; 6 – гвинт; 7 – корпус; 8 – гвинт; 9 – механізм підйому; 10 – планка; 11 – механізм повороту; 12 – болт; 13 – гвинт; 14 – вузол розподілу; 15 – дросель; 16 – підшипник; 17 – муфта з упорами; 18 – гвинт; 19 – вал; 20 – з'єднання пряме кінцеве.

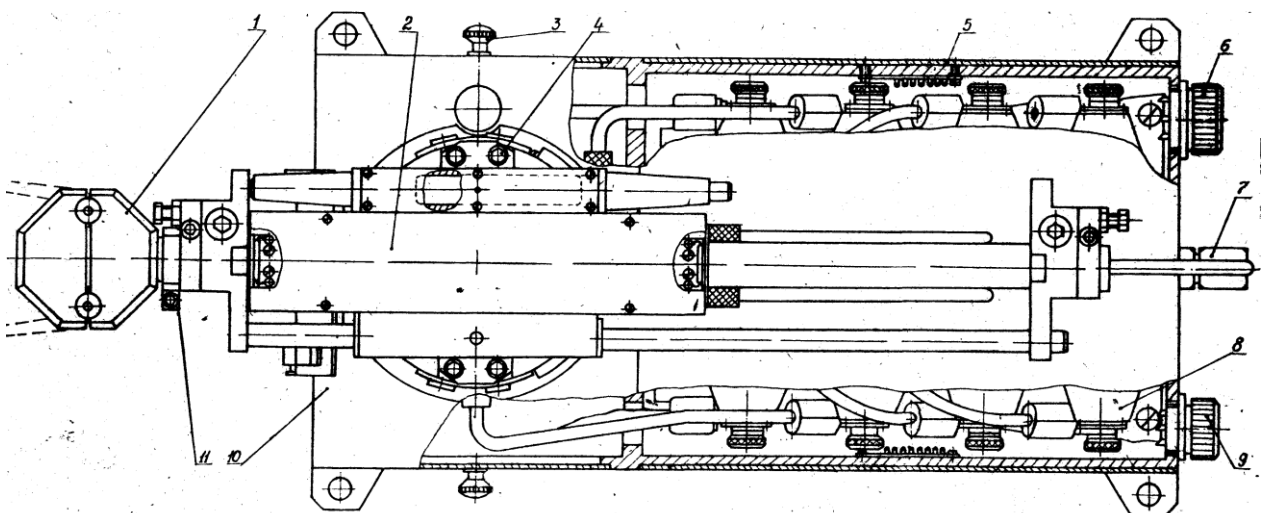


Рисунок 5. Маніпулятор: 1 – захоплювач; 2 – рука; 3 – кришка; 4 – болт; 5 – кожух; 6 – штепсельний роз'єм; 7 – штуцер; 8 – вузол розподілу; 9 – штепсельний роз'єм; 10 – корпус; 11 – хомут.

2.3.2.2. Механізм підйому (рис. 6).

Механізм підйому призначений для забезпечення підйому (опускання) руки маніпулятора. Механізм підйому складається з корпусу 6, штока 2 і кришок 8, 9 і 17. Порожнини пневмоциліндра герметизуються манжетами 7, 14 і прокладками 18.

Для покращення динаміки роботи при підніманні і опусканні штокові порожнини виконані з різними робочими площами. Усередині штока на підшипниках 10 установлений вал 1 механізму повороту. На нижній частині штока є проточка і виступ, які призначені для встановлення і фіксації механізму повороту. На верхньому кінці вала 1 є лиски і різьбовий отвір, призначені для

встановлення і фіксації муфти з упорами. На верхній частині механізму підйому розміщений кронштейн, призначений для установки амортизатора повороту.

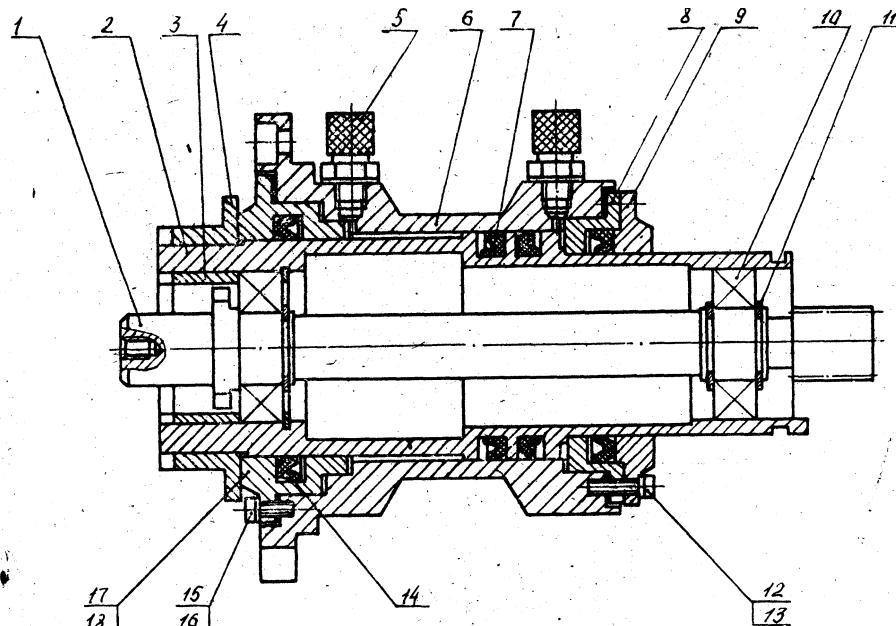


Рисунок 6. Механізм підйому: 1 – вал; 2 – шток; 3 – втулка; 4 – кронштейн; 5 – з'єднання пряме кінцеве; 6 – корпус; 7 – манжета; 8 – кришка; 9 – кришка; 10 – підшипник; 11 – кільце пружинне; 12 – гвинт; 13 – шайба пружинна; 14 – манжета; 15 – гвинт; 16 – шайба пружинна; 17 – кришка; 18 – прокладка

Розміщення упорів механізму підйому показане на рис. 7. Застосовуються два типи упорів. Упори 1 і 4 основні. Упор 6 допоміжний (регулювальний) призначений для полегшення регулювання нижнього основного упора, що знаходиться під час налагодження під дією ваги руки.

На основних упорах установлені КЕМи 12 і 17, а на кронштейні 14 – магніти 15.

Кронштейн 14 з'єднує механізм підйому з механізмом повороту і одночасно запобігає поворот останнього, взаємодіючи з направляючою 3.

Для забезпечення точності позиціювання гвинтом 13 встановлюють зазор не більше 0,05 мм.

Регулювання ходу механізму підйому проводять так:

- пересувають упори 4 і 6 на необхідний розмір, попередньо послабивши їхнє затягування до направляючої 3;
- затягують гвинт 10 упора 6;
- регулюють мікрогвинтом 7 точне положення упора 4 і затягують його гвинтом 5;
- послаблюють затяжку гвинта 2 упора 1;
- пересувають упор 1 на необхідний розмір і затягують гвинт 2.

При цьому враховують, що максимальний хід мікрогвинта 7 складає 2 мм із контргайкою і 6 мм без неї, а необхідні при регулюванні вертикальні переміщення руки здійснюють вручну або від ЭЦПУ-6030 при тиску повітря 0,1- 0,15 МПа.

Після регулювання ходу механізму підйому проводять настроювання КЕМів, для цього:

- ❖ підводять кронштейн 14 із магнітами 15 до упора 1;
- ❖ установлюють переміщенням плати 16 і КЕМа 17, положення останнього при якому він надійно спрацьовує;
- ❖ закріплюють плату 16 гвинтами а КЕМ 17 клеєм. Аналогічно проводять установку і закріплення плати 11 і КЕМа 12.

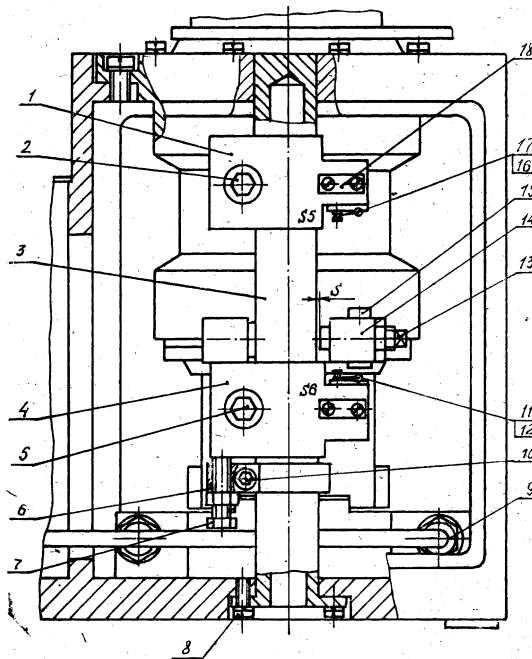


Рисунок 7. Вид на упори механізму підйому: 1 – упор; 2 – гвинт; 3 – направляюча; 4 – упор; 5 – гвинт; 6 – упор регульовальний; 7 – мікрогвинт, 8 – гвинт, 9 – з'єднання пряме кінцеве; 10 – гвинт; 11 – плата; 12 – магнітокерований контакт; 13 – гвинт; 14 – кронштейн; 15 – магніт; 16 – плата; 17 – магнітокерований контакт; 18 – плата.

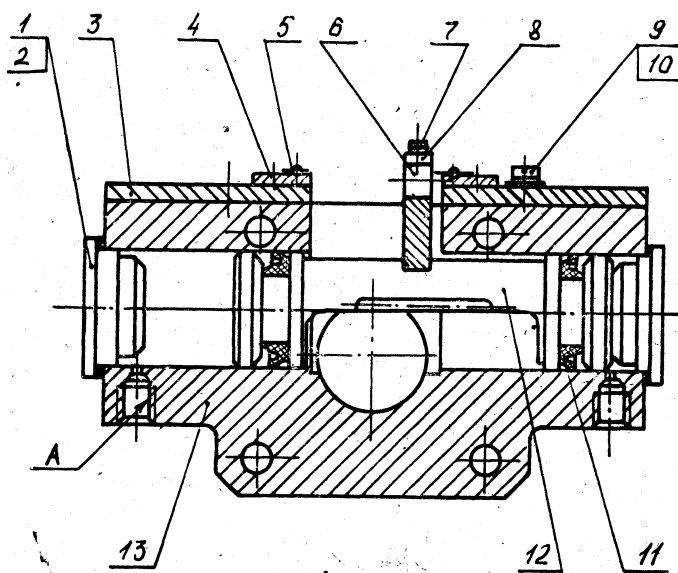


Рисунок 8. Механізм повороту: 1 – фланець; 2 – прокладка; 3 – планка; 4 – плата; 5 – магнітокерований контакт (КЕМ); 6 – магніт; 7 – гвинт; 8 – планка; 9 – гвинт; 10 – шайба пружинна; 11 – манжета; 12 – рейка; 13 – корпус.

2.3.2.3. Механізм повороту (рис. 8).

Механізм повороту призначений для забезпечення повороту руки маніпулятора.

Механізм повороту складається з корпусу 13, у якому переміщується шток-рейка 12, ущільнена манжетами 11, фланців 1 з прокладками 2, що закривають поршневі порожнини. На рейці 12 встановлена планка 8 із магнітом 6, а на корпусі 13 встановлені планки 3 і плати 4 з КЕМами 5.

При монтуванні механізму повороту на механізмі підйому, зуби рейки 12 входять у

зацеплення з валом, встановленим в штоку механізму підйому, а при подачі повітря в пневмоциліндр через отвір А поступальний рух рейки перетвориться в обертний рух. При переміщенні рейки магніт 6 підходить до КЕМу і відбувається спрацювання останнього.

2.3.2.4. Муфта з упорами (рис. 9).

Муфта з упорами призначена для з'єднання руки з валом механізму

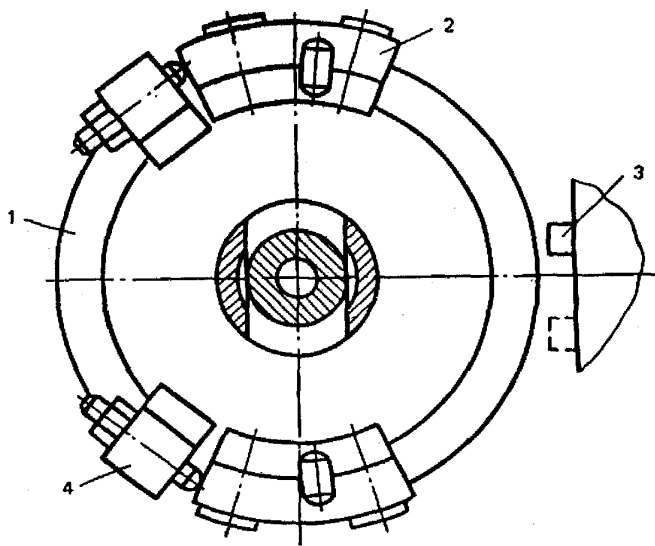


Рисунок 9. Муфта з упорами:

1 – муфта; 2 – упор; 3 – амортизатор; 4 – упор регулювальний

повороту і для забезпечення регулювання кутів повороту руки. Муфта з упорами складається з муфти 1, упорів 2 і регулювальних упорів 4. При здійсненні повороту упор 2 заходить на виступ амортизатора 3 і дожимає останній до краю.

Регулювання механізму повороту зводиться до установки упорами 2 і 4 необхідного кута повороту руки в горизонтальній площині з наступним налагодженням КЕМів.

2.3.2.5. Рука (рис. 10).

Рука призначена для забезпечення висування захоплювача в робочу зону і складається з корпусу 16, штока 13, направляючої

21, основних упорів 10 і 18, регулювальних упорів 9 і 17, амортизатора 15. У корпусі встановлена ущільнена кільцями 3 гільза 2, в якій ходить шток-поршень 13, ущільнений манжетами 6. Повітря підводиться до штуцерів 14 і через канали, виконані усередині корпусу, надходить у штокові порожнини.

Направляюча 21 служить обмежувачем штока, а отже і захоплювача, від повороту. Періодичне змащування направляючих втулок 20 здійснюється через прес-масельничку 19.

Під кришкою 1 розміщені КЕМи 5 і проводи, підведені до них, а на основних упорах 10 і 18 встановлені магніти 12.

При подачі повітря відбувається переміщення штока-поршня 13 разом із направляючою 21 і упорами 9, 10, 17, 18.

Упор 10 заходить на амортизатор, втискує шток амортизатора 15 до краю. Одночасно магніт 12 підходить до КЕМу 5, останній спрацює і видає сигнал про виконання команди.

Регулювання руки зводиться до установки упорами 9, 10, 17 і 18 необхідної величини висування штока.

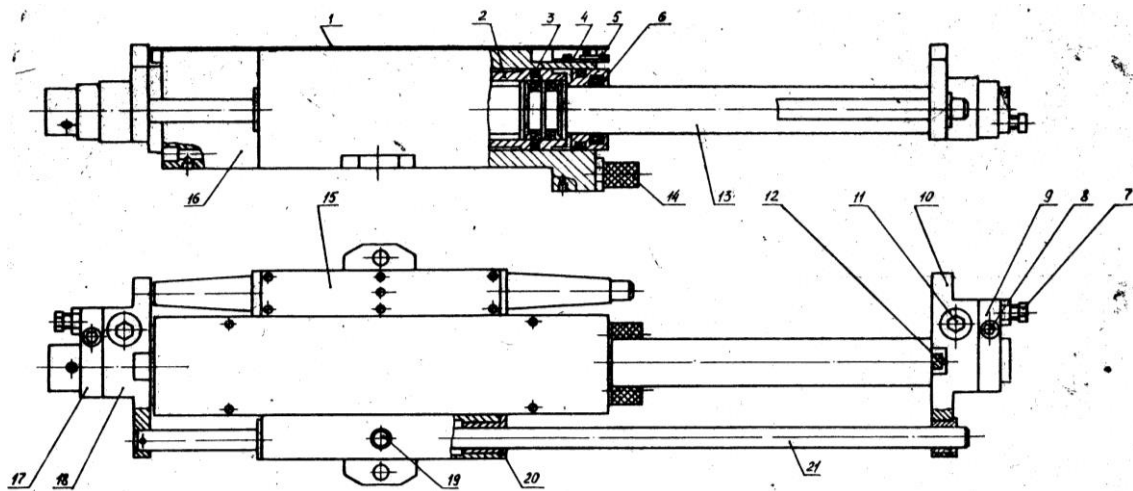


Рисунок 10. Рука: 1 – кришка; 2 – гільза; 3 – кільце гумове; 4 – скоба; 5 – магнітокерований контакт (КЕМ); 6 – манжета; 7 – мікрогвинт; 8 – гвинт; 9 – упор регулювальний; 10 – упор; 11 – гвинт; 12 – магніт; 13 – шток; 14 – з'єднання пряме кінцеве; 15 – амортизатор; 16 – корпус; 17 – упор регулювальний; 18 – упор; 19 – масельничка; 20 – втулка; 21 – направляюча.

2.3.2.6. Амортизатор руки (рис. 11).

Амортизатор руки призначений для забезпечення плавного гальмування рухомих елементів руки при виході на упор. Амортизатор складається з корпусу 13, у якому встановлені два притертих і додатково ущільнених гумовими кільцями штоки 1, із регулювальної голки 10, притертого стержня 12, втулок 5 і 7, ущільнених кільцями 6 і фланців 8. Під кришкою 3 розміщений заповнений маслом живильний резервуар А.

При переміщенні штока 1 спочатку відбувається перекриття отвору, що з'єднує живильний резервуар із штоковою порожниною, а потім відсічений об'єм масла по каналі, задросельованому голкою 10, передавлюється в протилежну штокову порожнину, що утворилася при висуванні протилежного штока 1. При повному вдавлюванні штока 1 відбувається перекачування масла в протилежну порожнину, повне висування протилежного штока 1 і з'єднання утвореної штокової порожнини з підживлюючим резервуаром А. Наявність підживлюючого резервуара дозволяє компенсувати можливі втрати масла і забезпечує надійну роботу амортизатора.

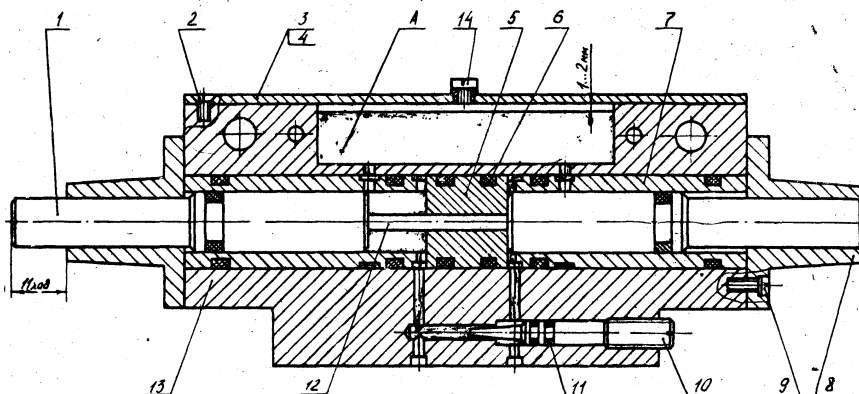


Рисунок 11. Амортизатор руки: 1 – шток; 2 – гвинт; 3 – кришка; 4 – прокладка; 5 – втулка; 6 – кільце гумове; 7 – втулка; 8 – фланець; 9 – гвинт; 10 – голка; 11 – кільце гумове; 12 – стержень; 13 – корпус; 14 – гвинт

Підживлюючий резервуар А заповнюється індустриальним маслом И-20А ГОСТ 20799-75. Верхній рівень масла повинен бути на 1-2 мм нижчим площини корпусу, а нижній рівень – повинен бути на 1-3 мм вище площини днища резервуара. Після заповнення амортизатора маслом здійснюється видалення повітря з внутрішніх об'ємів шляхом прокачування, тобто переміщенням штоків добиваються припинення виділення повітряних бульбашок. Після прокачування доливають масло до необхідного рівня. Регулювання амортизатора зводиться до забезпечення плавного гальмування, для чого встановлюють необхідне прохідне січення голкою 10.

2.3.2.7. Амортизатор повороту (рис. 12).

Амортизатор повороту призначений для забезпечення плавного гальмування оберткових елементів механізму повороту. Амортизатор повороту по виконанню, роботі і експлуатації аналогічний амортизатору руки, описаному в п. 3.2.6. Відмінність тільки в тому, що штоки 10 пов'язані між собою скобою 1, що має виступ, який при повороті руки взаємодіє з упорами.

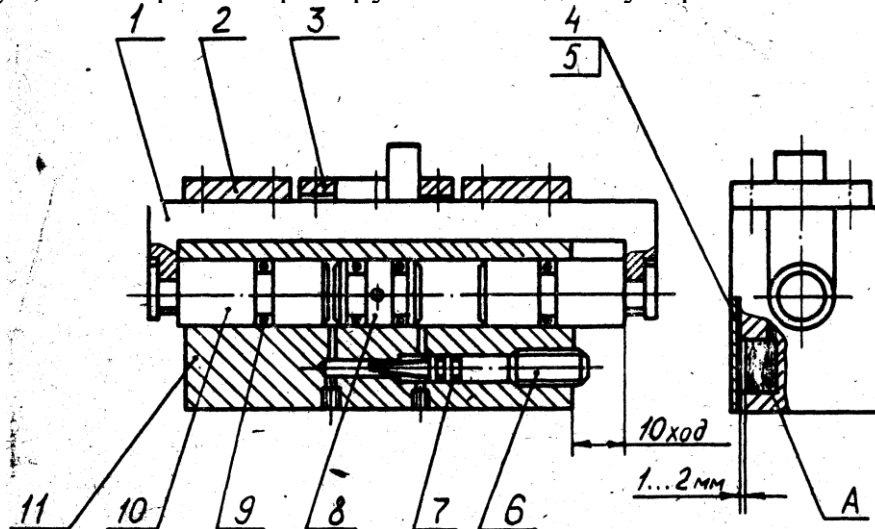


Рисунок 12. Амортизатор повороту: 1 – скоба; 2 – пластина; 3 – накладка; 4 – кришка; 5 – прокладка; 6 – голка; 7 – кільце гумове; 8 – пробка; 9 – кільце гумове; 10 – шток; 11 – корпус.

Хід роботи

1. Вивчити принцип роботи і будову живильного механізму та промислового робота МП-9С використовуючи опис і реальну конструкцію. При вивченні конструкції необхідно зняти кожух і бокові кришки маніпулятора, а також захисні кожухи механізму живлення.

2. Визначити місця встановлення основних вузлів маніпулятора та механізму живлення.

3. Вивчити принцип роботи і конструкцію приводів лінійного переміщення стола живильного механізму та виконавчого органу промислового робота МП-9С. Звернути увагу на розташування демпферів, вивчити конструкцію дроселів і спосіб їх регулювання.

4. Вивчити принцип роботи і конструкцію механізмів підйому і повороту виконавчого органу промислового робота МП-9С.

5. Вивчити конструкцію електромагнітного захоплюючого пристрою

використовуючи креслення (рис. 1) і реальну конструкцію.

6. При відсутності подачі повітря в пневмосхему оцінити вручну рухомість виконавчого органу робота при висуненні, підйомі і повороті, зусилля руху з початкового положення.

7. Схематично зарисувати компоувальну схему РТК завантаження штампувального обладнання.

8. Визначити кількість степеней рухомості промислового робота і встановити в якій системі координат він працює.

9. Зобразити на компоувальній схемі РТК завантаження штампувального обладнання робочу зону промислового робота і вказати її розміри. Для визначення розмірів робочої зони необхідно зробити заміри величин лінійного і кутового переміщення рухомих ланок промислового робота.

10. Зобразити кінематичні схеми живильного механізму та промислового робота. На кінематичній схемі зобразити місця кріплення давачів кінцевого положення рухомих елементів РТК та місця кріплення демпфуючих пристроїв.

11. Зобразити пневматичну схему живлення приводів механізму живлення та промислового робота.

12. Вивчити послідовність роботи (рухів ланок промислового робота, спрацювання електромагнітного захоплювача, завантажувальних рухів стола живильного механізму) окремих елементів РТК. Зобразити алгоритм роботи РТК.

13. Оцінити час необхідний на виконання робочих рухів окремих елементів РТК. Зобразити циклограму роботи РТК.

Звіт по роботі

Звіт повинен містити:

1. Основні відомості по РТК завантаження штампувального обладнання;
2. Висновки по пунктах 1...6, 8 ходу роботи;
3. Компоувальну схему РТК завантаження штампувального обладнання на якій повинна бути зображена робоча зона промислового робота та вказані її розміри;
4. Кінематичні схеми живильного механізму та промислового робота, на якій повинні бути зображені місця кріплення давачів кінцевого положення рухомих елементів РТК та місця кріплення демпфуючих пристроїв;
5. Пневматичну схему живлення приводів механізму живлення та промислового робота;
6. Алгоритм та циклограму роботи РТК.

Контрольні запитання

1. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості живильного механізму.
2. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості пневмоприводів лінійного і обертового руху виконавчого пристрою робота МП-9С.
3. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості гідравлічних демпферів для амотизації поступальних і обертових рухів виконавчого пристрою промислового робота.

4. Вказати способи регулювання швидкості руху ланок пневматичних приводів живильного механізму та промислового робота.
5. Вказати негативні фактори, які впливають на роботу РТК викликані недостатнім демпфуванням руху виконавчого пристрою робота.
6. Пояснити принцип дії і конструктивні особливості датчиків кінцевого положення виконавчих елементів живильного механізму і промислового робота.
7. Вказати методи переналагодження РТК на роботу з деталями інших типорозмірів та конфігурації.
8. Обґрунтувати у яких технологічних процесах допускається застосування циклових робіт.