

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт з дисципліни  
«Спеціальні процеси та машини обробки  
тиском» для студентів напряму підготовки  
«магістр» спеціальності 133 – «Галузеве  
машинобудування»**

Вінниця  
ВНТУ  
2017

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № від . .2017 р.)

Рецензенти:

**І. О. Сивак**, доктор технічних наук, професор

**Ю. І. Муляр**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Спеціально процеси та машини обробки тиском» для студентів напряму підготовки «магістр» спеціальності 133 - «Галузеве машинобудування» / Уклад. Р. Д. Іскович-Лотоцький, Є. І. Івашко. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 77 с.

У даних методичних вказівках до виконання практичних занять наводяться основні рекомендації до вивчення, підготовки та проведення вищезгаданих практичних занять з дисципліни «Спеціально процеси і машини обробки тиском».

## ЗМІСТ

Практичне заняття № 1 – Аналіз структурних та функціональних зв'язків у технологічному комплексі . . . . .	4
Практичне заняття № 2 – Проектування робочого процесу технологічного комплексу . . . . .	8
Практичне заняття № 3 – Синтез принципів та конструктивних схем вібропресового обладнання на основі методів структурно-морфологічного аналізу . . . . .	21
Практичне заняття № 4 – Методика розрахунку параметрів робочих режимів віброударного пресування . . . . .	30
Практичне заняття № 5 – Інерційні вібропрес-молоти ІВПМ . . . . .	35
Практичне заняття № 6 – Напівавтоматичні установки на базі ІВПМ . . . . .	49
Практичне заняття № 7 – Спеціальні прес-форм для віброударного пресування . . . . .	53
Практичне заняття № 8 – Система програмного керування для ІВПМ . . . . .	57
Практичне заняття № 9 – Спеціалізоване пресове обладнання на базі гідроімпульсного приводу ІВПМ . . . . .	62

## Практичне заняття № 1

### АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ

Вібропресове обладнання з ГПП, являє собою складну систему (рис. 1.1), в якій аналіз структурних і функціональних зв'язків між складовими більш простіших систем та всередині них доцільно проводити на основі методів системного підходу.

Під час реалізації на тому чи іншому промисловому обладнанні відповідної технології ми можемо виділити три основні взаємозв'язані системи: об'єкт обробки (система I), робочий процес (система II) і машина (система III), які об'єднуються в загальну систему технологічного комплексу.

У випадку з ІВПМ об'єктом обробки є порошковий матеріал, який проявляє властивості метасистеми. Для останньої визначення проміжних станів в часі є складною і не завжди здійсненою задачею, у зв'язку з чим, систему I необхідно подати у вигляді двох підсистем I.1 та I.2, що характеризують відповідно початковий (навішення порошкового матеріалу) та кінцевий (заготовка виробу) стани об'єкта обробки.

Система II функціонально залежить від системи I і являє собою технологічний процес пресування. Даний процес описується двома підсистемами II.1 та II.2, що встановлюють спосіб ВУП та прийнятий основний режим його реалізації.

Вибір системи III визначають системи I та II. У випадку, що розглядається нею є ІВПМ, який ділиться на підсистеми гідроімпульсного приводу (III.1), рухомих ланок (III.2), віброзбуджувача (III.3) і прес-форми (III.4). Згідно із системним підходом, кожна з виділених підсистем може бути поділена на ланки. Оскільки, при створенні власне ІВПМ задачі проектування ГПП та його віброзбуджувача розв'язуються лише у загальному вигляді, а прес-форма складається з двох основних деталей – матриці і пунсона, – на блок-схемі достатньо вказати лише підсистему III.2, яка містить станину з фундаментом (ланка III.2.1), вібростіл (основна робоча ланка III.2.2) і допоміжну робочу ланку III.2.3. При цьому кожна з вказаних ланок за необхідності розділюється на деталі.

Для завершення представленого у вигляді блок-схеми системного опису ІВПМ, необхідно виявити в ньому структурні та функціональні зв'язки. На основі перших можна визначити приналежність та ієрархічну підпорядкованість складових елементів машини, а на основі других – установити логічну послідовність взаємодій в його системах, з виділенням джерел вхідної та вихідної інформації. При аналізі ІВПМ джерелом вхідної інформації служать відомості про оброблюваний об'єкт, які містяться в підсистемі I.1 та передаються в систему II у вигляді логічної функції вибору режиму ВУП. Режим, в свою чергу, визначає

робочий процес, з врахуванням параметрів якого проводиться вибір машини конкретного типу (система III).

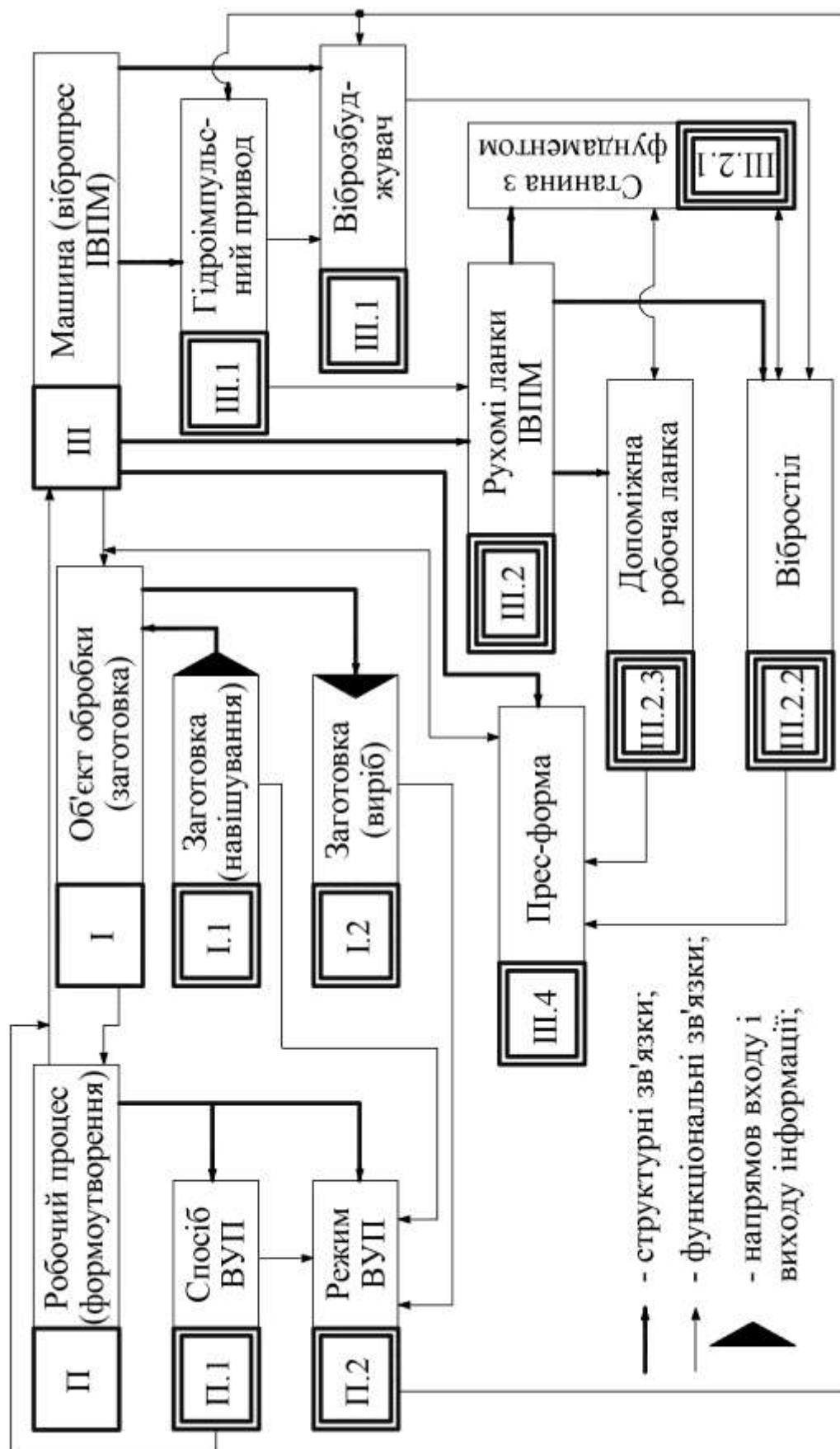


Рисунок 1.1 – Схеми структурних та функціональних зв'язків технологічного комплексу на базі ІВПМ

Логічні функції вибору розробляються на основі результатів теоретичних досліджень, методів розрахунку параметрів режимів інерційного навантаження під час ВУП, нових конструкцій ІВПМ, їх структурних схем та динамічних моделей, досліджень перехідних процесів взаємодії рухомих ланок ІВПМ, експериментальних даних, особливостей зміни фізико-механічних властивостей заготовок з порошкових матеріалів при дискретному навантаженні, аналізу основних робочих режимів ІВПМ, досліджень якісних параметрів заготовок. Логічні функції можуть бути подані у формі аналітичних залежностей, таблиць і тому подібних банків інформації з ключем для їх розшифрування. Функціональний зв'язок між машиною та об'єктом у вигляді функції силового впливу визначається для заданого проміжку часу, що дозволяє отримати вихідну інформацію, яка так само, як і вхідна пов'язана з об'єктом обробки, але міститься в підсистемі І.2, що відповідає заготовці виробу. Функціональний зв'язок між підсистемою ІІІ.3 та ланкою ІІІ.2.2 має вигляд функції генерування тиску в порожнині робочого циліндра, що періодично змінюється в часі.

Використовуючи системний підхід при подальшому аналізі проектного вібропресового обладнання, можна виділити і внутрісистемні функціональні зв'язки, наприклад, між ланками підсистеми ІІІ.2, що дозволить значно спростити процес проектування.

З метою створення комп'ютерних програм проектного розрахунку ІВПМ, опис останнього доцільно подати у вигляді матриці [117]. Для цього згідно із правилами матричного запису рядкам і стовпцям матриці присвоюються номери систем, підсистем і ланок досліджуваного обладнання (рис. 1.2). Наявність зв'язків в матриці фіксується в графах перетинів її рядків і стовпців. Структурний зв'язок позначається літерою „С”, а функціональний – цифрою „1” (одиниця використовується для зазначення 100% достовірності постійності зв'язків ІВПМ, на відміну від зв'язків ймовірнісного характеру). Спрямованість зв'язку, яка дозволяє розрізняти вхідну та вихідну інформацію, вказується за допомогою знаків „+” і „-”.

Перетинання однойменних рядків і стовпців відповідає інформаційному входу або виходу кожного виділеного структурного елемента складної системи.

Запропонована матрична форма опису вібропресового обладнання відрізняється компактністю, наочністю та інформативністю і дозволяє розв'язувати задачі його аналізу та синтезу на рівні систем та підсистем. З цією метою в загальній матриці виділяються матриці систем І, ІІ, ІІІ та підсистеми ІІІ.2. На нашу думку, матричний опис можна найефективніше використовувати під час проектування робочого процесу ІВПМ, синтезу його принципів та конструктивних схем, а також в аналогічних задачах, пов'язаних із машинами іншого технологічного призначення.

	I	I.1	I.2	II	II.1	II.2	III	III.1	III.2	III.2.1	III.2.2	III.2.3	III.3	III.4
I	±1	C	C	-1			-1							±1
I.1	C	-1	-1			-1								
I.2	C	1	1			-1								
II	1			±1	C	C	-1							
II.1				C	-1	1	-1							
II.2		1	1	C	1	-1		-1					-1	
III	1			1	1		±1		C				C	C
III.1						1		±1	-1	-1	-1	-1	-1	
III.2							C	1	±1	C	C	C		
III.2.1								1	C	±1		±1		-1
III.2.2								1	C		±1	±1	1	-1
III.2.3								1	C	±1	±1	±1		
III.3						1	C	1			-1		±1	
III.4	±1						C			1	1			±1

Рисунок 1.2 – Матричний запис складної системи технологічного комплексу на базі ІВПМ за блок-схемою рис. 1.1:

C – структурний зв'язок;

1 – функціональний зв'язок зі 100% достовірністю;

+ – функціональний зв'язок забезпечує вихід інформації;

- – функціональний зв'язок забезпечує вхід інформації;

— — — — — – межа матриці системи з врахуванням міжсистемних зв'язків;

==== – межа матриці системи без врахування міжсистемних зв'язків;

===== – межа матриці підсистеми

## Практичне заняття № 2

### ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Функціональні зв'язки складових систем I та II вібропресового обладнання в аналітичній формі, розглянуті, головним чином, на рівні внутрішніх системних зв'язків між параметрами заготовки та ІВПМ. Сукупність міжсистемних функціональних зв'язків досліджуваного обладнання в аналітичній формі з врахуванням параметрів всіх складових систем являє собою математичну модель робочого процесу ВУП, на основі якої можливий розв'язок задач його оптимізації.

Згідно з установленими для ІВПМ зв'язками (рис. 2.1) параметри  $p_2$ , що характеризують робочий процес (система II) визначаються параметрами  $p_1$  та  $p_3$ , які пов'язані відповідно з об'єктом обробки (система I) і машиною (система III). Реалізація заданих параметрів  $p_3$  відбувається в результаті взаємодії підсистем III.1...III.4. Величина  $p_3$  залежить від значень параметрів  $p_1$ . Дослідження функціонального міжсистемного зв'язку виду  $\Phi_1(p_1, p_3)$ , проведене шляхом фіксації кінцевих значень параметрів  $p_1$  для визначених значень  $p_3$ , виявилось достатньо складним та трудомістким, а для деяких випадків і недостатньо коректним, оскільки враховувалися не всі фактори (параметри), що впливають, в тому числі  $p_2$ .

Тому при вивченні можливості виявлення функціонального зв'язку між параметрами систем I, II, III вібропресового обладнання в аналітичній формі необхідно провести попередній детальний аналіз даних параметрів з метою виділення серед них основних, визначення яких, виходячи із сукупності решти параметрів систем, неможливо.

$$\Phi(p_1, p_2, p_3) \quad (2.1)$$

Стан системи I ІВПМ можна охарактеризувати поточними значеннями фізико-механічних та геометричних параметрів заготовки: середньою щільністю ( $\rho_{zi}$ , кг/м<sup>3</sup>); масою навішування ( $m_{zag}$ , кг); динамічним модулем умовної пружності ( $K_{zi}$ , МПа); площею відкритої поверхні з боку пуансона ( $S_{zag}$ , м<sup>2</sup>); висотою ( $h_{zi}$ , м). Для заготовок складної конфігурації крім вказаних параметрів необхідно врахувати площу перерізу по лінії дії навантаження ( $S_{oi}$ , м<sup>2</sup>), периметр даного перерізу ( $\Pi_i$ , м) і лінійний середньостатистичний розмір частинки матеріалу ( $a$ , м).

Аналіз сукупності перерахованих параметрів  $p_1$  заготовки показує, що ряд з них (з індексом "i") в процесі ВУП змінюється від значень, що характеризують початковий стан заготовки ( $i=0$ ) в підсистемі I.1, до значень, що характеризують її кінцевий стан ( $i=k$ ) в підсистемі I.2.



З метою скорочення загального числа параметрів  $p1$  за умови збереження потрібної інформації про стан заготовки (система I), а також виключення другорядних параметрів виконаємо такі додаткові заходи:

- введемо параметр  $\bar{R}_i = \frac{S_{\bar{r}^3}}{\bar{I}_3}$ , що характеризує геометричну форму заготовки за аналогією з параметром „гідравлічний радіус” [57] і визначимо його як „геометричний фактор” ( $R_i$ , м) для заготовок простої конфігурації  $\bar{R}_i = \bar{h}_{\zeta 3}$ ;

- введемо поняття відносної щільності  $\bar{\rho} = \frac{\rho_{\zeta \bar{e}}}{\rho_{\zeta i}}$ , що дозволяє охарактеризувати кінцевий стан заготовки у порівнянні із початковим і розглядати „геометричний фактор”  $R_0$  тільки для початкового стану;

- виключимо із сукупності параметрів  $p1$  параметр  $K_{z3}$ , який разом із параметрами  $\bar{R}_i$  (або  $h_{z3}$ ) та  $\rho_{z3}$  визначає фактор часу ( $\tau_0$ , с) – тривалість зовнішнього імпульсного силового впливу на заготовку, що є основним параметром робочого процесу (система II), оскільки при об’єднанні параметрів систем ІВПМ один з них буде другорядним.

В результаті реалізацій наведених вище заходів число основних параметрів системи I скорочується до ряду:  $\bar{\rho}, m_{\zeta \bar{a} \bar{a}}, \bar{a}, \bar{R}_0, S_{\zeta \bar{a} \bar{a}}$ . Однак для проведення досліджень багатфакторних систем загальне число параметрів доцільно зменшити і розглядати комплексно [78]. Для виділених основних параметрів системи I таким комплексним параметром може бути добуток  $R_0 \cdot S_{\text{заг}}$  (або  $h_{z0} \cdot S_{\text{заг}}$ ), що характеризує початковий об’єм заготовки. З врахуванням параметра  $R_0 \cdot S_{\text{заг}}$  для заданої величини  $\rho_{z0}$  не важко визначити  $m_{\text{заг}}$ .

У зв’язку з вищевикладеним, скорочену сукупність параметрів системи I можна записати у вигляді

$$p1 \{ \bar{\rho}, a, R_0, S_{\zeta \bar{a} \bar{a}} \}. \quad (2.2)$$

Основні параметри системи II характеризують спосіб і режим силового впливу системи III на систему I. До даних параметрів  $p2$ , крім виділеного раніше  $\tau_0$ , відносяться: зусилля додаткового статичного навантаження заготовки ( $P_{\text{ст}}, H$ ), максимальне зусилля навантаження заготовки ( $F_{z, \text{max}}, H$ ) в процесі ВУП заготовки, загальне число ходів робочого столу ІВПМ ( $n$ ) і частоту ( $f_p$ , Гц) їх здійснення. Причому параметри  $n$  та  $f_p$  можна об’єднати і описати одним параметром, що характеризує повний час робочого процесу ( $t_{\text{вуп}} = n \cdot f_p^{-1}$ , с).

Сукупність основних параметрів системи II подамо у вигляді

$$p2 \{ F_{\zeta, \text{max}}, P_{\bar{n}0}, \tau_i, t_{\bar{a}0i} \}. \quad (2.3)$$

На основі параметрів (2.3) обираються параметри р3 системи III. У випадку, що нами розглядається (див. рис. 1.1) системою III є ІВПМ, що характеризується параметрами ГП  $E_a$ ,  $W_a$ ,  $K_{пр}$ ,  $Q_{н1}$ , вібробуджувача  $p_1$  та системи рухомих ланок  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $c_y$ ,  $c_b$ . Параметри прес-форми аналогічні геометричним параметрам заготовки і враховуються в системі I.

Відомі аналітичні залежності, що установлюють зв'язок між вказаними параметрами р3 дозволяють однозначно обрати серед них основні. Використовуючи даний підхід, розглянемо комплекс параметрів  $\{E_a, W_a, p_1, K_{пр}\}$ , об'єднаних відомою залежністю. В даному комплексі будь-які три параметри однозначно визначають четвертий, який можна виділити в число основних параметрів системи III. З врахуванням експериментальних даних основним параметром слід вважати енергію  $E_a$ .

До основних параметрів системи III необхідно віднести маси  $m_1$ ,  $m_2$  та жорсткість пружин повернення  $c_y$ . При цьому вважаємо, що маса станини  $m_3$  та жорсткість віброізоляторів  $c_b$  достатньо великі і не впливають на хід робочого процесу.

Використовуючи відношення  $m_2/m_1 = \alpha$  ( $m_2 = \alpha m_1$ ), параметри конструкції ІВПМ при незмінній масі робочого столу доцільно записати як  $m_1, \alpha \cdot m_1, c_y$ .

Для системи III скорочена сукупність основних параметрів записується таким чином

$$p3 \{E_a, m_1, \alpha, m_1, c_y\}. \quad (2.4)$$

В результаті об'єднання основних параметрів систем (2.2) – (2.4) знаходимо сукупність параметрів технологічного комплексу

$$p1p2p3 \{\bar{\rho}, a, R_0, S_{\zeta \dot{a} \ddot{a}}, F_{\zeta \cdot \max}, P_{\dot{n} \dot{o}}, \tau_i, t_{\dot{a} \dot{o} i}, E_a, m_1, \alpha m_1, c_y\}. \quad (2.5)$$

При визначенні параметрів сукупності (2.5) можна виключити постійні за величиною конструктивні параметри ІВПМ  $m_1$  та  $c_y$ , замість зусилля  $F_{z \cdot \max}$  розглянути зовнішнє примусове зусилля, яке однозначно визначається за допомогою незалежних параметрів  $E_a$ ,  $m_1$ ,  $\tau_0$ ,  $c_y$ , а зусилля статичного навантаження  $P_{ст}$  з врахуванням параметра  $S_{заг}$  замінити питомим статичним зусиллям  $P_{уд} = P_{ст} / S_{заг}$ . У зв'язку з вищевикладеним, загальне число параметрів порівняно із (2.5) скорочується до восьми, за допомогою яких функціональний зв'язок (2.1) може бути описане залежністю

$$f(\bar{\rho}, a, R_0, S_{\zeta \dot{a} \ddot{a}}, D_{\dot{o} \ddot{a}}, \tau_i, t_{\dot{a} \dot{o} i}, \dot{A}_{\dot{a}}, \alpha \dot{o}_1) = 0. \quad (2.6)$$

Вивчення можливості подання функціональної залежності (2.6) у вигляді аналітичного виразу, що зв'язує основні параметри комплексу,

показало, що розв'язання даної задачі теоретичним шляхом утруднено. Основною причиною цього, на наш погляд, є зміна з ущільненням неоднорідного середовища порошкового матеріалу заготовки функції його стану. У зв'язку з цим, теоретичний розв'язок може бути знайденим тільки для деяких станів заготовки, при цьому ряд параметрів комплексу залишаються не врахованими.

Для отримання залежності (2.6) в аналітичній формі можна використати наближені методи [2], основані на обробці результатів повного факторного експерименту (ПФЕ). Залежність, отримана таким чином, має окремий характер і може бути використана для розв'язання задач оптимізації параметрів робочого процесу ВУП в обмеженому діапазоні їх зміни.

В даному випадку, на нашу думку, перспективними є методи подібності та моделювання [78], які дозволяють розглядати робочий процес як клас подібних явищ, а "еталонні" зразки – як моделі об'єктів обробки (заготовок).

З цією метою основні параметри технологічного комплексу на основі  $\pi$ -теорема [113] перетворюються у загальні змінні (критерії подібності), а аналітична залежність між ними записується у вигляді критеріального рівняння подібності в степеневій формі. Охоплюваний даним рівнянням клас подібних явищ визначається на основі зворотної теореми подібності [113]: робочі процеси ВУП можна вважати подібними, якщо вони мають однакові визначальні критерії і подібні умови однозначності.

Умови однозначності або граничні крайові умови ВУП в загальному випадку визначаються такими основними параметрами технологічного комплексу:

- геометричними, що характеризують форму і розміри об'єкта обробки –  $R_0, S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}}, \dot{a}$ ;
- фізичними, що характеризують фізичні властивості об'єкта обробки –  $\bar{\rho}, \rho_{\zeta\dot{a}}, R_0, S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}}$ ;
- початкового стану системи –  $D_{\dot{a}\ddot{a}}, \rho_{\zeta\dot{a}}, R_0$ ;
- взаємодії об'єкта обробки та зовнішнього середовища (прес-форми) –  $D_{\dot{a}\ddot{a}}, \dot{A}_{\dot{a}}, \alpha\dot{\omega}_1$ ;
- граничними, що характеризують протікання процесу в граничних точках об'єкта обробки та зовнішнього середовища –  $R_0, t_{\dot{a}\ddot{a}}$ ;
- часу, що характеризує особливості протікання процесу в часі –  $\tau_0, t_{\dot{a}\ddot{a}}$ .

Характерною особливістю даних параметрів є їх одночасна приналежність до різних умов однозначності.

В укладанні критеріального рівняння використовуємо результати аналізу формул розмірностей (табл. 2.1) основних параметрів, виділених в (7.6).

Для трьох незалежних ( $k=3$ ) одиниць розмірності MLT, достатніх для опису механічних систем даного типу, критеріальне рівняння подібності містить  $m-k=5$  критеріїв подібності, причому будь-який з них є функцією інших  $m-k-1=4$  критеріїв.

У випадку, що розглядається, критеріальне рівняння подібності має вигляд

$$\pi = f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4) \quad (2.7)$$

і містить тільки чотири змінні – визначальні критерії подібності, для яких слід планувати ПФЕ.

Таблиця 2.1 – Формули розмірностей основних параметрів технологічного комплексу

Параметр комплексу	Розмірність			Параметр комплексу	Розмірність		
	М, кг	L, м	T, с		М, кг	L, м	T, с
$\bar{\rho}$	0	0	0	$E_a$ , Дж	1	2	-2
$P_{уд}$ , Па	1	-1	-2	$a$ , м	0	1	0
$\tau_i$ , с	0	0	1	$t_{вуп}$ , с	0	0	1
$R_0 \cdot S_{заг}$ , м <sup>3</sup>	0	3	0	$\alpha \dot{\omega}_1$ , кг	1	0	0

Визначальними критеріями подібності в рівнянні (2.7) для основних незалежних параметрів технологічного комплексу  $P_{уд}$ ,  $R_0 \cdot S_{заг}$ ,  $\tau_i$  можуть служити узагальнені змінні

$$\frac{E_a}{P_{\dot{\omega}} \cdot R_0 \cdot S_{\dot{\omega}}} = \pi_1, \quad \frac{\dot{a}^3}{R_0 \cdot S_{\dot{\omega}}} = \pi_2, \quad \frac{t_{\dot{\omega}}}{\tau_0} = \pi_3, \quad \frac{\alpha \dot{\omega}_1}{E_{\dot{\omega}} \cdot \tau_0^2 \cdot \dot{a}} = \pi_4 \quad (2.8)$$

а функцією відгуку або не визначальним критерієм подібності – основний параметр  $\bar{\rho} = \pi_1$ .

З врахуванням (2.8) критеріальне рівняння набуває (2.7) приймає вигляду

$$\bar{\rho} = f\left(\frac{E_a}{P_{\dot{\omega}} \cdot R_0 \cdot S_{\dot{\omega}}}, \frac{\dot{a}^3}{R_0 \cdot S_{\dot{\omega}}}, \frac{t_{\dot{\omega}}}{\tau_i}, \frac{\alpha \dot{\omega}_1}{E_{\dot{\omega}} \cdot \tau_0^2 \cdot \dot{a}}\right) \quad (2.9)$$

Критерії подібності або узагальнені змінні, що містяться в рівнянні (2.9), мають визначене фізичне значення. Для досліджуваного процесу їх можна охарактеризувати таким чином:

$\pi_1$  – відношення щільності заготовки, досягнутої після завершення процесу формоутворення, до щільності заготовки у вихідному стані;

$\pi_2$  – відношення енергії, що витрачається на здійснення одного робочого ходу ІВПМ, до енергії напруженого стану заготовки під дією статичного навантаження у вихідному стані;

$\pi_3$  – відношення умовних об'ємів частинки порошкового матеріалу і заготовки у вихідному стані;

$\pi_4$  – відношення повного часу процесу ВУП до часу дії зовнішньої примусової сили (є по суті стандартним критерієм подоби) Струхана [78] або критерію гомохронності;

$\pi_5$  – відношення динамічного зусилля навантаження заготовки до його статичної складової (є по суті стандартним критерієм подібності Ньютона [78]).

Аналітичний зв'язок між критеріями подібності або узагальненими перемінними, що входять до рівняння (2.7) з врахуванням відомих рекомендацій [2, 78] можна подати у вигляді степеневі залежності

$$\pi_1 = A \cdot \pi_2^\alpha \cdot \pi_3^\beta \cdot \pi_4^\gamma \cdot \pi_5^\delta, \quad (2.10)$$

де  $A$  – постійна, що відображує вплив на процес неврахованих факторів, наприклад, вмісту наповнювача, відносно нерівнощільність і т.п.;  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – показники степеню, що визначаються експериментально.

Значення постійної  $A$  і показників степеню  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  у критеріальному рівнянні (2.10) знаходяться за відомою [78] методикою за допомогою матриць планування ПФЕ типу  $2^4$ , розроблених для процесів ВУП „еталонних” зразків із визначених порошкових матеріалів.

Критеріальні рівняння подібності, отримані у вигляді (2.10), можуть бути використані при проектуванні процесів ВУП заготовок в реальних технологічних комплексах, наприклад, для розрахунку масштабних коефіцієнтів переходу [78].

В якості незалежних базисних параметрів при плануванні ПФЕ можна взяти  $D_{\delta\ddot{a}}, R_0 \cdot S_{\zeta\delta\ddot{a}}, \tau_i$ , для яких базисний визначник  $D \neq 0$  [78]. Для прийнятих незалежних параметрів

$$D_0 = \begin{matrix} & M & L & T \\ \begin{matrix} D_{\delta\ddot{a}} \\ \tau_i \\ R_0 \cdot S_{\zeta\delta\ddot{a}} \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 0 \end{vmatrix} \end{matrix} = -3 \neq 0. \quad (2.11)$$

В цьому випадку визначальні критерії подібності або узагальнені змінні знаходяться у вигляді

$$\begin{aligned}\pi_e &= \frac{E_a}{\mathcal{D}_{\acute{o}\ddot{a}}^{\alpha\dot{A}} \cdot \tau_{\dot{i}}^{\beta\dot{A}} (R_0 \cdot S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}})^{\gamma\dot{A}}}, & \pi_t &= \frac{t_{\acute{a}\acute{o}\dot{i}}}{\mathcal{D}_{\acute{o}\ddot{a}}^{\alpha\dot{t}} \cdot \tau_{\dot{i}}^{\beta\dot{t}} (R_0 \cdot S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}})^{\gamma\dot{t}}}, \\ \pi_a &= \frac{a}{\mathcal{D}_{\acute{o}\ddot{a}}^{\alpha a} \cdot \tau_{\dot{i}}^{\beta a} (R_0 \cdot S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}})^{\gamma a}}, & \pi_m &= \frac{\alpha \cdot m_1}{\mathcal{D}_{\acute{o}\ddot{a}}^{\alpha m} \cdot \tau_{\dot{i}}^{\beta m} (R_0 \cdot S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}})^{\gamma m}},\end{aligned}\quad (2.12)$$

а невизначальний критерій відповідає відносній густині

$$\pi_\beta = \bar{\rho}.$$

Для знаходження показників степенів для незалежних параметрів використовувалась відома [78] методика, згідно із якою, наприклад,

$$\alpha_E = D_{0(\mathcal{D})}^E / D_0, \quad \beta_E = D_{0(\tau)}^E / D_0, \quad \gamma_E = D_{0(R_0 \cdot S)}^E / D_0, \quad (2.13)$$

де  $D_{0(\mathcal{D})}^E$ ,  $D_{0(\tau)}^E$ ,  $D_{0(R_0 \cdot S)}^E$  – визначники, одержані шляхом підстановки у відповідні горизонтальні рядки базисного визначника  $D_0$  формули розмірності параметра  $[E_a] = M^1 L^2 T^{-2}$ :

$$\begin{aligned}D_{0(P)}^E &= \begin{array}{c} E_a \\ \tau_{\dot{i}} \\ R_0 \cdot S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}} \end{array} \begin{array}{ccc} M & L & T \\ \left| \begin{array}{ccc} 1 & 2 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 0 \end{array} \right| & = -3; \end{array} \\ D_{0(\tau)}^E &= \begin{array}{c} \mathcal{D}_{\acute{o}\ddot{a}} \\ \mathcal{D}_{\acute{o}\ddot{a}} \\ R_0 \cdot S_{\zeta\dot{a}\ddot{a}} \end{array} \begin{array}{ccc} M & L & T \\ \left| \begin{array}{ccc} 1 & -1 & -2 \\ 1 & 2 & -2 \\ 0 & 3 & 0 \end{array} \right| & = 0; \end{array} \\ D_{0(R_0 \cdot S)}^E &= \begin{array}{c} \mathcal{D}_{\acute{o}\ddot{a}} \\ \tau_{\dot{i}} \\ E_a \end{array} \begin{array}{ccc} M & L & T \\ \left| \begin{array}{ccc} 1 & -1 & -2 \\ 1 & 2 & -2 \\ 0 & 3 & 0 \end{array} \right| & = -3. \end{array}\end{aligned}\quad (2.14)$$

Шляхом підстановки в (2.12) значень виразів (2.13), одержаних з врахуванням (2.11) та (2.14), знаходяться показники  $\alpha_E = 1$ ,  $\beta_E = 0$ ,  $\gamma_E = 1$ .

Аналогічно, підстановкою у  $D_0$  формули розмірностей  $[\alpha]$ ,  $[t_{\text{вуп}}]$  та  $[\alpha \cdot m_1]$  знаходяться інші показники степенів у виразах (2.12):

$$\begin{aligned} \alpha_a = 0; \quad \beta_a = 0; \quad \gamma_a = 1/3; \quad \alpha_l = 0; \quad \beta_l = 1; \\ \gamma_t = 0; \quad \alpha_m = 1; \quad \beta_m = 2; \quad \gamma_m = 1/3. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Після підстановки (2.15) в (2.12) визначальні критерії можуть бути записані такими виразами:

$$\begin{aligned} \pi_E = \frac{E_a}{D_{\delta\ddot{a}} \cdot R_0 \cdot S_{\zeta\delta\ddot{a}}}; \quad \pi_a = \frac{a}{(R_0 \cdot S_{\zeta\delta\ddot{a}})^{1/3}}; \\ \pi_t = \frac{t_{\delta\ddot{a}i}}{\tau_i}; \quad \pi_m = \frac{\alpha \cdot m_l}{D_{\delta\ddot{a}} (R_0 \cdot S_{\zeta\delta\ddot{a}})^{1/3} \cdot \tau_o}. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Після еквівалентних перетворень [78], припускаючи  $\pi_l = \pi_\rho = \bar{\rho}$ , визначальні критерії, або узагальнені змінні можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} \pi_2 = \pi_E = \frac{E_a}{D_{\delta\ddot{a}} \cdot R_0 \cdot S_{\zeta\delta\ddot{a}}}; \quad \pi_3 = (\pi_a)^3 = \frac{a^3}{R_0 \cdot S_{\zeta\delta\ddot{a}}}; \\ \pi_4 = \pi_t = \frac{t_{\delta\ddot{a}i}}{\tau_i}; \quad \pi_5 = \pi_m \cdot \pi_a^{-1} = \frac{\alpha \cdot m_l}{D_{\delta\ddot{a}} \cdot \tau_i^2 \cdot a}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Отримані критерії (2.17), наприклад,  $\pi_4$  можна розглядати як стандартний критерій подібності [2, 78] Струхана ( $\pi_{Sh}$ ) або критерій гомохронності ( $\pi_{Sh}$ ), якщо вважати

$$\pi_{Sh} = \pi_{H_0} = 0 \frac{v \cdot t}{l}, \quad \text{а} \quad \pi_4 = \frac{t_{\delta\ddot{a}i}}{\tau_i} \quad \text{а} \quad \frac{v}{l} = \frac{1}{\tau_o} \quad \text{а} \quad t = t_{\delta\ddot{a}i}.$$

Критерій  $\pi_5$  можна розглядати як стандартний критерій Ньютона  $\pi_{Ne}$ :

$$\pi_5 = \frac{\alpha \cdot \delta_l}{D_{\delta\ddot{a}} \cdot \tau_i^2 \cdot \dot{a}} = \frac{\alpha \cdot \delta_l \cdot \dot{a}}{D_{\delta\ddot{a}} \cdot \tau_o^2 \cdot \dot{a}^2} = \pi_{Ne}^{-1} = \left( \frac{F t^2}{M_e} \right)^{-1},$$

де  $\rho_{уд} \cdot a_2 \equiv F$ ,  $\tau_o^2 \equiv t^2$ ,  $\alpha \cdot m_l \equiv M$  та  $a \equiv l$ .

В даній монографії визначальні критерії (2.17) використані для запису критеріального рівняння подібності (2.9). Така форма запису, отримана з врахуванням результату попередніх експериментів має найбільшу простоту та гнучкість.

Показники степенів критеріального рівняння та постійна, що відображують вплив на процес неврахованих факторів, визначались на основі багатофакторного експерименту.

Оскільки в експерименті беруть участь чотири фактори ( $\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5$ ), можна проводити ПФЕ  $2^4$  або ДФЕ  $2^{4-1}$  [78]. На нашу думку, перевагу має ПФЕ  $2^4$ , при постановці якого не має необхідності виявляти статично несуттєву взаємодію різних факторів, що пов'язано зі значними витратами часу.

Основні рівні факторів  $\pi_{i0}$  встановлювались сукупністю найраціональніших параметрів процесу ВУП для досліджуваних порошкових матеріалів М1, М2, М3, М4, а інтервали зміни  $\pi_{iн}-\pi_{iв}$  визначались виходячи з умов роботи ІВІМ-5Л та вимог технологічного процесу.

Вказані фактори зручно представити у вигляді нових змінних:

$$y = l_u \cdot \pi_1; \quad y_1 = l_u \cdot \pi_2; \quad y_2 = l_u \cdot \pi_3; \quad y_3 = l_u \cdot \pi_4; \quad y_4 = l_u \cdot \pi_5. \quad (2.18)$$

В цьому випадку умови ПФЕ декілька змінюються, оскільки необхідне корегування, наприклад, нижнього рівня інтервалу варіювання фактора  $\pi_{iн}$ , вважаючи, що основний і верхній рівні факторів в обох системах є незмінними:

$$y_{i0} = l_u \cdot \pi_{i0} \quad \text{òà} \quad y_{\bar{a}} = l_u \cdot \pi_{\bar{a}}. \quad (2.19)$$

В нових змінних

$$y_{\bar{a}} = l_u \pi_{\bar{a}}^* = y_{i0} - (y_{\bar{a}} - y_{i0}) = 2y_{i0} - y_{\bar{a}} = 2l_u \cdot \pi_{\bar{a}}. \quad (2.20)$$

Тоді нижній рівень фактора після корегування визначається за допомогою виразу

$$\pi_{\bar{a}}^* = \frac{\pi_{\bar{a}}^2}{\pi_{\bar{a}}}. \quad (2.21)$$

Після постановки ПФЕ  $2^4$  в нових змінних аналітичний зв'язок між ними на першому етапі досліджень можна подати поліномом першого степеня [2] у вигляді

$$y = a_0 + a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 + a_4 y_4, \quad (2.22)$$

коефіцієнти якого  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  знаходяться за відомим алгоритмом [78].

В таблиці 2.2 наведені умови, а в таблиці 2.4 план та результати ПФЕ  $2^4$  досліджень процесу ВУП “еталонних” зразків з порошкового матеріалу М2.



Розрахунок коефіцієнтів полінома (2.22) здійснений за відомою формулою [78]

$$a_i = \sum_{n=1}^{16} y_{xi} \cdot y_{ai}, \quad (2.23)$$

де  $y_e$  – середній відгук по трьох точках;  $y_{in}$  – значення  $y_i$  в  $n$ -ому досліді.

Достовірність одержаної залежності (2.23) перевірена методом статистичного аналізу.

Для характеристики помилок встановлені дисперсії коефіцієнтів полінома (7.22) за відомою формулою [78]

$$S_{ai}^2 = S_y^2 / N \cdot m, \quad (2.24)$$

де  $S_y^2$  – дисперсія дослідів;  $N$  – кількість серій дослідів ( $N=16$ );  $m$  – кількість дослідів в серії ( $m=3$ ).

Дисперсія дослідів (з врахуванням даних табл. 2.3)

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2 = 0,238145/16 = 1,4884062 \cdot 10^{-2}, \quad (2.25)$$

де  $S_u^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{u,e} - y_e)^2$  – оцінка дисперсії в точках дослідів (див. графу 10 табл. 2.4);  $l$  – номер дослідів в серії ( $l=1, 2, 3$ );  $y_e$  – середній відгук по трьох точках (див. графу 9 табл. 2.3).

Підстановка результату (2.25) в (2.24) дає

$$S_{ai}^2 = 1,4884062 \cdot 10^{-2} / 16 \cdot 3 = 3,1008462 \cdot 10^{-4}.$$

Звідки

$$S_{ai} = 1,7609219 \cdot 10^{-2}.$$

Статистична значущість коефіцієнтів  $a_i$  перевірялась за робочим критерієм Ст'юдента [78], знайденим з виразу

$$t_{Spi} = ai / S_{ai} \quad (2.26)$$

і зіставленим з табличним значенням [177] критерію  $t_{st}=2,04$ , що обчислювався для рівня значущості  $0,05$  і степеня вільності  $f_t=N(m-1)=32$ .

В розглянутому випадку умова  $t_{sp_i} > t_{st}$  не виконується тільки для коефіцієнта  $a_2$  ( $t_{sp_2} = 0,0217 / 1,7609219 \cdot 10^{-2} = 1,232 < t_{st}$ ), що свідчить про його статистичну незначущість і дозволяє взяти  $a_2 = 0$ .

Неадекватність емпіричної моделі для кількості дослідів в серії  $m > 1$  і кількості коефіцієнтів в поліномі (2.22) меншим  $N = 16$  перевірена за критерієм Фішера [2]:

$$F_p = S_{\hat{a}\hat{a}}^2 / S_y^2, \quad (2.27)$$

де  $S_{\hat{a}\hat{a}}^2$  – оцінка дисперсії адекватності.

За відомою формулою [78]

$$S_{\hat{a}\hat{a}}^2 = \frac{m}{N - n} \sum_{i=1}^N (y_e - y_{\hat{d}})^2, \quad (2.28)$$

де  $n$  – число статистично значимих коефіцієнтів апроксимуючого полінома ( $n=4$ );  $\hat{d}_0 = \ln \pi_1$  – відгук, розрахований за виразом (2.22) і наведений в табл. 7.3 (графі 11).

З врахуванням даних табл. 2.3 для  $n=4$

$$S_{\hat{a}\hat{a}}^2 = 3 \cdot 0,113247 / (16 - 4) = 2,831175 \cdot 10^{-2},$$

Тоді розрахунковий критерій Фішера за виразом (2.27)

$$F_p = 2,831175 \cdot 10^{-2} / 1,488062 \cdot 10^{-2} \approx 1,902.$$

Табличне значення критерію Фішера  $F_T = 2,07$  [177] для рівня значущості 0,05 для степеней вільності дисперсії адекватності  $f_{\hat{a}\hat{a}} = N - n = 12$  і дисперсії відновлюваності  $f_y = N(m - 1) = 32$ .

Оскільки  $F_p \leq F_T$ , то рівняння є адекватним з надійністю виведення 0,95

При перевірці нуль-гіпотези [2] встановлено, що полінома першого степеню достатньо для описання шуканої залежності. Так середнє значення дослідів в центральній точці  $\ln \bar{\rho}_{cp} = 0,46536319 \approx 0,4654$ , а похибка експерименту  $S_y = 0,122$  (див. вираз (2.25)).

Отже,  $|a_0 - \ln \bar{\rho}_{cp}| = |0,4545 - 0,4654| = 0,0109 < S_y$ , що свідчить про відсутність квадратичних ефектів і адекватності лінійної моделі.

Після потенціювання рівняння (2.22) та підстановки узагальнених змінних (2.17) шукане критеріальне рівняння (2.9) для ВУП порошкового матеріалу М2 на ІВПМ матиме вигляд

$$\bar{\rho} = e^{0,4545} \left( \frac{E_a}{P_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \cdot R_0 \cdot S_{\zeta\dot{\alpha}\dot{\alpha}}} \right)^{0,1101} \cdot \left( \frac{\dot{\alpha}^3}{R_0 \cdot S_{\zeta\dot{\alpha}\dot{\alpha}}} \right)^0 \cdot \left( \frac{t_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}i}}{\tau_0} \right)^{0,0374} \cdot \left( \frac{\alpha \cdot m_1}{\rho_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \cdot \tau_0^2 \dot{\alpha}} \right)^{-0,0723} \quad (2.29)$$

Аналогічно визначені показники степенів критеріальних рівнянь для процесів ВУП порошкових матеріалів М1, М3 та М4. Значення цих показників приведені у табл. 2.3. Постійні  $A_i$ , що відображують впливи на процес ВУП неврахованих факторів, в критеріальних рівняннях подані у вигляді  $A_i = e^{\theta_i}$ .

Користуючись критеріальними рівняннями для процесів ВУП заготовок виробів з різних порошкових матеріалів на ІВПМ можна розв'язувати задачі оптимізація умов їх реалізації.

Таблиця 2.2 – Умови експериментального дослідження

Рівні УП		Інтервал варіювання ( $\Delta$ )	Нижній рівень (Н)	Верхній рівень (В)	Основний рівень (О)
Незалежні узагальнені критерії подібності	$\pi_2$	4,5906	0,6472/(1,6530)*	5,2378	2,9425
	$y_1 = \ln \pi_2$	1,1533097	(-0,4351)**/ 0,5025918	1,6559015	1,0792575
	$\pi_3$	$6,062 \cdot 10^{-6}$	$6,1261 \cdot 10^{-6}$ / ( $6,8798 \cdot 10^{-6}$ )	$12,1881 \cdot 10^{-6}$	$9,1571 \cdot 10^{-6}$
	$y_1 = \ln \pi_3$	0,57187	(-12,002952)/ - 11,886921	11,315051	-11,600981
	$\pi_4$	$0,8 \cdot 10^3$	$0,6 \cdot 10^3$ / ( $0,7142 \cdot 10^3$ )	$1,4 \cdot 10^3$	$10^3$
	$y_1 = \ln \pi_4$	0,6730645	(6,3969296)/ 6,571163	7,2442275	6,9077553
	$\pi_5$	$9,6 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$ / ( $5 \cdot 10^3$ )	$12,8 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
	$y_1 = \ln \pi_5$	0,9400072	(8,00709062)/ 8,5171932	9,4572004	8,9871968

Примітки:

1. В дужках в знаменнику наведений нижній рівень фактора  $\pi_i$  після корегування;
2. В дужках в чисельнику наведений нижній рівень фактора  $y_i = \ln \pi_i$  без корегування.

Таблиця 2.3 – Показники степенів критеріальних рівнянь для досліджуваних процесів ВУП

Порошковий матеріал	Показники степенів				
	$\Theta = \dot{a}_0$	$\alpha = \dot{a}_1$	$\beta = \dot{a}_2$	$\gamma = \dot{a}_3$	$\delta = \dot{a}_4$
M1	0,3121	0,2721	(+0,016)	0,0625	-0,0714
M2	0,4545	0,1101	(-0,0217)	0,0374	-0,0723
M3	0,4832	0,1208	-0,0324	0,0481	-0,0829
M4	0,5877	0,1492	-0,0401	0,0990	-0,0653

Таблиця 2.4 – Матриця планування та результатів ПФЕ 2<sup>4</sup> (процес ВУП матеріалу M2)

№ дос-ліду	y <sub>0</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	Середній відгук по 3-х точках		Серед. Відгук по 3-х точк. y <sub>з</sub>	Оцінка lnπ <sub>1</sub> за рівн.	Дисперсія для рядка S <sub>и</sub> <sup>2</sup>	(y <sub>г</sub> -y <sub>е</sub> ) <sup>2</sup>
						ρ <sub>зсп</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>р</sub> = ρ <sub>зсп</sub> /ρ <sub>з0</sub>				
1	+	+	+	+	+	2,2	1,6296	0,4883	0,469	0,0020	3,6·10 <sup>-4</sup>
2	+	-	+	+	+	1,7	1,2592	0,2305	0,337	0,0355	112·10 <sup>-4</sup>
3	+	+	+	+	+	2,4	1,7777	0,5753	0,481	0,0073	88·10 <sup>-4</sup>
4	+	-	-	+	+	1,8	1,3333	0,2877	0,349	0,0234	37·10 <sup>-4</sup>
5	+	+	+	+	+	2,0	1,4814	0,3930	0,444	0,0026	26·10 <sup>-4</sup>
6	+	-	+	-	+	1,9	1,4074	0,3418	0,312	0,0050	19·10 <sup>-4</sup>
7	+	+	-	-	+	2,2	1,6296	0,4884	0,456	0,0170	10·10 <sup>-4</sup>
8	+	-	-	-	+	1,7	1,2592	0,2305	0,324	0,0370	86·10 <sup>-4</sup>
9	+	+	+	+	-	2,7	2,0000	0,6931	0,537	0,0021	243·10 <sup>-4</sup>
10	+	-	+	+	-	2,1	1,5555	0,4418	0,405	0,0150	14·10 <sup>-4</sup>
11	+	+	-	+	-	2,8	2,0741	0,7295	0,549	0,0016	324·10 <sup>-4</sup>
12	+	-	-	+	-	2,2	1,6296	0,4884	0,417	0,0270	50·10 <sup>-4</sup>
13	+	+	+	-	-	2,3	1,7037	0,5328	0,562	0,0063	9·10 <sup>-4</sup>
14	+	-	+	-	-	1,9	1,4074	0,3418	0,430	0,0254	77·10 <sup>-4</sup>
15	+	+	-	-	-	2,5	1,8518	0,6162	0,574	0,0208	18·10 <sup>-4</sup>
16	+	-	-	-	-	2,0	1,4814	0,3930	0,442	0,0101	24·10 <sup>-4</sup>
	a <sub>0</sub> = 0,45	a <sub>1</sub> = 0,1101	a <sub>2</sub> = -0,0217	a <sub>3</sub> = 0,0374	a <sub>4</sub> = 0,0723	ρ <sub>сп</sub> = 2,2	ρ <sub>р</sub> = 1,5925	у <sub>зсп</sub> = 0,4653		Σ S <sub>и</sub> <sup>2</sup> = 0,2381	Σ(y <sub>г</sub> -y <sub>е</sub> ) <sup>2</sup> =0,1

### Практичне заняття № 3

#### СИНТЕЗ ПРИНЦИПОВИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ВІБРОПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ

На основі результатів проведеного структурно-морфологічного аналізу систем, з яких складається технологічний комплекс (див. рис. 1.1) з виробництва заготовок виробів з порошкових матеріалів, розроблена відповідна матриця (табл. 3.5) його структурно-морфологічної класифікації. В даній матриці узагальнена та систематизована накопичена інформація у вигляді незалежних ознак або властивостей систем комплексу, які об'єднуються в одному з десяти виділених смислових дільників, розміщених в рядках матриці і згрупованих за принципом приналежності конкретній системі: 1-й і 2-й смислові дільники належать системі I (заготовка); 3-й і 4-й – системі II (робочому процесу); 5-й...10-й – системі III (ІВПМ). Для можливого розширення об'єму інформації в матриці передбачено використання 0-го резервного рядка. Відповідно до загального числа незалежних ознак смислових дільників в матриці міститься шість стовпців (1-6). Всі смислові дільники взаємозв'язані, а послідовність їх представлення визначається цільовим призначенням матриці, використовуваної для розв'язання задач аналізу та синтезу.

При проектуванні технологічного комплексу звичайно розв'язуються задачі синтезу процесу (система II) та обладнання (система III), а вихідними даними для їх розв'язання служать незалежні ознаки заготовки (1-й та 2-й смислові дільники). За даними ознаками (початковими даними) встановлюються ознаки 3-го та 4-го смислових дільників, що характеризують режим ВУП і схему інерційного навантаження заготовки, а синтез ІВПМ здійснюється на основі вибору незалежних ознак смислових дільників з 5-го по 10-й, які, у свою чергу, визначаються ознаками 3-го і 4-го смислових дільників. Така послідовність аналізу смислових дільників, що характеризують проектовану машину, дозволяє обґрунтовано опрацювати варіанти вибору ознак приводу його головної робочої ланки з врахуванням типу та конструктивних особливостей вібробуджувача, приводу допоміжної робочої ланки, конструктивних особливостей станини з блоком фундаменту і використовуваного оснащення (прес-форми).

Кодування матриці структурно-морфологічної класифікації (див. табл. 3.5) з метою зберігання і використання інформації, що міститься в ній, здійснюється за допомогою комп'ютера за відомою методикою [75]. Кожному осередку матриці, що знаходиться на перетині  $i$ -го рядка та  $j$ -го стовпця, присвоюється код  $ij$ , а сукупності осередків, що характеризують набір ознак проектованого комплексу, присвоюється код  $\sum_{i=1}^{i=10} (\sum_{j=1}^{j=6} j)$ . При

обов'язковому переліку в порядку зростання номерів всіх рядків матриці кодування здійснюється за номерами відповідних стовпців характерних незалежних ознак кожного смислового дільника без зазначення номера рядка.

Таблиця 3.1 – Матриця технологічного комплексу з виробництва заготовок виробів з порошкових матеріалів

Сис-тема	Смисловий дільник	Незалежні ознаки (властивості) смислових дільників розбірна						
		1	2	3	4	5	6	
I	Резерв							
	Порошковий матеріал	Монодисп.	Полідисп.	Однорідний	Змішаний	3 наповнювачем	Без наповнювача	
	Тип заготовки	Цільна	Складена	Проста	Складна	Порожня	–	
	Режим пресування	Вібрацій-ний	Віброударний		Ударний		Складно-просторовий	
II	Схема інерційного навантаження	Одно-тороння	ВУП-I	ВУП-II	ВУП-III	Напрямок ударного імпульсу сили, що змушує		
			Двосторо-роння	Знизу	Зверху	Збоку	Всебічне	
III	ГПП основної робочої ланки	Підключ. вібробуджувача на вході	Верхній	Нижній	Двосторо-ронній		Багатоцикл акумулятор	
			Одно-каскадний	Двокаскадний	Двопозиційний		–	
	Тип запірного елемента	Кульковий	Клапанний	Золотни-ковий	Зі штовхачем та дрос.		3 перемін-ною площею	
			Пневма-тичний	Верхній	Нижній	Статичне притискання		Виштовху-вача
	Станина та фундамент	Рамна	Консольна	Складена	Цільна	Зварна		Віброіз-ний
			Одно-тороння	Двосторо-роння	Цільна	Розбірна		3 виштовху-вачем

Наприклад, якщо проектується технологічний комплекс з виробництва з монодисперсного однорідного порошкового матеріалу з наповнювачем (код рядка 1-135) суцільних заготовок простої конфігурації (2-13), то для виробництва таких заготовок вибирається режим ВУП-I (3-2), який реалізується при прикладенні знизу ударного імпульсу зовнішньої примусової сили(4-3). Параметри даного процесу однозначно визначаються параметрами ознак, що характеризують систему I. Описаний процес можна здійснити на ІВПМ (див. зан. 3), ГП якого оснащений вібробуджувачем "на вході" і розташований знизу (5-14). Для такого приводу звичайно рекомендується двокаскадний триходовий вібробуджувач (6-24) із золотниковим запірним елементом, оснащеним штовхачем та регульованим дроселем (7-34). Для допоміжної робочої ланки статичного притискання можна вибрати пневматичний привід з верхнім розташуванням пневмоциліндра (8-235). Станину ІВПМ, що виготовляється в одиничному екземплярі, доцільно вибирати зварною, збірною та віброізолюваною (9-136). Для формоутворення заготовки даного типу найзручніше скористатися односторонньою суцільною прес-формою з виштовхувачем (10-136). Вибраний перелік ознак системи III характеризується параметрами, які однозначно визначаються параметрами системи II.

Згідно із вищевикладеним, загальний код проектного технологічного комплексу, складений на основі матриці структурно-морфологічної класифікації, записується набором цифр 135.13:2.3:14.24.34.235.136.136, в якому крапками відокремлюються незалежні ознаки одного смислового дільника, а двокрапкою – ознаки однієї системи. Подання у такому вигляді інформації про проєктований комплекс, на наш погляд, значно спрощує не тільки розв'язання задач синтезу його основних систем, але і дозволяє на основі розробленої послідовності вибору їх незалежних ознак та за допомогою аналітичної залежності, яка отримана в результаті проведених автором теоретичних та експериментальних досліджень (див. розд. 3, 5, 6), створювати формалізовані концепції методики розрахунку параметрів режимів ВУП та ІВПМ для їх реалізації.

Використовуючи результати структурно-морфологічної класифікації технологічного комплексу (див. табл. 3.1) і враховуючи структурні та функціональні зв'язки (див. зан. 1), виявлені при включенні його до технологічного комплексу (див. рис. 1.1), можна розробити загальну методику синтезу принципів та конструктивних схем проектного вібропресового обладнання за допомогою спеціальної структурної матриці-визначника (рис. 3.1), побудова якої здійснюється за відомими рекомендаціями [75].

Число стовпців матриці-визначника обираємо у відповідності із загальним числом виявлених технологічних та конструктивних смислових дільників, а число рядків – згідно із максимальним числом варіантів реалізації смислових дільників.

СМІСЛОВІ ДІЛЬНИКИ															
технологічні				К				конструктивні							
П	Т	Осн. реж.	Т1	Сх. ін. нав.	Т2	Тр	Викон. ст.	К1	Осн. пр. р. лан.	К2	Доп. прив.	К3	Гідроімпл. прив.	К4	К
П1	Т1		Т1		Т2	Тр									К
П2	Т2		Т1		Т2	Тр									К
П3	Т3		Т1		Т2	Тр									К
П4	Т4	Складно-просторове	Т1		Т2	Тр									К
резерв												резерв			

Рисунок 3.1 – Структурна матриця – визначник вибору схем вібропресового обладнання, що проектується



Для технологічних смислових дільників в пропонованій матриці-визначнику (див. рис. 3.1) виділяємо три стовпці (два основних і один резервний) і розташовуємо в них інформацію про обраний основний режим ВУП (Т1), про схему інерційного навантаження (Т2) і про можливі додаткові умови реалізації робочого процесу (Тр), а для конструктивних смислових дільників – п'ять стовпців (чотири основних і один резервний), в яких розташовуємо інформацію щодо конструкцій станин (К1), гідродвигунів основного (К2) та допоміжного (К3) приводів, схем ГПП з віброзбуджувачем (К4), можливих конструктивних доповнень та нових розробок (Кр).

Варіанти смислових дільників розташовуємо в п'яти рядках (чотирьох основних і одному резервному) матриці визначника зверху-донизу. Черговість розташування схем варіантів визначається частотою їх використання в реальних ВУП і конструкціях ІВПМ. Наприклад, послідовність розташування варіантів В1...В3 смислового дільника Т1 відповідає частоті розповсюдження основних режимів ВУП. Режим багатоконтактного віброударного навантаження (БКВН) (варіант В4) займає місце в нижній частині стовпця.

Варіанти дільника Т2 відповідають можливим схемам інерційного навантаження заготовок і визначаються поєднанням спрямованих впливів імпульсів сил з боку основної робочої ланки ( $\uparrow$ ) та інерційного вантажу ( $\downarrow$ ) на заготовку. Найрозповсюдженіші варіанти В1 та В2, що відповідають інерційному навантаженню на ІВПМ і пресах ГПП [189]. Навантаження згідно із варіантом В3 являє собою сукупність навантажень В2, які здійснюються з двох сторін відносно однієї осі [191]. Варіант В4 відповідає багатоконтактному навантаженню (рис. 3.2), реалізованому на спеціальному обладнанні [35].

Варіанти конструктивних смислових дільників являють собою фрагменти можливих принципів і конструктивних схем проектного обладнання, на яких представлені його основні та допоміжні робочі ланки, а також основні елементи ГПП. Графи дільника К1 несуть інформацію щодо конструктивного виконання рамних (В1, В2) і консольних (В3, В4) станин ІВПМ.

Графи смислових дільників К2 та К3 відповідають варіантам конструктивного виконання основного та допоміжного гідродвигунів. Наприклад, в графах дільника К2 зображені привідні зворотно-поступальні гідродвигуни без демпфування (В1) та з демпфуванням (В2) ударів під час зворотного ходу, а також з робочою ланкою, що здійснює багатоконтактні зворотно-поступальні (В3) та зворотно-гвинтові (В4) переміщення.

Варіанти дільника К4 дозволяють обрати одну з можливих принципів схем ГПП (див. розд. 4), в яких конкретизований спосіб підключення віброзбуджувача „на вході” (В1, В2, В4) або на „виході” (В3), його тип та варіанти використання одноциклового гідроакмулятора.

ТИПЫ ЗАПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ										
Вибро-возбудители	Шариковые (Ш)		Клапанные (К)		Золотниковые (З)					
	2/2	1	2	3/2	1	2	2/2	1	2	
Однокаскадные										
Двухкаскадные										

Рисунок 3.2 – Структурна матриця – визначник вибору схем віброзбуджувачів ГПП, що проектуються

Синтез схем проектного вібропресового обладнання за допомогою структурної матриці-визначника здійснюється послідовним вибором варіантів технологічних та конструктивних смислових дільників. Схеми технологічних смислових дільників визначають робочий процес і аналізуються з врахуванням властивостей порошкового матеріалу заготовки. У зв'язку з цим, вважаємо їх заданими або ключовими. Варіанти конструктивних смислових дільників розглядаємо згідно із ключовими дільниками, а також з врахуванням заданих умов експлуатації обладнання, величин створюваних динамічних навантажень, характеру переміщень робочих ланок основного та допоміжного приводів, рекомендацій щодо переважного використання визначеного типу віброзбуджувача різних схем його підключення.

Синтез схем проектного вібропресового обладнання за допомогою структурної матриці-визначника здійснюється послідовним вибором варіантів технологічних та конструктивних смислових дільників. Схеми технологічних смислових дільників визначають робочий процес і аналізуються з врахуванням властивостей порошкового матеріалу заготовки. У зв'язку з цим, вважаємо їх заданими або ключовими. Варіанти конструктивних смислових дільників розглядаємо згідно із ключовими дільниками, а також з врахуванням заданих умов експлуатації обладнання, величин створюваних динамічних навантажень, характеру переміщень робочих ланок основного та допоміжного приводів, рекомендацій щодо переважного використання визначеного типу віброзбуджувача різних схем його підключення.

Згідно із запропонованою послідовністю аналізу варіантів технологічних та конструктивних смислових дільників, а також з використанням позначень стовпців і рядків, в яких вони містяться, для будь-якої синтезованої схеми вібропресового обладнання може бути отриманий скорочений умовний запис – код.

Наприклад, графу зі схемою, що характеризує конструктивний смисловий дільник „тип станини – консольний” (стовпець К1, рядок П3) позначаємо К13, а найрозповсюдженіший (див. рис. 4.20) варіант схеми ІВПМ записуємо кодом Т11.Т.21.К12.К21.К31.К.42 або в скороченій формі Т11.21; К12.21.31.42. Аналогічний варіант схеми, але при підключенні віброзбуджувача „на виході”, має код Т13.21; К12.21.31.43. Варіанти схем ІВПМ, зображених на рис. 4.21, 4.22 за допомогою структурної матриці-визначника відповідно кодуються: Т13.23; К12.21.31.41:41 та Т14.24; К12.23.31.42:43 (двокрапкою відокремлені ознаки одного смислового дільника).

Запропонований матричний спосіб зберігання та використання інформації щодо схем виконання структурних ланок вібропресового обладнання, на нашу думку, дозволяє значно полегшити розв'язання задач його синтезу, особливо на першій стадії проектування.

На другій стадії проектування звичайно виконується конструктивна розробка елементів основних структурних ланок вібропресового обладнання. Найскладнішою з них за конструкцією є віброзбуджувач гідроімпульсного приводу. Останнє пояснюється, головним чином, відсутністю про нього відомостей узагальнювального характеру.

Для реалізації на другій стадії проектування положень системного підходу, що полягають у послідовному застосуванні методів аналізу та синтезу для складових елементів віброзбуджувачів ГП, нами розроблена структурна матриця-визначник вибору їх конструктивних схем (рис. 2.4). Рядки матриці відповідають конструктивним смисловим дільникам А і Б, що містять схеми запірних елементів першого та другого каскаду віброзбуджувачів, причому для смислового дільника А схеми додатково класифікуються залежно від способу відкриття запірного елемента на величину повного прохідного перерізу – за рахунок змінної площі підхвату (А1) або за допомогою штовхача з дроселем (А2).

В трьох основних стовпцях матриці розташовуються схеми варіантів відповідних смислових дільників, які згруповані за типами використовуваних запірних елементів: кулькових (К), клапанних (Кл) і золотникових (З). Кожен з основних стовпців додатково розділюється на два, в яких містяться схеми варіантів конструктивного виконання запірних елементів віброзбуджувачів (К1 і К2, Кл1 і Кл2, З1 і З2), що забезпечують відповідну дво- і триходову схему розподілення робочої рідини.

При проектуванні віброзбуджувача вибір типу його запірного елемента визначається заданими умовами експлуатації та можливостями виготовлення, габаритами конструкції і способом герметизації, властивостями робочої рідини та схеми її розподілення. Вказані умови звичайно формулюються після завершення робіт на першому етапі проектування, що значно спрощує розв'язання задач синтезу віброзбуджувачів для вібропресового обладнання.

Код віброзбуджувача укладаємо в послідовності від першого каскаду (вибір способу відкриття запірного елемента – А1 або А2, його конструктивного виконання і схеми розподілення робочої рідини) до другого каскаду – на основі позначень аналогічних смислових дільників. Для однокаскадних віброзбуджувачів позначення щодо другого каскаду опускаємо або записуємо в коді 0.

Приклад запису коду А132 або А132-0 свідчить про вибір однокаскадного віброзбуджувача зі змінною площею підхоплення золотникового запірного елемента, що забезпечує триходове розподілення робочої рідини. Код віброзбуджувача А2К1-Б32 вказує на двокаскадний апарат, у якого в першому (допоміжному) каскаді застосовується штовхач з дроселем для відкриття клапанного запірного елемента, що забезпечує двоходове розподілення робочої рідини, а в другому (основному) каскаді – золотниковий запірний елемент з триходовим розподіленням робочої рідини.

В кожній графі матриці (див. рис. 2.4) розташовуємо схеми можливих варіантів конструктивного рішення вузлів із запірними елементами відомих [14 - 18, 24 - 46] вібробуджувачів, що, на нашу думку, сприяє інтенсифікації процесу проектування і одночасно дозволяє узагальнити накопичений досвід в даному напрямку. Якщо відомості щодо конструкції вібробуджувача відсутні або її створення практично неможливе, то у відповідній графі матриці ставимо прочерк. На схемах варіантів конструктивного рішення вузлів із запірними елементами одно- і двокаскадних вібробуджувачів взяті позначення: 1 – запірний елемент I-го каскаду; 2 – запірний елемент II-го каскаду; 3 – пружина; 4 – штовхач; 5 – змінне сидло; 6 – проставка; 7 – дросель регулювання перепаду тиску.

Найрозповсюдженіші схеми [161] A1K1, A1Кл1, A2K1, A2, Кл1, A231 використовуються при проектуванні одно каскадних вібробуджувачів, а також перших каскадів двокаскадних вібробуджувачів (запірні елементи зі штовхачами (A2) рекомендуються переважно для перших каскадів).

Конструктивні рішення вузлів II-го каскаду звичайно повторюють рішення вузлів I-го каскаду.

## Практичне заняття № 4

### МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ВІБРОУДАРНОГО ПРЕСУВАННЯ

Вихідними даними для проектування ІВПМ можуть служити параметри, що характеризують заготовку порошкового матеріалу в прес-формі закритого типу. До них відносяться маса навішення  $m_{\text{заг}}$ , лінійний розмір частинок її матеріалу  $a$  (за даними ситового аналізу), значення середньої щільності заготовки в початковий  $\rho_{30}$  та кінцевий  $\rho_{3к}$  моменти ВУП і відповідні їм значення модуля умовної пружності  $K_{30}$ ,  $K_{3к}$ , які встановлюються експериментальним шляхом. Початковий стан заготовки визначається величиною питомого зусилля статичного притискання  $P_{\text{уд}}$ , що обирається в межах  $0,1 \dots 1,0$  МПа. Для заготовки простої конфігурації блок вихідних даних доповнюється значенням площі її відкритої поверхні  $S_{\text{заг}}$  з боку пуансона. Використовуючи вихідні дані про заготовку, можна розробити алгоритм методики розрахунку параметрів її інерційного навантаження під час ВУП (рис. 4.1).

В перелік вихідних даних (блок 1) додатково введемо параметр  $m_1$ , що враховує зведену масу робочої ланки ІВПМ. Він вибирається з конструктивних міркувань і у подальшому може піддаватися корегуванню.

Після розрахунку додаткових параметрів заготовки  $h_{30}$ ,  $h_{3к}$  та маси інерційного вантажу  $m_2$  (блок 2) у відомій послідовності визначаються тривалість ударного імпульсу  $\tau_0$ , розрахункове число хвиль пакету  $n_p$  та допоміжний параметр  $c_{3к}$ , що разом з  $K_{3к}$  характеризує умовну жорсткість відпресованої заготовки простої конфігурації – блок 3.

Отримане значення  $n_p$  округлюється до найближчого цілого  $n$  (блоки 4, 5) і використовується при обчисленні максимальних значень зусилля пресування  $F_{z,\text{max}}$ , зусилля на робочій ланці  $P_{\text{max}}$ , імпульсу зовнішніх сил  $K_i$ , енергії робочого ходу  $E_x$  та жорсткості елементів пружного повернення  $c_y$  – блоки 6, 7, 8.

Максимальна допустима частота  $f_p$  і відповідний їй мінімальний період впливу на заготовку ударних імпульсів зовнішніх сил  $T_{ц}$  устанавлюються для двох можливих режимів інерційного навантаження: без відриву –  $f_{p1}$  і  $T_{ц1}$  та з відривом –  $f_{p2}$  і  $T_{ц2}$  від заготовки інерційного вантажу (блоки 9, 10, 11).

Отримані в результаті розрахунку параметри інерційного навантаження заготовки (блок 12) використовуються для обчислення конструктивних параметрів ІВПМ та параметрів їх робочих режимів.

Для визначення конструктивних параметрів в якості вихідних даних можна використати задані і розрахункові параметри інерційного навантаження заготовки  $E_x$ ,  $K_i$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $c_y$ ,  $c_{3к}$  (див. рис. 4.1). Вказані дані доповнюються параметрами ІВПМ нормативного характеру [84], які забезпечують виконання вимог віброізоляції. До них відносяться

жорсткість ґрунту  $c_{гр}$ , допустиме переміщення  $[x]_{ПК}$  і площа основи підтримувальної конструкції машини  $S_{ПК}$ . Крім цього, в якості вихідних параметрів приймаються тиск відкриття запірного елемента вібробуджувача (сервоклапана)  $p_1$ , зведений модуль об'ємної пружності рідини  $K_{пр}$ , площа плунжера гідроциліндра ГП  $S_{пл}$  і попередня деформація пружин пружного повернення  $x_{деф}$ .

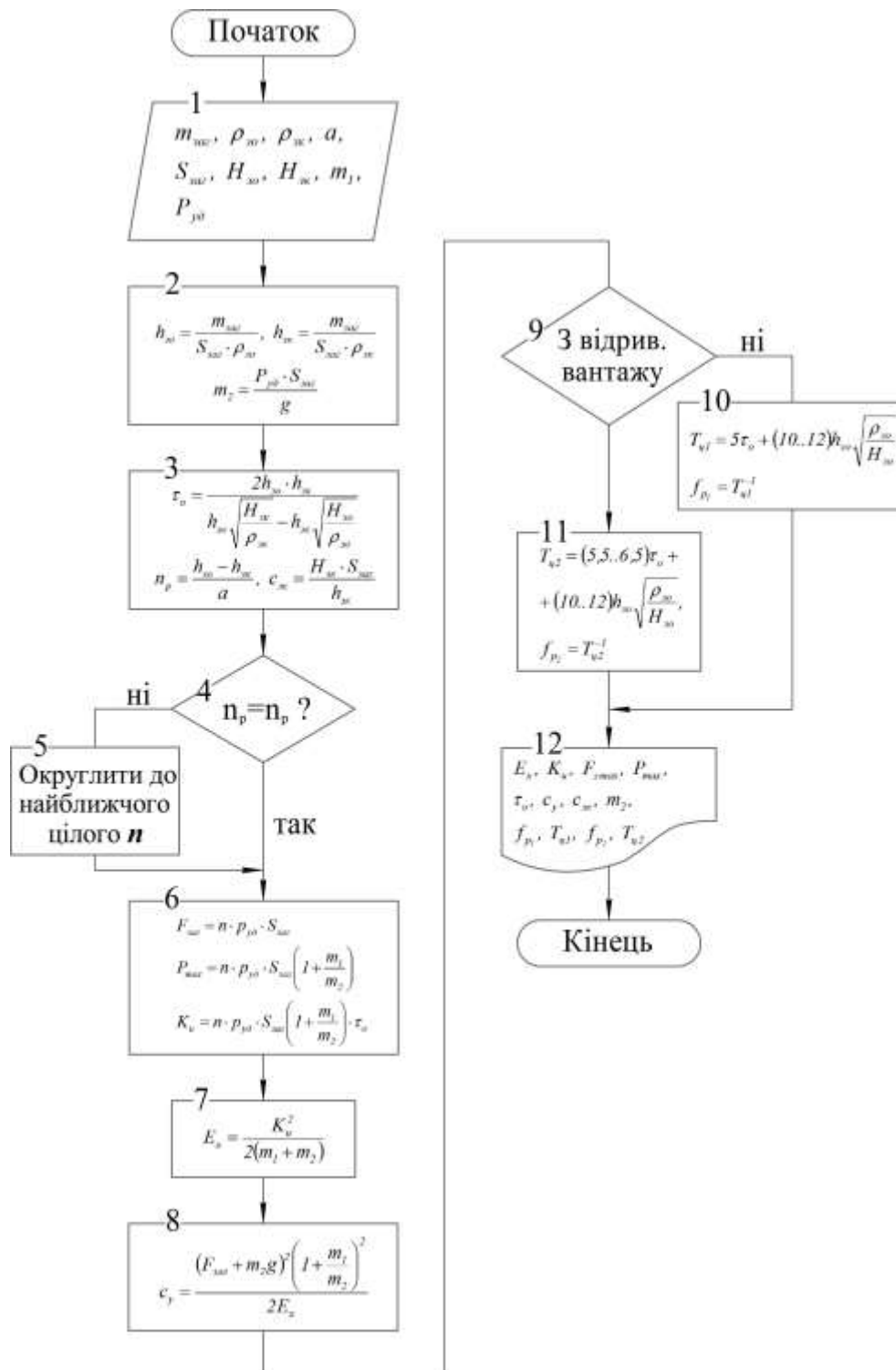


Рисунок 4.1 – Блок–схема алгоритму методики розрахунку параметрів інерційного навантаження заготовки

Розроблена методика розрахунку конструктивних параметрів ІВПМ, основана на результатах теоретичних досліджень перехідних процесів в ГП і взаємодії рухомих ланок ІВПМ. Блок-схема алгоритму даної методики розрахунку показана на рис. 4.2.

За вихідними даними (блок 1) безпосередньо визначаються розрахункова енергія одноциклового гідроаккумулятора  $E_a$ , зведена жорсткість  $c_{\Pi}$  та сумарна зведена маса  $m_{\Sigma}$  – блок 2. Вказані розрахункові параметри використовуються при визначенні власної частоти коливань робочої ланки  $\omega_{\Pi}$  та об'єму гідросистеми, що акумулює  $W_a^*$  – блок 3.

Далі визначаються допустима маса рухомих ланок  $[m]$ , маса станини з фундаментом  $m_3$ , відносний параметр  $\alpha_p$ , критичне значення відносного параметра  $n_{кр}$ , жорсткість гідросистеми  $c_{ж}$ , розрахункове переміщення підтримувальної конструкції  $x_{пк}$  та розрахункова жорсткість віброізоляторів  $c_v$  – блоки 4 – 7.

При виконанні умови віброізоляції  $x_{пк} \leq [x]_{пк}$  (блок 8) обчислені конструктивні параметри (блок 9) можуть бути використані безпосередньо в проектуванні ІВПМ. Якщо умови віброізоляції не виконуються, тоді необхідне додаткове корегування в бік збільшення нормативних параметрів віброізоляції  $c_{гр}$ ,  $S_{пк}$  або параметра  $m_1$ , що призначається конструктивно – блок 10. Після корегування вихідних даних (блок 1) розрахунок повторюється.

Вихідну інформацію про конструктивні параметри ІВПМ (блок 9) в разі використання машинних методів розрахунку доцільно подавати у розширеному вигляді, включаючи до неї деякі вихідні дані (блок 1), що полегшує виконання проектних робіт.

Вихідними даними для визначення параметрів робочих режимів ВУП можуть служити параметри інерційного навантаження заготовки –  $E_x$ ,  $K_i$ ,  $F_{з.мах}$ ,  $\tau_0$ ,  $f_p$ ,  $c_{зк}$  (див. рис. 7.6) та відповідні конструктивні параметри ІВПМ –  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $c_y$ ,  $c_v$ ,  $c_{ж}$ ,  $E_a$ . Причому параметри  $[\tau_0]$ ,  $[F_{з.мах}]$  та  $[f_p]$  обираються в якості контрольних. Додатково у перелік вихідних даних вводимо час набору тиску  $t_{н.д}$  до величини  $p_1 = p_{мах}$ , а також значення узагальненої змінної або критерію подібності  $\pi_4 = t_{вуп} / \tau_0$ , яке встановлюється експериментально за результатами пресування „еталонних” зразків.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблений алгоритм методики розрахунку параметрів робочих режимів ВУП (рис. 4.3). Згідно з ним спочатку за вихідними даними (блок 1) визначаються умовні деформації  $\Delta_1$  та  $\Delta_{мах}$ , що характеризують процес розрядки одноциклового гідроаккумулятора та зведена маса рухомих ланок ІВПМ  $m_{пр}$  – блок 2. Вказані дані використовуються у спеціальній підпрограмі „ТІМЕ” (блок 3), складеній для розв'язання рівнянь. В результаті реалізації підпрограми знаходять тривалість ударного імпульсу  $\tau_0$ , його величину  $K_i$ , час розрядки одноциклового гідроаккумулятора  $t_p^1$ , період спрацьовування вібробуджувача  $t_{ц}$  і робочу частоту  $f_p$  слідування



ударних імпульсів. Розрахункові параметри (блок 4) зіставляються з відповідними контрольними параметрами (блоки 5, 6) і за необхідності корегуються за рахунок збільшення жорсткості гідросистеми  $c_{ж}$  (блок 7) або жорсткості пружин повернення  $c_y$  (блок 8).

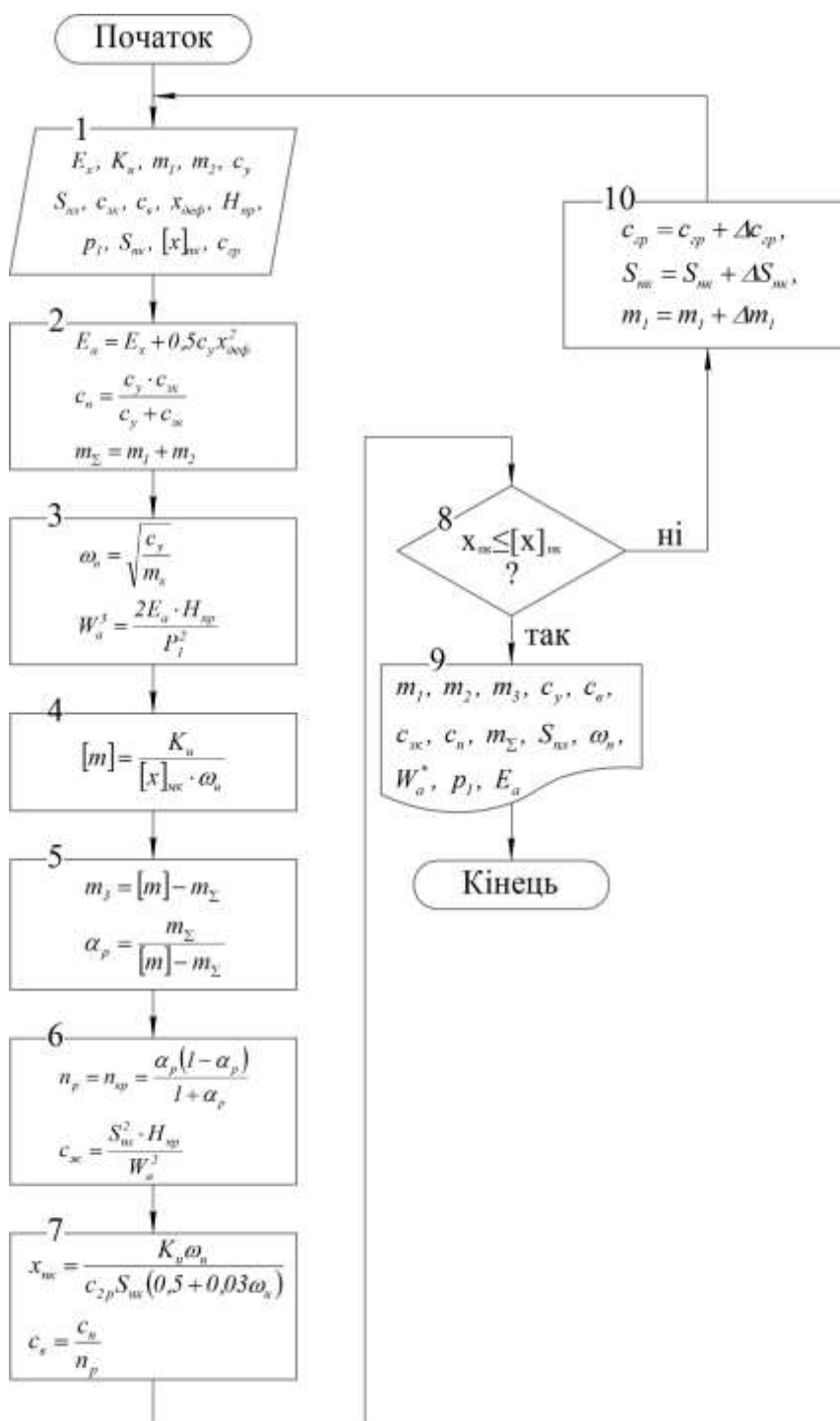


Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритму методики розрахунку конструктивних параметрів ІВПМ

Далі визначається повний час ВУП  $t_{вуп}$  і еквівалентне зусилля  $P_e$  ударного імпульсу прямокутної форми – блок 9. Останнє вводиться у

підпрограму “FORCE” (блок 10) для розрахунку механічних параметрів ІВПМ на відріжку часу  $0 \leq t \leq t_u$  за допомогою розроблених аналітичних залежностей. Значення даних параметрів (блок 11) відповідає параметрам робочих режимів ВУП, що реалізуються на ІВПМ.

Шляхом порівняння зусилля пресування, що розвивається  $P_{1-2}(\tau_0)$ , з контрольним значенням зусилля  $[F_{z,max}]$  (блок 12) для спроектованого обладнання встановлюється технологічна відповідність за зусиллям. Корегування параметра  $P_{1-2}(\tau_0)$  досягається шляхом збільшення енергії  $E_x$  робочого ходу ІВПМ (блок 13).

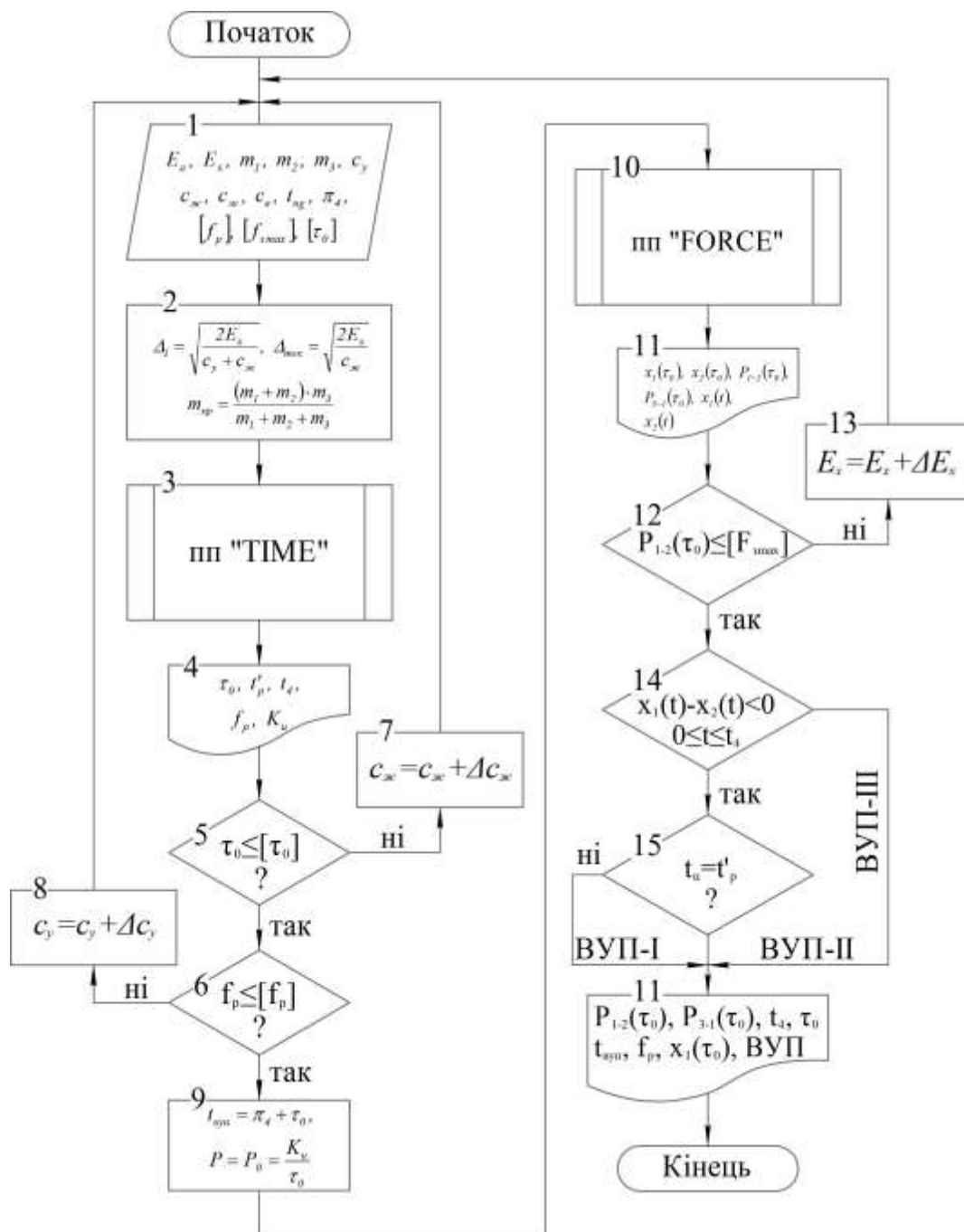


Рисунок 4.3 – Блок – схема алгоритму методики розрахунку параметрів робочих режимів віброударного пресування

## Практичне заняття № 5

### ІНЕРЦІЙНІ ВІБРОПРЕС-МОЛОТИ ІВПМ

Інерційні вібропрес-молоти (ІВПМ) – новий конструктивний підклас, що об'єднує пресове обладнання, створене на основі ГПП і призначене для формоутворення заготовок виробів з порошкових матеріалів способом ВУП.

У проектуванні ряду типорозмірів ІВПМ нами використовувався принцип конструктивної спадковості, що полягає у подібності принципів гідрокінематичних схем створюваного устаткування, конструктивних рішень його основних вузлів, їх компоновання та зовнішнього вигляду. Такий підхід виявився можливим після проведення лабораторних випробувань та опрацювання нових експериментальних конструкцій [13, 19, 25, 35] ІВПМ і експлуатації в умовах виробництва Броварського заводу порошкової металургії ряду їх дослідно-промислових зразків [160, 214, 239]. На основі створених принципів та конструктивних схем [27, 30, 31, 43] даних машин розроблена загальна принципова гідрокінематична схема (рис. 5.1), яка використовувалась у проектуванні нормального ряду типорозмірів ІВПМ.

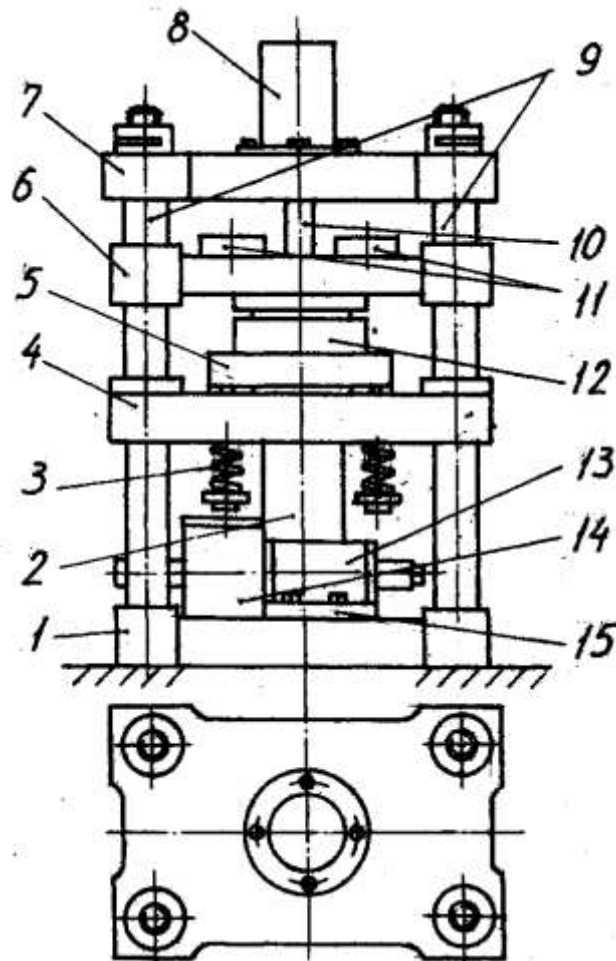


Рисунок 5.1 – Конструктивне виконання ІВПМ

В гідросистемі ІВПМ передбачені насосні станції ГПП та допоміжного приводу з насосами 4 і 12 постійної подачі відповідно на високий і низький тиск. Насос 4 забезпечує подачу робочої рідини в порожнину одноциклового гідроаккумулятора 7, з якої після досягнення розрахункового тиску  $p_1$  спрацьовування вібробуджувача 6, імпульс тиску подається в порожнину гідроциліндра 5 нижнього приводу робочого столу 3. Періодичне спрацьовування вібробуджувача 6 "на вході" забезпечує автоматичний зворотний зв'язок за тиском. Регулювання величини енергії, що передається з кожним імпульсом тиску  $p_1$ , досягається зміною об'єму аккумулятора 7, а для великих подач – додатковим використанням регулятора витрат 8. Для управління ГПП передбачені двоходовий розподільник 9, манометр 10 з краном та запобіжний клапан 11. Тиск настройки запобіжного клапана звичайно вибирається за умовою  $p_k=1,1 p_1$ .

Насос 12 призначений для приведення в дію допоміжного гідроциліндра 13 установочних переміщень рухомої поперечини 2 та створення додаткового статичного зусилля навантаження заготовки. Для регулювання даного зусилля в напірній лінії насоса 12 встановлений редукційний клапан 14, робота якого контролюється манометром 15. Управління робочим циклом гідроциліндра 12 здійснюється за допомогою чотириходового розподільника 16.

В ГПП ІВПМ передбачена також і можливість підключення вібробуджувача 6 "на виході", що значно розширює можливості машини і забезпечує її універсальність в разі реалізації різних режимів ВУП. Замість насоса низького тиску 12 допускається використання централізованої пневмосистеми, що працює на тиску 0,4...0,5 МПа. Доцільність такої заміни в умовах виробництва обґрунтовується, головним чином, відносною простотою виготовлення елементів пневмоприводу у порівнянні з елементами гідроприводу, особливо, на підприємствах немашинобудівного профілю.

Конструктивне виконання ІВПМ (рис. 5.2) аналогічно конструкції вертикального гідравлічного преса з верхнім приводом, у якого в розточці нерухомого столу 4 закріплений робочий гідроциліндр 2 основного приводу з плунжером, що жорстко зв'язаний з плитою рухомого робочого столу 5. Останній підпружинений пружинами 3 відносно нерухомого столу 4. Шток 10 гідроциліндра 8 допоміжного приводу з'єднаний з рухомою поперечиною 6, яка виконує функції інерційного вантажу і оснащена змінними інерційними масами 11. Звичайно станина ІВПМ виконується з чотирма або двома напрямними колонами 9, що з'єднують нижню 1 і верхню 7 поперечини. Проте конструктивне виконання станини у кожному конкретному випадку визначається габаритом робочої зони і залежить від специфіки технологічного процесу, зокрема, від ступеня його автоматизації, і може бути відповідно відкритого типу (одно- і двостоякові, одно- і двоколонні) або закритого типу (двостоякові, дво- або чотириколонні). Періодичні зворотно-поступальні переміщення робочого

столу 5 відносно нерухомої станини забезпечуються вібробуджувачем 13 та одноцикловим гідроаккумулятором 14, які кріпляться впритул до нижнього торця гідроциліндра 2 і поперечини 1 за допомогою монтажної перехідної плити 15.

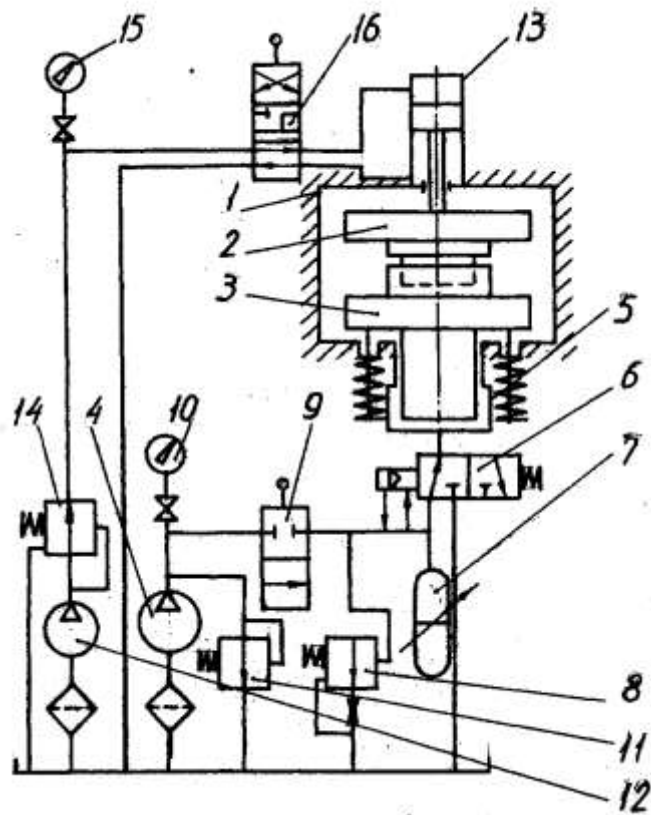


Рисунок 5.2 – Загальна принципова гідрокінематична схема ІВІМ

Варіант кріплення вібробуджувача на торці гідроциліндра показаний на рис. 5.3.

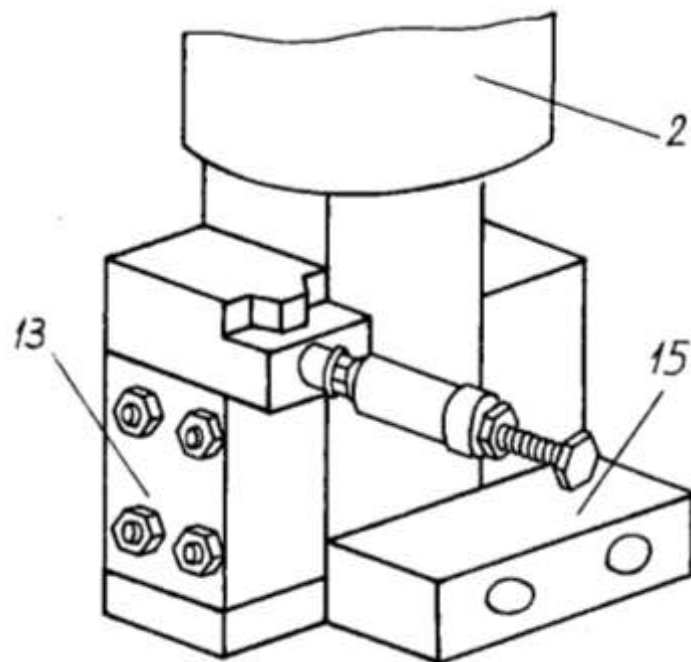


Рисунок 5.3 – Монтажний блок вібробуджувача

Насосна станція гідросистеми ІВПМ виконується у вигляді окремого агрегату і встановлюється в безпосередній близькості від самого вібропреса. На рис. 5.4 показаний загальний вигляд насосної станції ІВПМ з пультом керування. Відмітною особливістю даної станції є використання в ній дешевих тракторних шестерінчастих насосів НШ-100, НШ-46, а також можливість підключення до напірної лінії додаткового регульованого, об'єму (блоку циліндричних ємностей з поршнем), що дозволяє розширити технологічні можливості машини за рахунок регулювання енергії робочого ходу і, тим самим, підвищити ефективність використання ІВПМ в умовах виробництва. Для контролю, регулювання і розподілення рідини в насосній станції передбачене встановлення стандартної гідроапаратури.

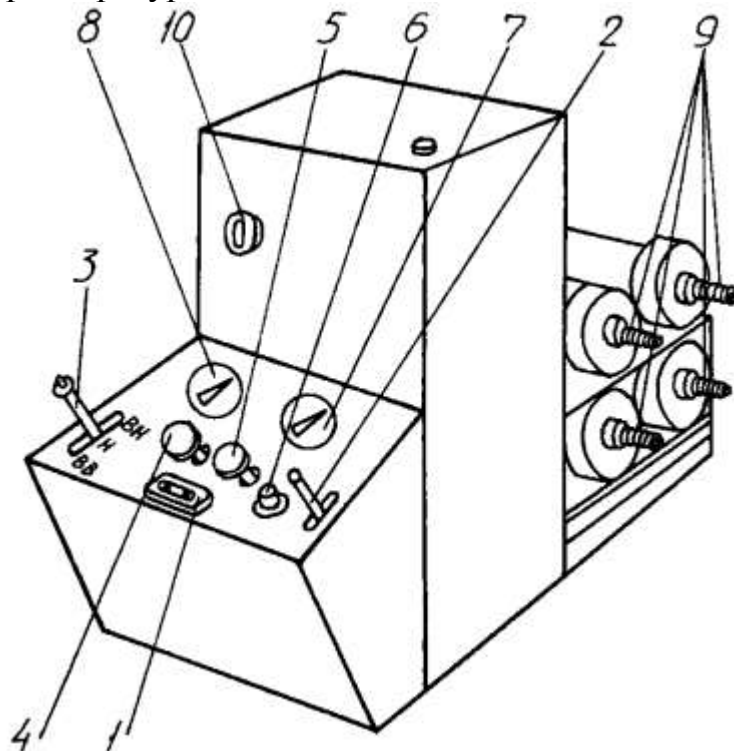


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд насосної станції для ІВПМ з пультом керування

Принцип спадкоємності використаний також і під час розробки триходових двопозиційних двокаскадних віброзбуджувачів ГП ІВПМ, який полягає в об'єднанні ряду нових принципів та конструктивних рішень [14-15, 17-18, 21, 24, 36] при виконанні складових вузлів та елементів.

Конструктивна схема віброзбуджувача типу А2К1-Б32 (див. зан. 3) і фотографія його загального вигляду показані на рис. 5.5. Перший та другий каскади віброзбуджувача виконані за модульним принципом і з'єднуються впритул. Запірним елементом І-го каскаду служить клапан 4, а ІІ-го каскаду – східчастий двокромковий золотник 1. Настроювання спрацьовування І-го каскаду за тиском здійснюється пружиною 5 та

регулювальним гвинтом 6, а керування його роботою забезпечується дроселем 8. З метою збільшення терміну служби золотника 1 в II-му каскаді вібробуджувача передбачений гідравлічний гальмівний пристрій: на верхньому торці золотника встановлений плунжер 3 з виточкою і хвостовиком, на якому виконані лиски, а нижній торець має виступ, зв'язаним з розточкою в кришці корпусу 2.

В тих випадках, коли наявний золотниковий запірний елемент не може забезпечити потрібну швидкодію II-го каскаду, використовують вібробуджувач типу А2К1-БК2. Конструктивна схема II-го каскаду такого вібробуджувача показана на рис. 5.6. Клапан I-го каскаду 6 забезпечує періодичне з'єднання напірної магістралі з порожниною В якщо її від'єднано від зливу. При тиску  $p_1$  порожнина А з'єднується з порожниною В і випускний клапан 4 закривається. Штовхач 5 відтискає сервоклапан 3 від сідла і забезпечує з'єднання порожнин З і Д. Перепад тиску, що виникає в отворі d, відкриває впускний клапан 2 внаслідок чого напірна магістраль та акумулятор 1 з'єднуються з порожниною робочого циліндра. Після розрядки акумулятора 1 тиск в системі падає до величини  $p_2$ , клапан 6 з'єднує порожнину В зі зливом і випускний клапан 4 відкривається. Пружина 7 повертає в початкове положення сервоклапан 3 і впускний клапан 2, який закривається і, таким чином, від'єднує напірну магістраль і порожнину А від порожнини Д. Цикл повторюється коли в системі досягається тиск  $p_1$ .

Складність виготовлення в умовах немашинобудівного виробництва вібробуджувачів ГП оригінальних конструкцій обумовила певну тенденцію їх створення на базі стандартної контрольно-розподільної апаратури (СКРА) [162]. Для ІВІМ на базі СКРА (рис. 5.7) розроблені вібробуджувачі типу А231-Б2, в яких у I-му каскаді використовуються гідророзподільники Р102 за 34-ю схемою розподілення потоку, а в II-му каскаді – гідророзподільники Р202 (Р203) [153]. Базовими моделями для I-го і II-го каскадів служать гідророзподільники з гідравлічним центруванням основного золотника [252], що дозволяє зменшити об'єм камер керування до мінімуму і, тим самим, забезпечити достатньо високу частоту подачі імпульсів тиску. В цьому випадку доопрацьовуються тільки деталі базової моделі I-го каскаду – кришка 1 та золотник 2. В золотнику 2 виконується Т-подібний канал, в осьовій розточці якого розміщується кулька 3 та штовхач 4 з дросельною лискою 5. В кришці 1 розташовується пружина 6 регулятора тиску настроювання спрацьовування вібробуджувача за тиском  $p_1$ . Попередній натяг пружини змінюється гвинтом 7. Штовхач 4 одним кінцем контактує з кулькою 3, а іншим - з кришкою корпусу, в яку за необхідності може вбудовуватися гвинт для регулювання величини додатного перекриття золотника 2.

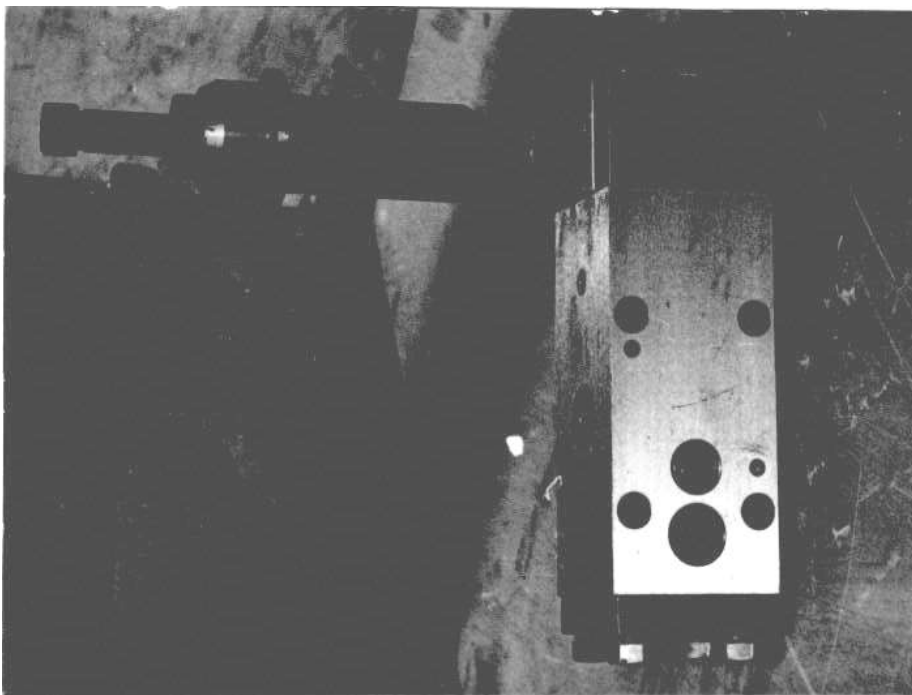
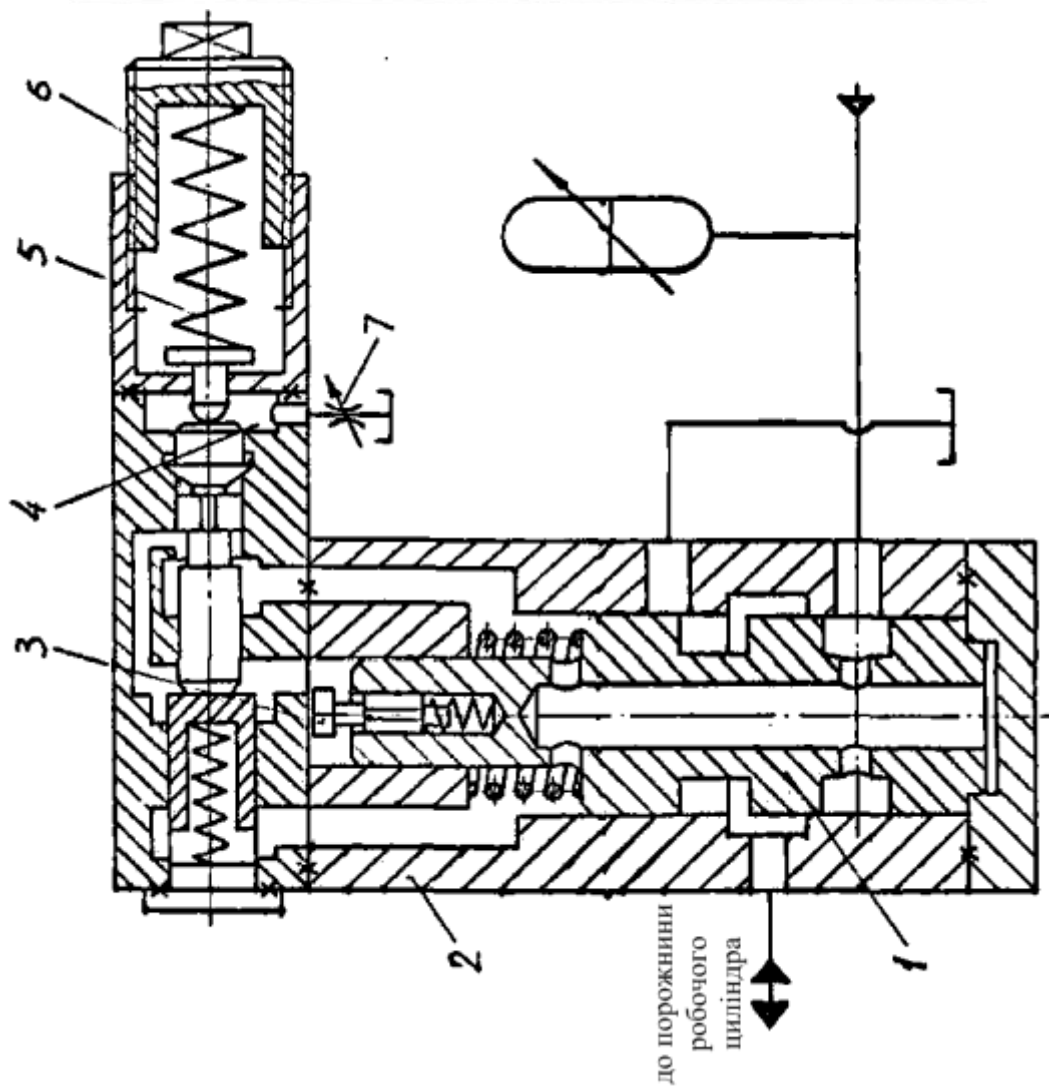


Рисунок 5.5 – Конструктивна схема та фотографія загальної виду вібробуджувача типу А1Ш1-Б32



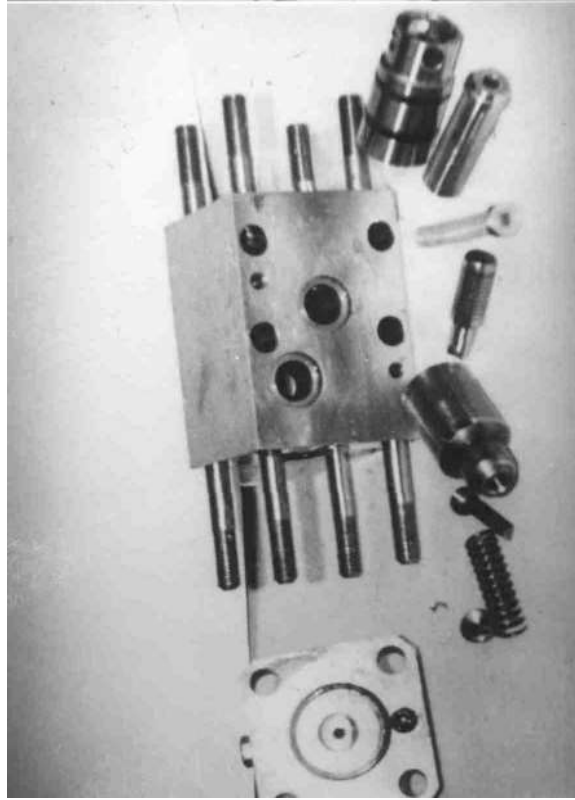
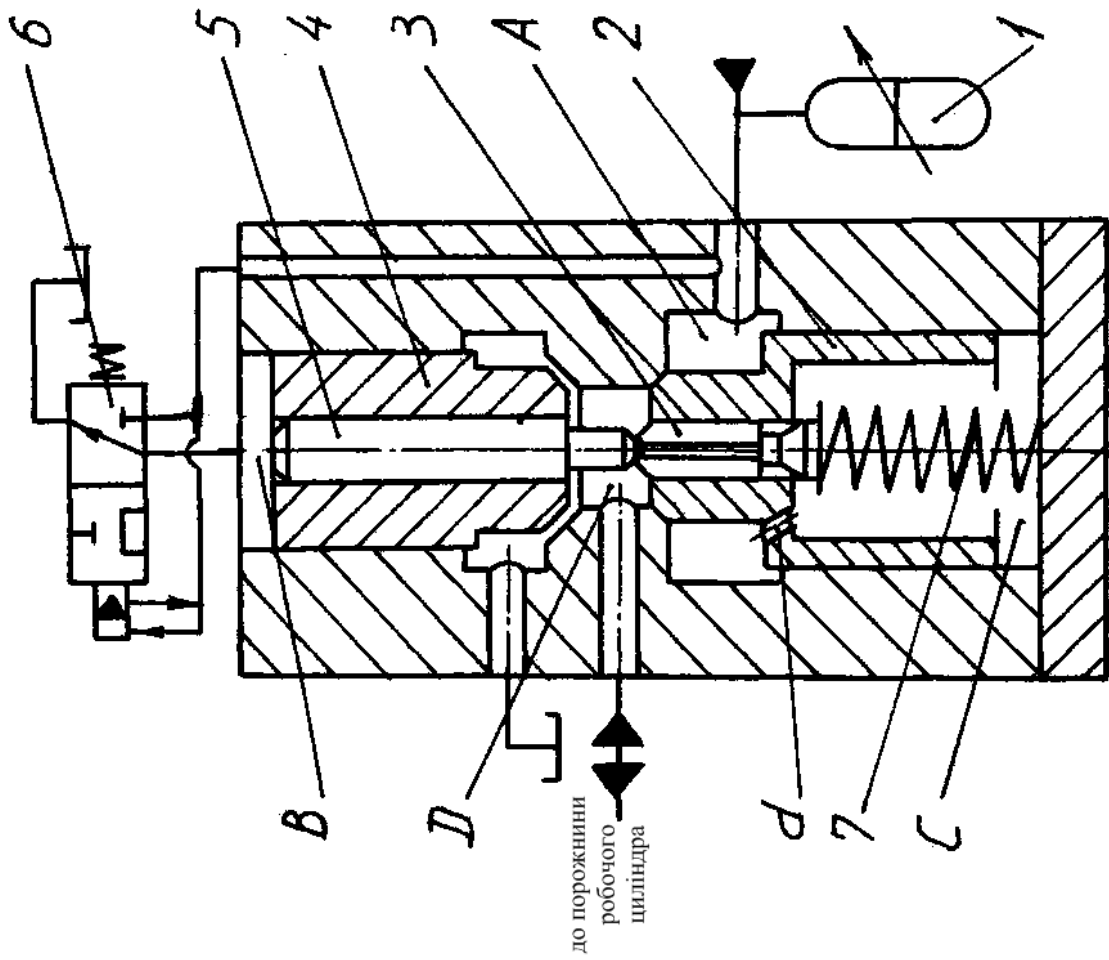


Рисунок 5.6 – Конструктивна схема і фотографія загального виду вібробуджувача типу А2К1-БК2

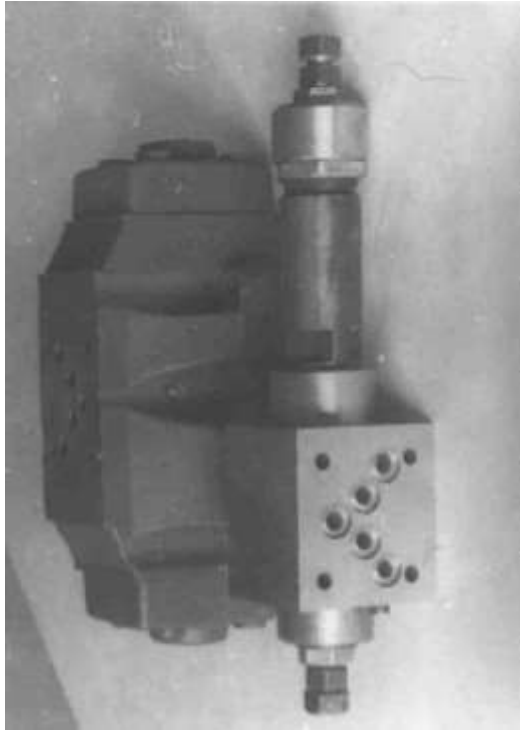
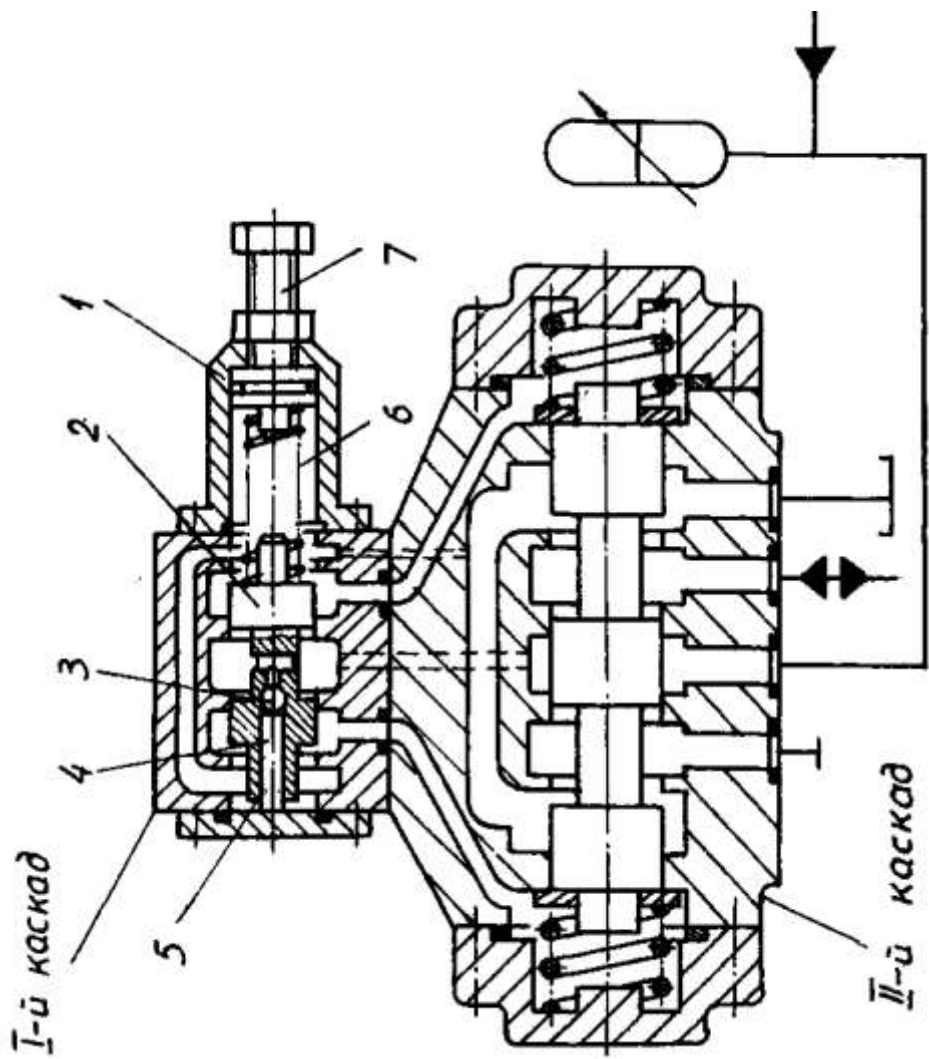


Рисунок 5.7 – Конструктивна схема і фотографія загального виду вібробуджувача типу А232-Б32 на базі Р202

Вібробуджувачі оригінальних конструкцій, у порівнянні зі створеними на базі СКРА, мають підвищену швидкодію і ширший діапазон регулювання. Вказані переваги обумовлюють рекомендації з переважного вибору для ГП ІВПМ вібробуджувачів оригінальних конструкцій [147, 193].

У ряді випадків з метою скорочення обсягу робіт з виготовлення ІВПМ підприємствам-замовникам, особливо, з обмеженими можливостями металообробки, було запропоновано використовувати серійні зразки пресів після їх певного доопрацювання. Вперше подібне доопрацювання було проведено для фізично застарілого пресу 4КФ200 (рис. 5.8) [240], з якого зняли фрикційний привод. Замість нього на верхній поперечині 1 встановили допоміжний гідроциліндр 2 (можливо також встановлення пневмоцилиндра), шток 3 якого з'єднали з повзуном 4, що виконує разом зі змінною додатковою масою у вигляді плити 5 функцію інерційного вантажу. Робочий гідроциліндр 6 встановили в осьову розточку основи 7, що виготовили на звичайному токарно-карусельному верстаті. На цьому ж верстаті в основі пресу висвердлили отвори під тяги пружин пружного повернення столу 9. Для установки та монтування основних вузлів ГП (вібробуджувача 12 та гідроаккумулятора 10) на нижньому торці гідроциліндра 8 закріплювалася перехідна плита 11.

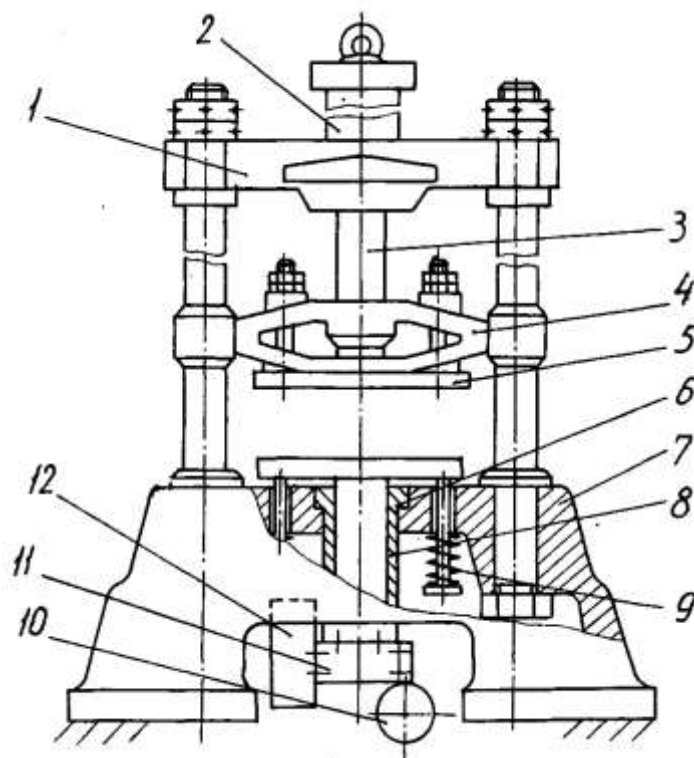


Рисунок 5.8 – Схема модернізації преса 4КФ200

Більш вдалим можна вважати рішення використовувати для створення ІВПМ, гідропресове серійне обладнання типу ДА22 та ДБ24 [243]. Основна перевага даного рішення полягає у використанні гідросистеми базового преса при незначних за обсягом конструктивних

доопрацювання його станини та кришки гідроциліндра нижнього виштовхувача для кріплення вузлів ГП. Описана модернізація була проведена для преса-напівавтомата прискороного пресування ДБ2432А (рис. 5.9). Зміни в гідросхемі базової моделі преса полягали в приєднанні ГП в складі вібророзбуджувача 1 та одноциклового гідроакумулятора 2 до порожнини гідроциліндра 3 виштовхувача. Від'єднання основних вузлів ГП від загальної гідросистеми здійснювалося за допомогою розподільника 4 і відповідало перемиканню обладнання на режим роботи преса-напівавтомата. У зв'язку з тим, що гідроциліндр 3 в режимі ВУП використовувався як робочий гідроциліндр приводу столу для знімання заготовки, в нішах станини встановлювалися додатково два силові гідроциліндри 5 з приводом від насоса керування. Параметри даних гідроциліндрів вибиралися з умови створення заданого зусилля виштовхування заготовки при розрахунковій величині ходу штока. Подача робочої рідини в поршневу та штокову порожнини гідроциліндрів 5 забезпечувалася через золотник 6 керування роботою гідрозамків, або зворотних керованих клапанів (на схемі не показані), які в гідросистемі базової моделі під час холостого ходу з'єднують порожнини гідроциліндра повернення 7 зі зливом і забезпечують вільне падіння повзуна 8.

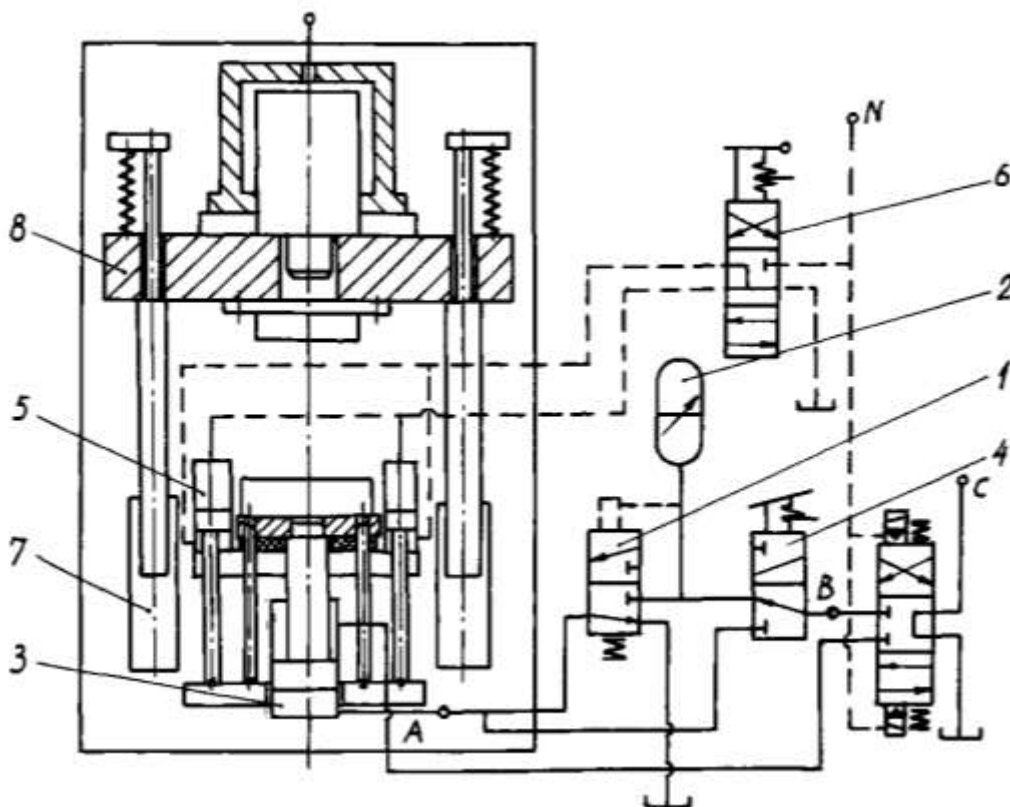


Рисунок 5.9 – Схема модернізації гідропривода преса ДБ 2432А

Проте ухвалення рішення про використання в якості ІВПМ модернізованих гідропресів, наприклад, серії ДБ вимагає у кожному конкретному випадку економічного обґрунтування, оскільки витрати на

модернізацію лише незначно відрізняються від витрат на виготовлення нової машини.

#### Обґрунтування вибору типорозмірів ІВПМ

В якості основного параметра для створення ряду типорозмірів (розмірного ряду) ІВПМ можна взяти максимальне зусилля на робочій ланці машини, що однозначно визначається величиною накопиченої енергії, яка витрачається на здійснення одного робочого ходу.

Для обґрунтування вибору знаменника розмірного ряду ІВПМ нами проведений аналіз габаритних розмірів заготовок типових виробів з порошкових матеріалів [251]. Встановлено, що у виробів певних типів, наприклад, "Плита", "Кільце", "Капсель", "Діжка" і інші основні лінійні розміри в результаті переходу від одного типорозміру до іншого звичайно змінюються відповідно до стандартного (ГОСТ 6636-69) ряду переважних чисел, що можна подати у вигляді геометричної прогресії зі знаменником  $\varphi = \sqrt[4]{10}$  (де  $A = 5; 10, 20; 40$ ).

Подібний ряд типорозмірів заготовок виробів можна зобразити графічно (рис. 5.10) і відповідно до цього обґрунтувати вибір типорозмірів ІВПМ, призначених для їх формоутворення.

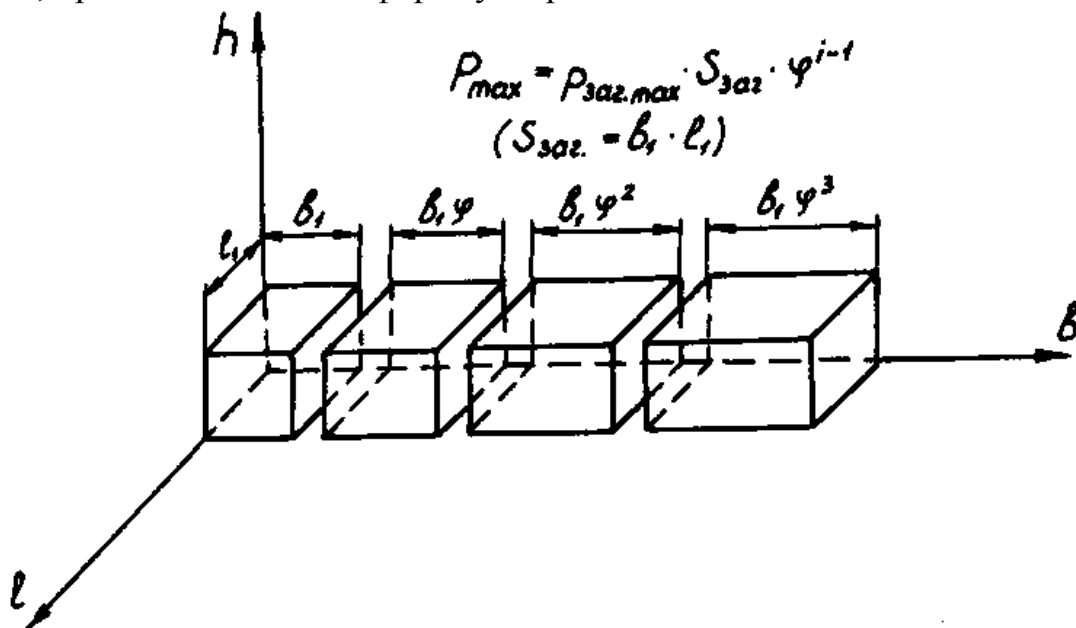


Рисунок 5.10 – Графічна інтерпретація обґрунтування вибору типорозмірів ІВПМ

Теоретично максимальна частота ряду типорозмірів ІВПМ для постійного значення максимального питомого зусилля навантаження  $P_{заг.max}$  заготовки повинна відповідати зміні одного з її лінійних розмірів  $l$ ,  $b$  або  $h$ . Максимальний габарит заготовки, оброблюваної на базовій моделі ІВПМ, відповідає вихідному члену ряду типорозмірів. Такий підхід дозволяє забезпечити найвигідніший режим ВУП та ефективне використання ІВПМ, наприклад, в умовах масового або серійного виробництва заготовок виробів конкретних типорозмірів.

Ряд типорозмірів ІВПМ, початковим членом якого є базова модель ІВПМ-5 [160] (рис. 5.11), що розвиває на робочій ланці зусилля у 50 кН, для переважного коефіцієнта ряду геометричної прогресії  $\varphi = \sqrt[4]{10} = 1,26$  можна подати послідовністю 50, 63, 80, 100, 126, 160, 200, 250, 320, 400, 500 і т.д. Дана послідовність обмежується потребами реального виробництва. Для вибору ІВПМ необхідного типорозміру, виходячи із заданих фізико-механічних характеристик оброблюваної заготовки, доцільно використовувати отримані раніше вирази, при цьому співвідношення мас рухомих ланок ІВПМ слід встановити заздалегідь.

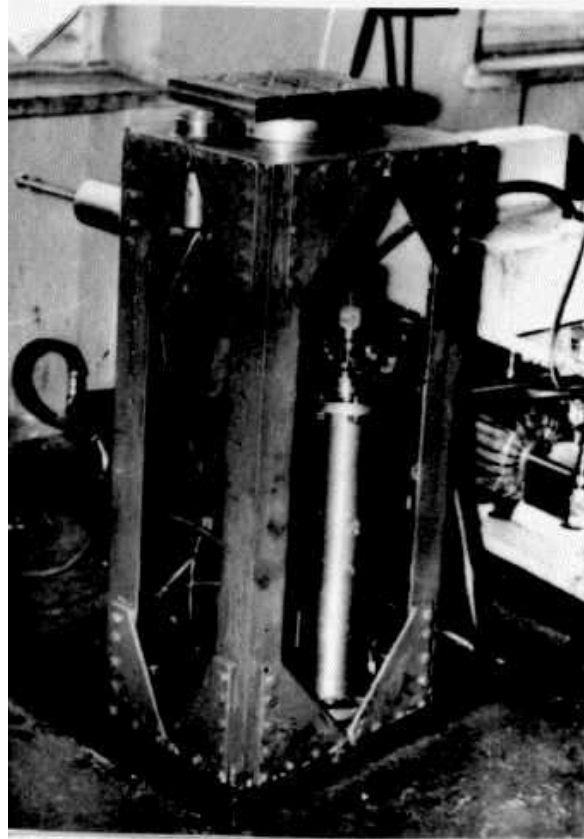


Рисунок 5.11 – Дослідний зразок вібропреса ІВПМ-5

Перший дослідно-промисловий зразок ІВПМ, розрахований на зусилля 200 кН (ІВПМ-20) [214, 239] був розроблений нами з метою розширення виробництва заготовок виробів з самозв'язаного карбїду кремнію С-2 на Броварському заводі порошкової металургії (БЗПМ). Надалі для вивчення можливостей ВУП заготовок виробів з шамотних порошоків (вогнеприпасу) нами розроблені дослідні зразки ІВПМ на зусилля 100 кН (ІВПМ-10) (рис. 5.12), які успішно пройшли випробування на Богдановичському заводі вогнетривів (БЗВ) [240] та на дослідному заводі Українського науково-дослідного інституту скляної промисловості (УНДІСП) м. Київ [244].

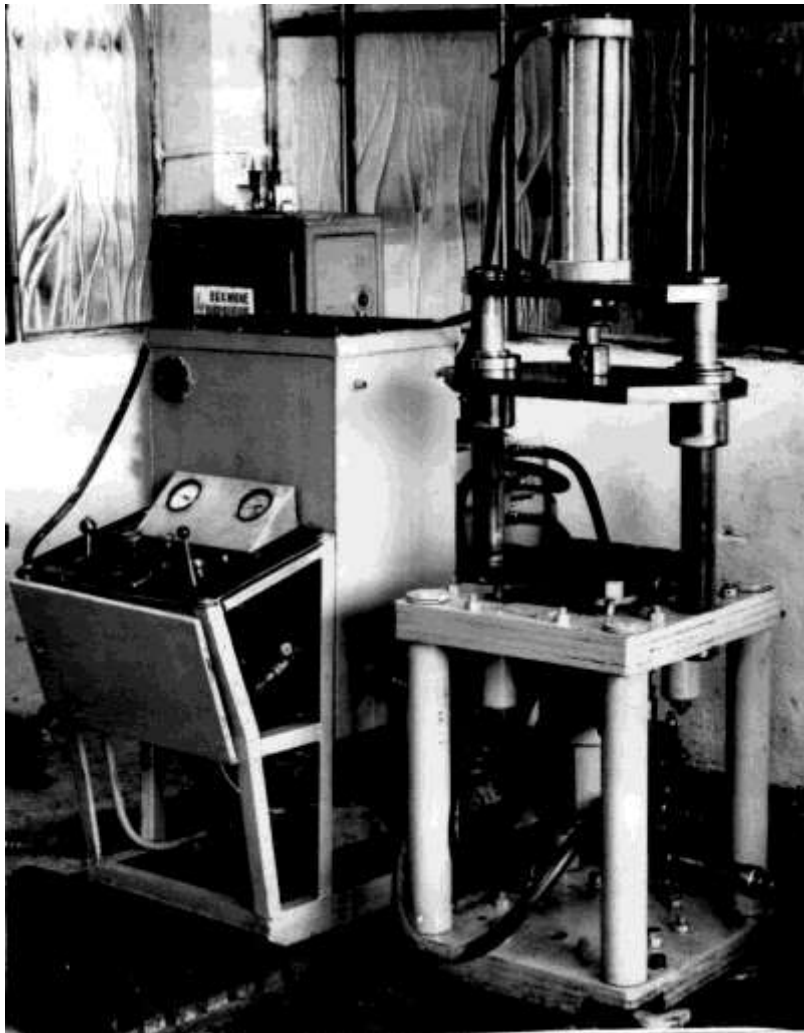


Рисунок 5.12 – Дослідний зразок вібропреса ІВПМ-10

За результатами випробувань для виробничих потреб БЗВ [240] розроблена модель вібропреса ІВПМ-20С/4КФ200. В основу даної моделі покладені уніфіковані вузли ГП ІВПМ-20 та базові конструктивні елементи серійного (літера С) преса 4КФ200.

Також на базі конструктивних елементів серійного преса ДБ2432А для потреб підприємства п/с Р-6664 розроблена модель вібропреса ІВПМ-25С /ДВ2432А з робочим зусиллям 250 кН [243].

Паралельно з роботами [240, 241] в період 1976-1978 рр. проводилися дослідження зі створення вібропресів моделей ІВПМ-16 (із зусиллям 160 кН) та ІВПМ-32 (із зусиллям 320 кН) відповідно для Всесоюзного інституту легких сплавів (ВІЛС, м. Москва) та БЗПМ [147]. Участь автора в даних дослідженнях відзначена у ряді публікацій [21, 24, 32].

Існуючі в даний час розробки (табл. 8.1) вібропресів моделей ІВПМ за величиною створюваного на робочій ланці зусилля (відповідно 50, 100, 160, 200, 250 та 320 кН) задовольняють потребам випуску заготовок типових виробів (рис. 5.13) з різних порошкових матеріалів способом ВУП. Тому в останні роки особлива увага надавалася дослідженням, спрямованим на підвищення ефективності використання ІВПМ, зокрема,

розробці заходів щодо механізації та автоматизації робочих процесів формоутворення заготовок.



Рисунок 5.13 – Вироби з порошкових матеріалів, відпресовані на ІВПМ



## Практичне заняття № 6

### НАПІВАВТОМАТИЧНІ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ІВПМ

Формоутворення є проміжним етапом технологічного процесу виробництва виробів з порошкових матеріалів (див. рис. 2.1), який можна розглядати як сукупність мінімум трьох основних операцій: дозованого завантаження порошкового матеріалу в прес-форму, віброударного пресування та витягання заготовки з прес-форми. Додатково в процесі формоутворення можуть бути передбачені операції змащення стінок прес-форми, розрівнювання порошкового матеріалу тощо.

Прес-форма на робочому столі ІВПМ може займати стаціонарне положення або встановлюватися тільки для виконання операції ВУП. Положення прес-форми визначається положенням її матриці, оскільки пуансон жорстко кріпиться на рухомій поперечині ІВПМ.

Для успішного вирішення задач автоматизації виробничої ділянки для реалізації технологічних процесів формоутворення заготовок виробів з непластичних порошкових матеріалів необхідно забезпечити певну послідовність виконання їх основних операцій. Для стаціонарного встановлення прес-форми необхідна послідовність та взаємозв'язок технологічних операцій реально можуть бути забезпечені за допомогою робота-маніпулятора, проте продуктивність процесу формоутворення в цьому випадку значно нижча, ніж в разі періодичної (рис. 6.1) подачі прес-форми в робочу зону ІВПМ (позиція 3), коли операції змащення прес-форми (5), дозованого завантаження (1), розрівнювання порошкового матеріалу (2) та витягання заготовки (5) виконуються поза робочою зоною на відповідних позиціях, де встановлено необхідне обладнання. Потрібна послідовність та взаємозв'язок виконуваних на такій ділянці операцій досягається за допомогою пристроїв транспортування, конструктивне виконання яких залежить від конструкції станини ІВПМ ("П"- або "С-подібна"). Базовою поверхнею для транспортування може служити основа матриці, в якій передбачені отвори під штифти для забезпечення фіксації на відповідних операціях. Умовна продуктивність ділянки забезпечується заданою послідовністю виконання операцій і визначається часом операції, що лімітує наприклад, операції ВУП.

Структурна схема ділянки з послідовним коловим післяопераційним переміщенням матриці (рис. 6.1, б) реалізована у вигляді карусельної п'ятипозиційної напівавтоматичної установки, створеної на базі ІВПМ-10 з С-подібною зварною станиною і призначена для виробництва заготовок виробів з вогнетривких порошкових матеріалів [156, 244] на Городницькому фарфоровому заводі.

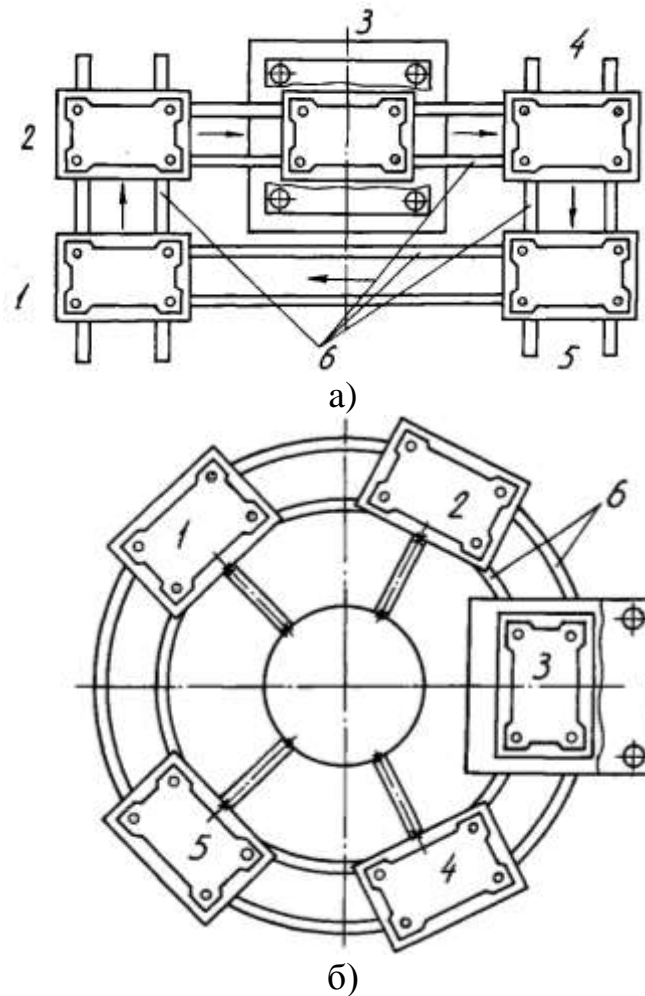


Рисунок 6.1 – Схеми послідовного виконання операцій формоутворення при періодичній подачі прес-форми в робочу зону

На рисунку 6.2 показаний вигляд установки зверху. Вона містить: дозуючий завантажувальний автоматичний пристрій 1 з циферблатним показником маси навішування та механізмом скидання; пристрій розрівнювання 2 з пневмоприводом каретки; вібропрес 3 (ІВПМ-10) з індивідуальною насосною станцією; пристрій 4 для знімання з пневмоприводом; пристрій змащення 5 стінок матриці прес-форми з поролоновими валиками та резервуаром для мастила.

Вищевказані пристрої, за винятком ІВПМ, монтуються на загальній зварній рамі 6, що облицьована звукопоглинальним пластиком. ІВПМ встановлюється на віброізолюваному фундаменті і не має жорстких зв'язків з рамою установки. Матриці прес-форм встановлюються і фіксуються в гніздах круглого карусельного столу 7, що періодично повертається на центральному валу 8 установки на  $72^\circ$  за допомогою мальтійського механізму 10 з трироликівим поводком 11. На валу повідка 11 на обгінній муфті посаджена шестерня (на схемі не показана), з якою в зачеплення входить зубчата рейка, закріплена на штоку основного пневмоциліндра 9. Робочий хід останнього забезпечує переміщення матриць прес-форми з однієї позиції до іншої, тоді як холостий хід

пневмоциліндра відбувається під час здійснення технологічних операцій. Керування послідовністю виконання операцій здійснюється за допомогою кінцевих вимикачів привідних електродвигунів та перемикання електромагнітів золотникових розподільників гідро- і пневмосистем. Реалізується керування таким чином. Орієнтування столу з прес-формами у момент завершення його повороту на кут  $72^\circ$  в заданому положенні відносно робочих позицій установки забезпечує фіксуючий пристрій з пневмоприводом. В разі його спрацьовування перемикаються відповідні розподільники приводів на здійснення заданих операцій. Перемикання розподільників в початкове положення відбувається автоматично у момент завершення операції на кожній позиції, а подальше повторення циклу здійснюється після завершення найтривалішої операції, якою, звичайно, є ВУП та перемикання розподільника головного пневмоциліндра у позицію для здійснення робочого ходу.

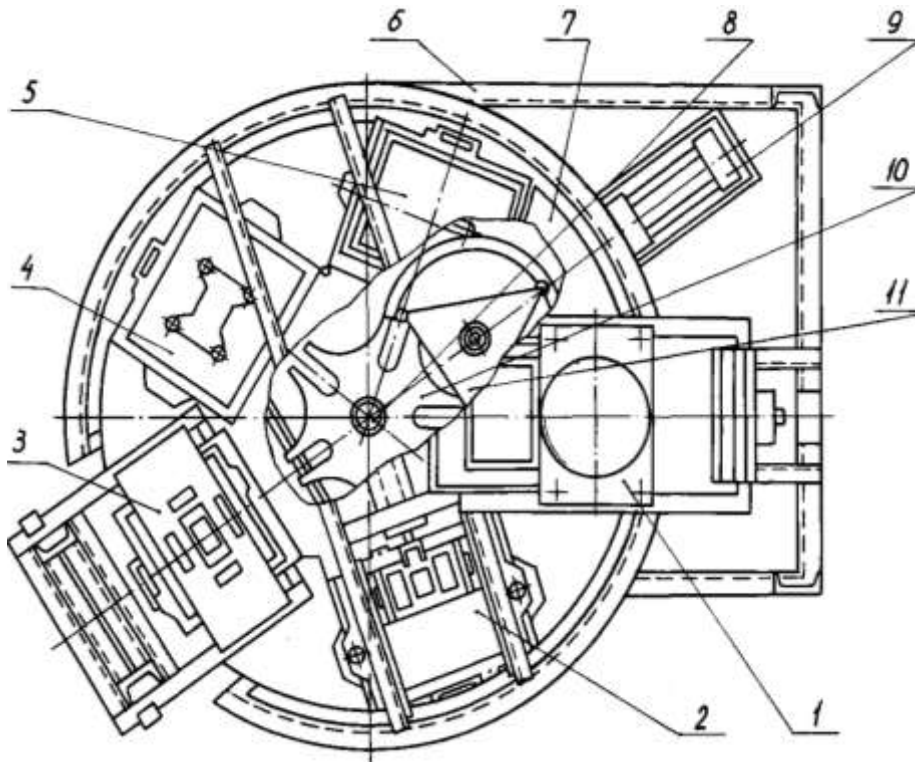


Рисунок 6.2 – Загальний вигляд зверху напівавтоматичної пятипозиційної карусельної установки для виробництва плит на Городницькому фарфоровому заводі

ІВПМ-10, на базі якого розроблена напівавтоматична карусельна установка додатково оснащений (рис. 6.3) гідроприводом 1 установочних переміщень робочого столу 2 [37], що забезпечує витягання з гнізда карусельного столу матриці 3 прес-форми і встановлення її на робочому столі перед початком операції ВУП, а також створює під нижнім торцем двоступінчастого плунжера 4 замкнений об'єм рідини А, що амортизує. Робочий стіл закріплений на рухомому корпусі гідроциліндра 5, що

підпружинений відносно плунжера 4. До напірної магістралі гідроциліндра 5 підключений ГПП.

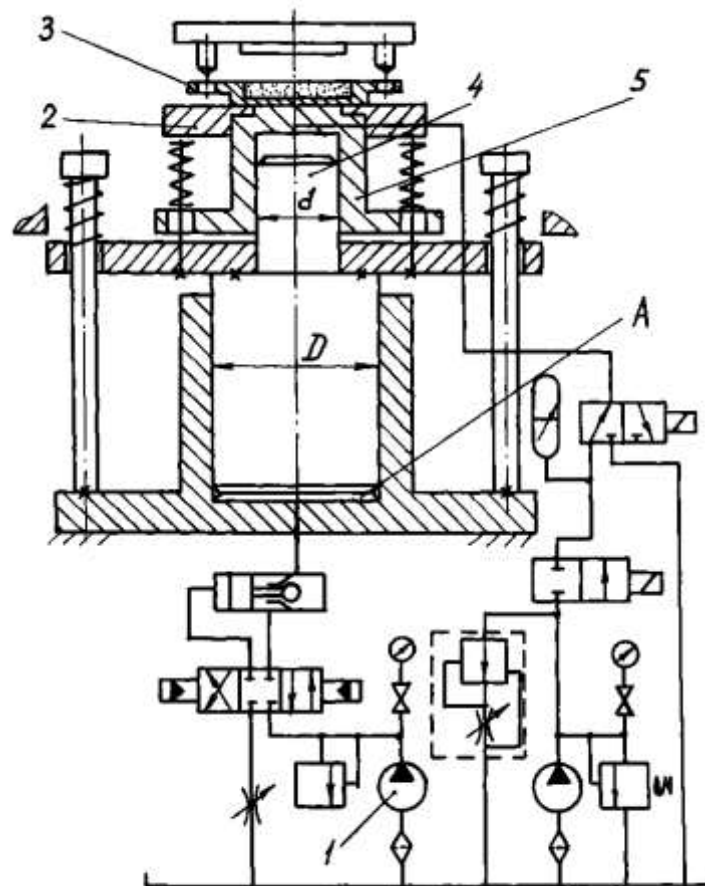


Рисунок 6.3 – Принципова схема ГПП ІВПМ карусельної установки

Фотографія карусельної напіваавтоматичної установки на базі ІВПМ-10 показана на рис. 6.4.

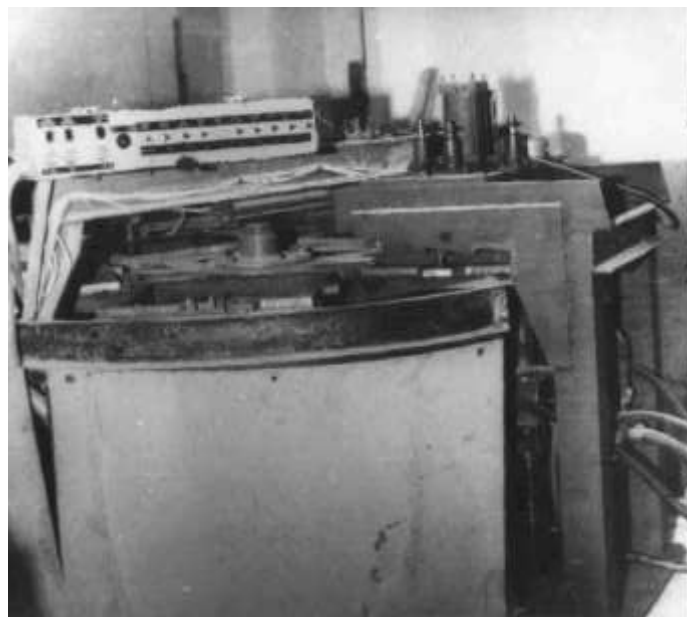


Рисунок 6.4 – Фотографія загального вигляду карусельної установки на базі ІВПМ-10

## Практичне заняття № 7

### СПЕЦІАЛЬНІ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ВІБРОУДАРНОГО ПРЕСУВАННЯ

Для потреб об'єднання "Укрпромфарфор" нами розроблена технічна документація на вібропрес моделі ІВПМ-25 для напівавтоматичної чотирьопозиційної установки аналогічного призначення.

Загальний вигляд ІВПМ-25 із С-подібною зварною станиною чотирьопозиційної напівавтоматичної карусельної установки для ВУП заготовок виробів вогнетривкого оснащення фарфоро-фаянсової промисловості показаний на рис. 7.1. С-подібна конструкція зварної станини 1 забезпечує вільний доступ в робочу зону ІВПМ прес-форми 2 на несучій хрестовині 3 карусельного пристрою транспортування (на схемі не показаний). Робочий стіл 4 ІВПМ має нижній привод і змонтований на плунжері гідроциліндра 5. Вібровозбуджувач 6 та гідроаккумулятор 7 монтуються на перехідній плиті 8, закріпленій на торці гідроциліндра 5 впритул. До основи станини 1 ІВПМ кріпиться віброізований блок бетонного фундаменту, а сам ІВПМ не має жорстких зв'язків з рештою вузлів установки.

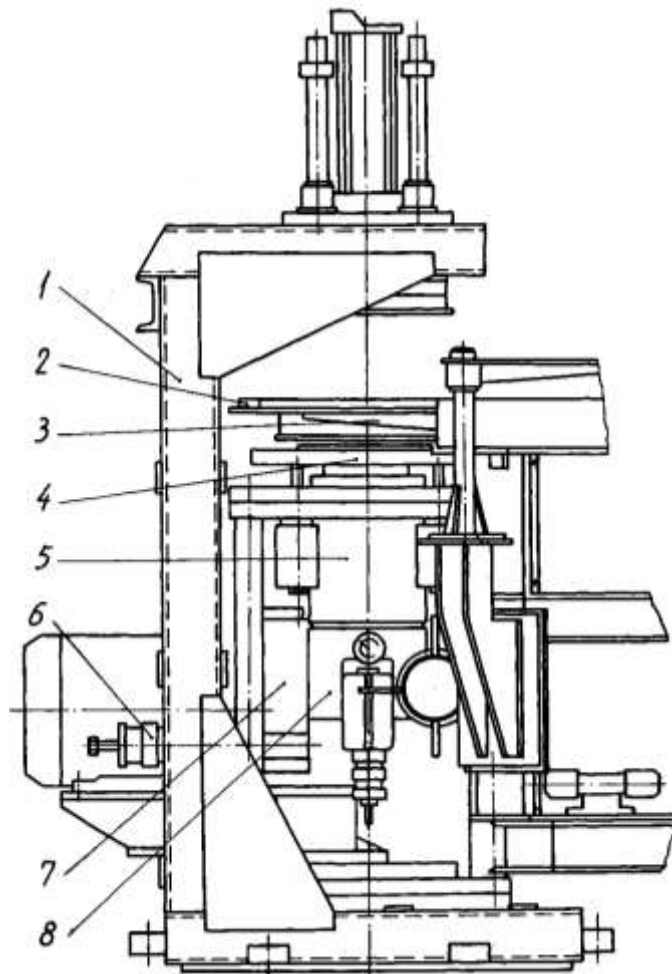


Рисунок 7.1 – Загальний вигляд вібропресу ІВПМ-25 для чотирьопозиційної напівавтоматичної карусельної установки

Технічні характеристики розроблених напівавтоматичних установок на базі ІВПМ-10 та ІВПМ-25 наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Технічна характеристики карусельних напівавтоматичних установок на базі ІВПМ

Основні параметри	На базі ІВПМ-10	На базі ІВПМ-25
1. Число робочих позицій	5	4
2. Габарит оброблюваної заготовки, м	0,4x0,4x0,025	0,5x0,8x0,025
3. Габарит установки без насосної станції, м	3,2x2,5x2,0	4,2x2,64x2,14
4. Продуктивність, шт.\год	10	60
5. Загальна потужність приводу, кВт	9,2	20
6. Робочий тиск в гідросистемі, МПа	12	16
7. Подача насоса основного приводу м <sup>3</sup> /с	0,6·10 <sup>-3</sup>	1,0·10 <sup>-3</sup>
8. Межі регулювання вібрацій стола: частоти, Гц амплітуди, м	5...30 (2...5)·10 <sup>-3</sup>	5...40 (3...6)·10 <sup>-3</sup>
9. Потужність привідного електродвигуна ІВПМ, кВт	7,5	17
10. Максимальна енергія робочого ходу, Дж	350	500
11. Початковий тиск в пневмережі, МПа	0,4	0,4
12. Хід штока допоміжного пневмоциліндра, м	0,12	0,35

Для реалізації способів ВУП [32, 40] на ІВПМ нами розроблені оригінальні конструкції прес-форм [39, 41, 147], в яких враховані особливості конфігурацій пресованих заготовок. Виявлено дві основні тенденції проектування прес-форм: з нероз'ємною та роз'ємною матрицями.

З нероз'ємною матрицею – для заготовок порівняно простої конфігурації, відмітною особливістю яких є паралельність твірних циліндричних бокових (внутрішніх та зовнішніх) поверхонь до осі прикладеного зусилля навантаження. Під час витягання заготовок з подібних прес-форм можливо використання виштовхувачів.

Прес-форми з роз'ємною матрицею призначаються для пресування заготовок виробів складної конфігурації наприклад, типу "Конус" та "Свисток" (див. рис. 5.13). Вони менш ефективні, оскільки не дозволяють механізувати процес витягання заготовок з прес-форми за допомогою виштовхувачів.

На рис. 7.2 та рис. 7.3 показані схеми оригінальних конструкцій прес-форм, які успішно застосовувались в умовах виробництва для пресування заготовок виробу типу "Капсель" та "Конус".

Прес-форма для пресування заготовок виробів типу "Капсель" (див. рис. 7.2) виконана з нероз'ємною матрицею 1, по внутрішній циліндричній поверхні якої переміщуються верхній пуансон 2 та зовнішнє кільце нижнього пуансона 5, зв'язане з виштовхувачами 6. Внутрішня частина нижнього пуансона 4 з'єднана з монтажною плитою 3 обмежувачем 8 і підпружинена пружиною 7. Особливість конструкції даної прес-форми полягає в тому, що спочатку пресування здійснюється по площі  $S_{п2}=0,25\pi(D_2^2-D_1^2)$  зовнішнього кільця нижнього пуансона 5, а потім, після проходження пуансоном 4 відстані до монтажною плити 3, пресування відбувається по площі  $S_{п1}=0,25\pi D_1^2$  внутрішньої частини пуансона 4 [41].

Для знімання заготовки виробу пуансон 2 видаляється з прес-форми і виштовхувачі 6, переміщуючись вгору із зовнішнім кільцем пуансона 5, витягують заготовку з матриці 1. При цьому внутрішня частина пуансона 4 під дією пружини 7 переміщується у вихідне верхнє положення. Після повернення виштовхувача 6 у вихідне нижнє положення прес-форма готова до нового циклу пресування.

Прес-форми такого виконання рекомендуються для порошкових матеріалів, що мають низьку текучість і ущільнюються в напрямку прикладеного зусилля пресування  $P$ , що дозволяє суттєво підвищити рівногустину заготовки при забезпеченні значної висоти пропресування елементів її конструкції [243].

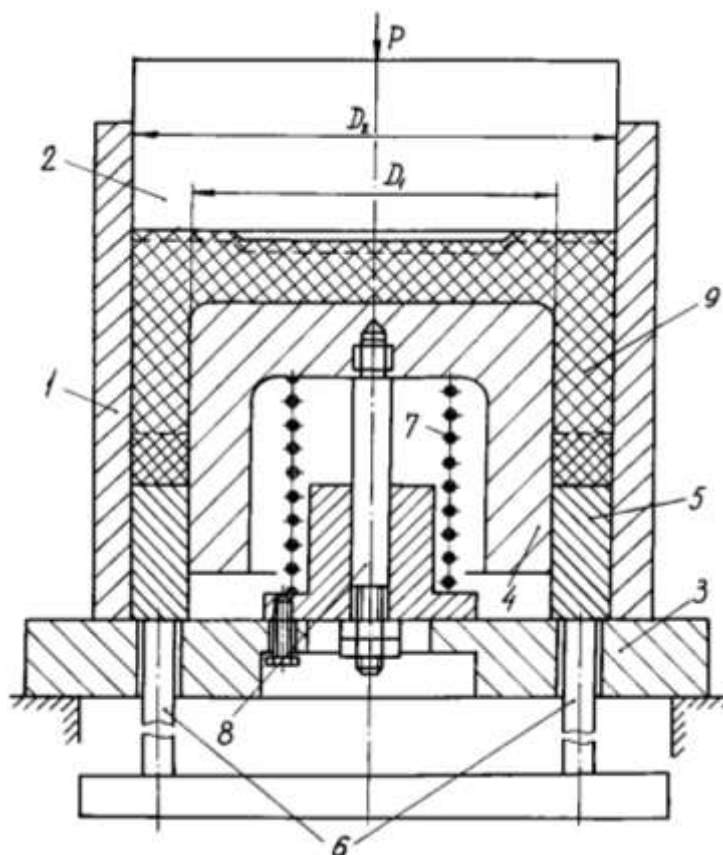


Рисунок 7.2 – Конструктивна схема прес-форми з нероз'ємною матрицею для виробництва заготовок виробів типу „Капсель”

Прес-форма для пресування заготовок виробів типу "Конус" [239] (рис. 7.3) виконана з роз'ємною матрицею у вигляді пелюсткових секцій 6, які кріпляться в розточці нижньої основи 1 разом з осердям у вигляді порожнього конуса 9. Кріплення секцій 6 здійснюється притисочною планкою 2 за допомогою кулачкового механізму 3, а також стягуючим конічним кільцем 4 за допомогою відкидних болтів 5. Зусилля пресування на верхній пуансон 7 передається штирями 8, які запресовані в плиту верхньої основи 10, жорстко зв'язану з рухомою поперечиною ІВПМ. Кріплення конуса 9 в нижній основі 1 забезпечує клин 12, який також використовується для витягання порожнього конуса 9 з прес-форми при його фіксації відносно верхньої основи 10. Після витягання конуса 9 розбираються секції 6 і здійснюється знімання заготовки 11.

Прес-форми з роз'ємною матрицею призначені для формоутворення заготовок складної конфігурації і великих габаритів, тому в їх проектуванні особлива увага приділяється технологічності конструкції в процесі експлуатації, яка повинна просто розбиратися і складатися, бути достатньо легкою, міцною, жорсткою, з шорсткістю робочих поверхонь не більше  $Ra=0,32$  мкм [147].

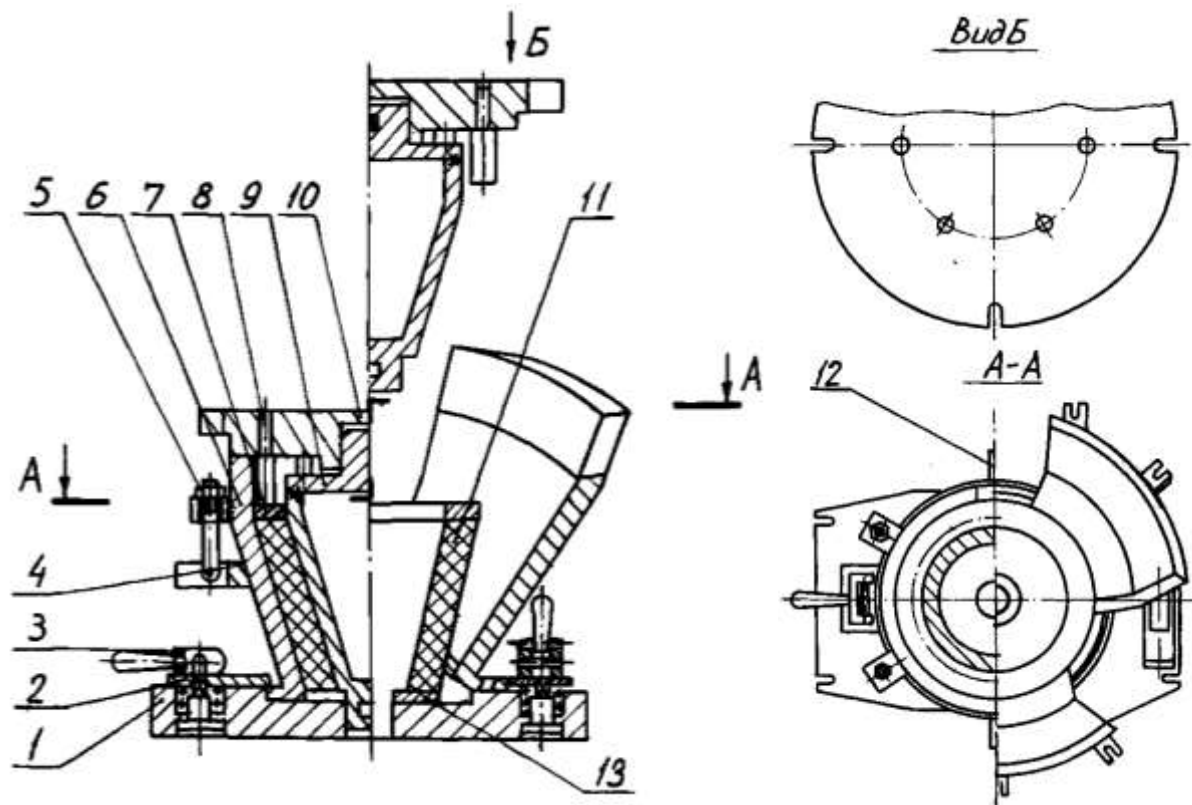


Рисунок 7.3 – Конструктивна схема прес-форми з роз'ємною матрицею для пресування заготовок виробів типу „Конус”



## Практичне заняття № 8

### СИСТЕМА ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ІВПМ

Безпосередня участь робітників (операторів, наладчиків) в обслуговуванні ІВПМ пов'язана з певними труднощами, а в деяких випадках виявляється неможливою. Звичайно, обмеження визначаються високим рівнем шуму і вібрацій, наявністю у складі порошкового матеріалу токсичних або радіоактивних компонентів, необхідністю реалізації процесу формоутворення у вакуумі або в середовищі інертного газу. Для усунення вказаних труднощів здійснюються додаткові, часто дорогі заходи, що ускладнює широке впровадження нових прогресивних способів ВУП на ІВПМ.

Для вирішення описаної проблеми нами розроблена система дистанційного програмного керування ІВПМ, яка забезпечує його автоматичне переналагодження на роботу в розрахунковому режимі ВУП встановлюваному за заданими параметрами заготовки та її порошкового матеріалу.

Запропонована система, оснащена регуляторами статичного притискання, інерційного вантажу, частоти і амплітуди вібрацій, елементами корекції параметрів вібрацій, що обчислені за заданими параметрами заготовки та її матеріалу, забезпечує дистанційне програмоване керування ІВПМ.

Крім того, в системі передбачена можливість автоматичного переналагодження ІВПМ.

На рис. 8.1 показана комбінована блок-схема системи керування ІВПМ; на рис. 8.2 – схема з'єднання датчика інерційного вантажу та схеми порівняння з пристроєм керування роботом; на рис. 8.3 – спрощена схема програмовного контролера.

ІВПМ складається зі станини 1 з колонами 2, вібростола 3, пов'язаного з поршнем 4 робочого гідроциліндра 5, рухомої траверси 6 з інерційними вантажами 7 та гідроциліндра статичного притискання 8, шток якого жорстко зв'язаний з рухомою траверсою 6. Порожнини гідроциліндра статичного притискання 8 з'єднані з регулятором статичного притискання 9, а робочий гідроциліндр 5 з віброзбуджувачем 10. Інерційні вантажі 7 встановлені на рухомій траверсі 6 з можливістю їх знімання за допомогою регулятора інерційного вантажу 11.

Регулятор статичного притискання 9 виконаний на базі електрогідравлічного перетворювача 12 ПЭГ-ПМ. Він забезпечує заданий перепад тиску в порожнинах гідроциліндра 8 (і відповідне задане зусилля статичного притискання, пропорційне величині і знаку сигналу керування, що подається з виходу операційного пристрою регулювання рівня тиску 30 віброзбуджувача 10). Датчик кутового положення 31 – десятиоборотний потенціометр типу ПС-3 на крайні контакти якого подається опорна

напруга +5 В і -5 В; операційний підсилювач 32; цифро-аналоговий перетворювач 33 і підсилювач потужності 34.

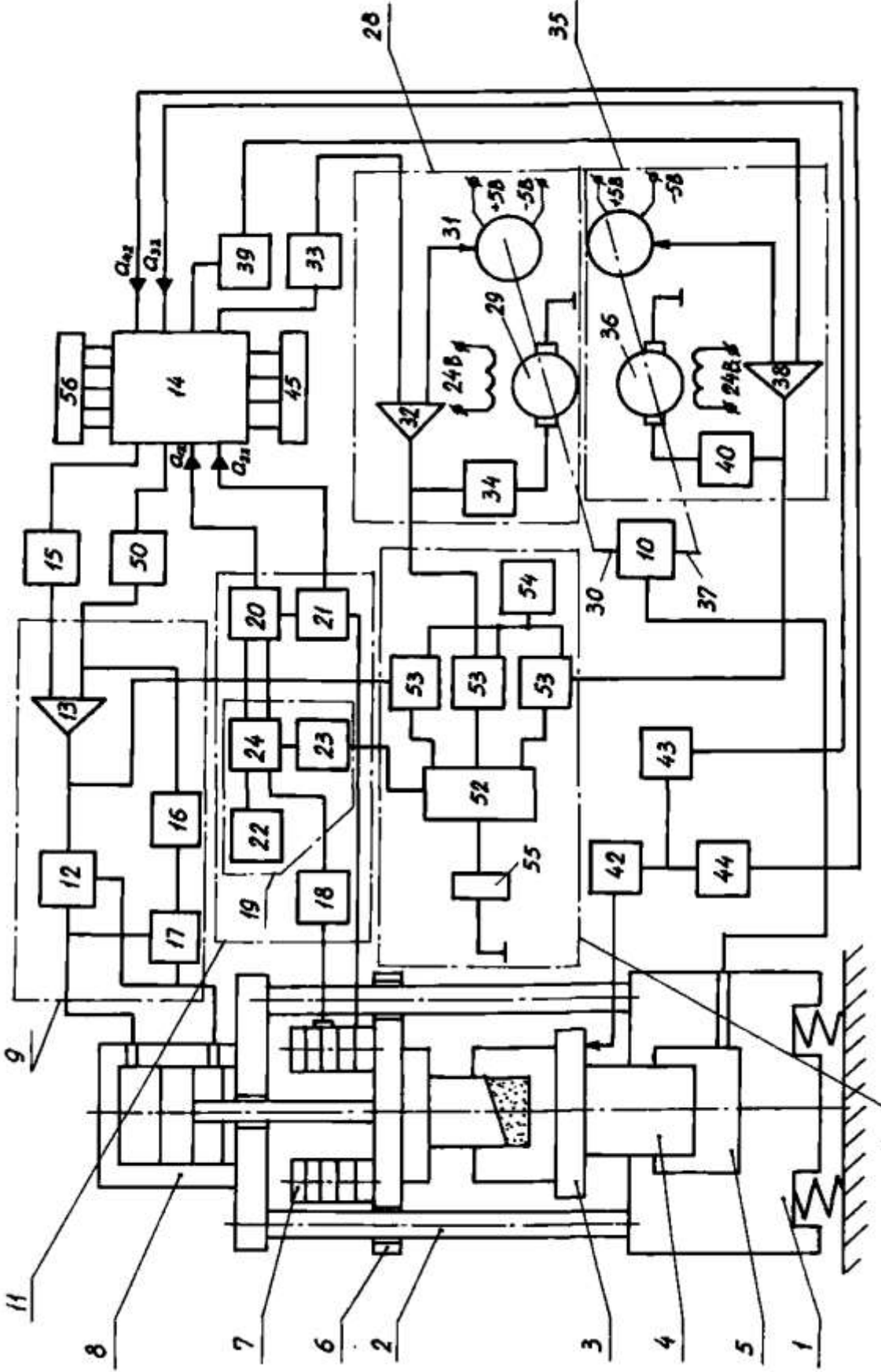


Рисунок 8.1 – Комбінована блок-схема системи програмного керування ІВПН

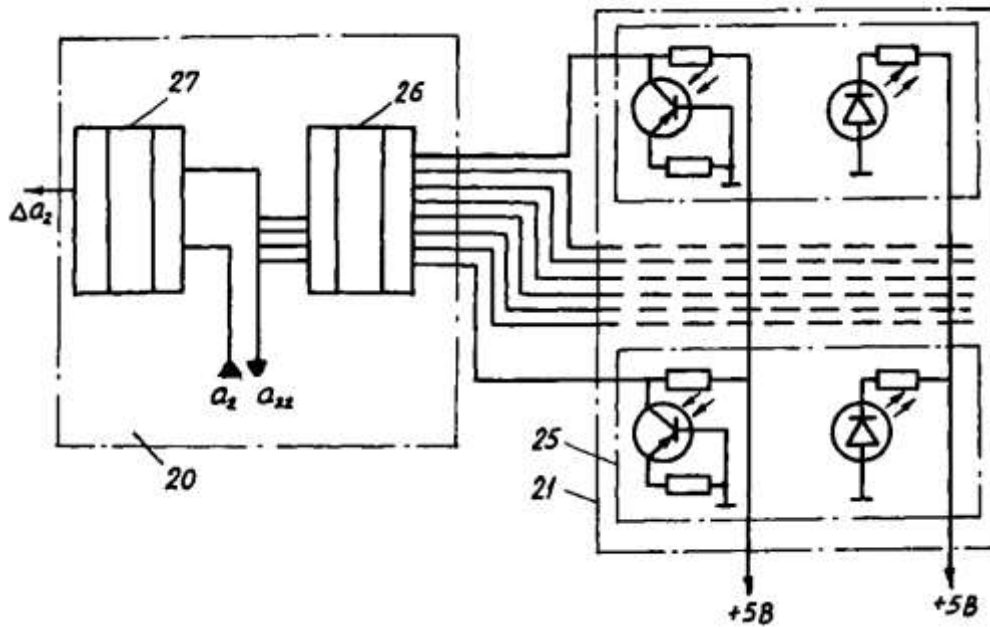


Рисунок 8.2 – Комбінована блок-схема з'єднання датчика інерційного вантажу та порівняння з пристроєм керування роботом

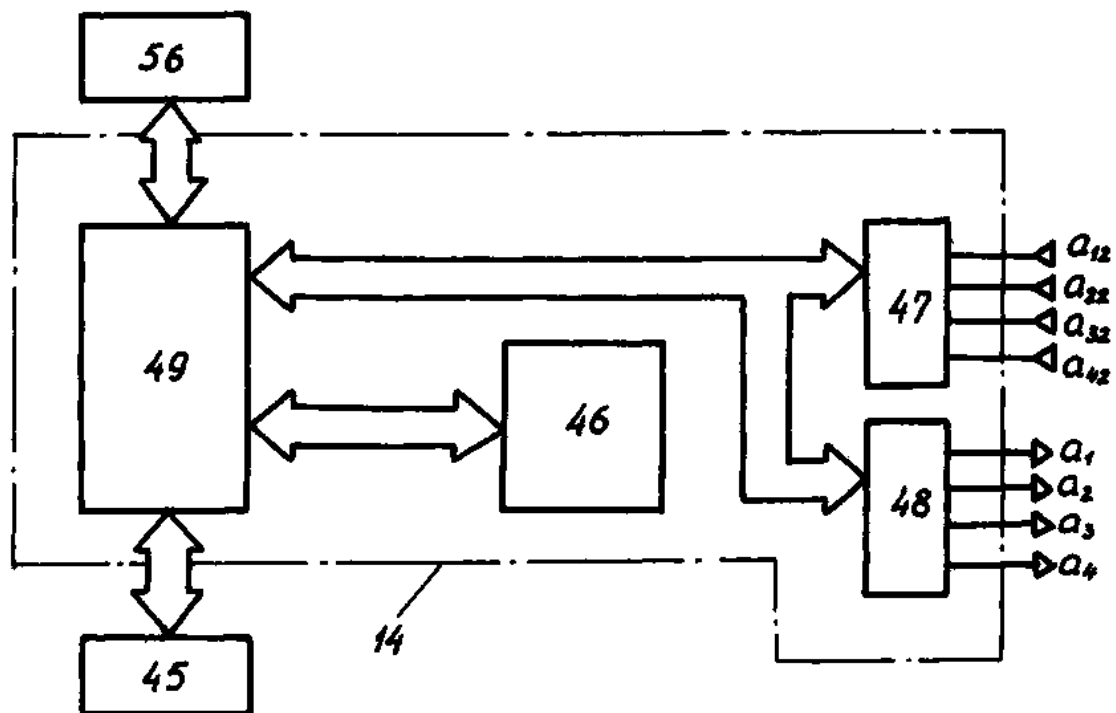


Рисунок 8.3 – Комбінована блок-схема програмованого контролера

Обмотка якоря електродвигуна 29 через послідовно ввімкнений підсилювач потужності 34 з'єднана з виходом операційного підсилювача 32, прямий вхід якого підключений до виходу цифро-аналогового перетворювача 33, а інвертований – до середнього контакту датчика кутового положення 31.

Регулятор частоти вібрацій 35 виконаний за тією ж схемою, що і регулятор амплітуди вібрацій 28 і містить: електродвигун постійного

струму 36, вал якого кінематично пов'язаний з елементом регулювання частоти вібрацій 37 генератора імпульсів тиску 10; операційний підсилювач 38; цифро-аналоговий перетворювач 39; підсилювач потужності 40 і датчик кутового положення 41.

В якості віброзбуджувача 10 використаний відомий пристрій за А.с. СРСР №1116234, оснащений елементами регулювання рівня тиску і частоти вібрацій. На обмотки збудження електродвигунів 29 і 36 подається постійна напруга 24 В.

Вихід датчика лінійного переміщення 42, в якості якого використаний ємкісний датчик, оснащений рухомим елементом, з'єднаний з входами пристроїв вимірювання амплітуди 43 і частоти 44 вібрацій (електронним частотоміром типу ЧЗ-62 і цифровим вольтметром В4-20).

Програмовний контролер 14 (наприклад, "Електроника К1-20", спрощена схема якого показана на рис. 8.3) оснащений пультом керування і введення даних 45 з вбудованим інтерфейсним пристроєм, блоком пам'яті 46 – на мікросхемах КР 556 РТ5 і К573 РФ1, пристроєм введення та виведенням інформації 47 і 48 – на мікросхемах типу КР560 і ИК55. Пристрій введення інформації 47 містить чотири входи: перший пов'язаний з виходом аналого-цифрового перетворювача 50; другий – з виходом шифратора 26; третій – з виходом пристрою вимірювання амплітуди вібрацій 43; четвертий – з виходом пристрою вимірювання частоти вібрацій 44. Вхід аналого-цифрового перетворювача 50 реалізований на мікросхемі 113ПВ1. Вихід пристрою виведення інформації 48 містить чотири канали. Другий канал пов'язаний з другим входом цифрового компаратора 27, а три інших через послідовно включені цифро-аналогові перетворювачі 15, 33, 39 з'єднані з прямими входами операційних підсилювачів, відповідно, 13, 32, 38.

Система керування ІВПМ містить блок блокувань 51, який оснащений пристроєм логічного підсумовування 52. Пристрій 52 реалізований на мікросхемі К155ЛА5. На його входи подаються сигнали з другого виходу блоку керування 24 і трьох компараторів 53, реалізованих на мікросхемах К554СА2 [Д4]. Блок 51 також містить джерело опорних напруг 54 і реле аварійного від'єднання 55.

Компаратори 53 містять по два входи. Перші з'єднані з виходами операційних підсилювачів, відповідно, 13, 32, 38, а другі – з джерелом опорних напруг 54. Вихід пристрою логічного підсумовування 52 пов'язаний з обмоткою реле аварійного відключення 55, нормальнозамкнені контакти якого ввімкнені послідовно з кнопкою від'єднання силової частини приводу ІВПМ.

Крім того, система програмного керування містить блок індикації 56, в якості якого використаний дисплей ВТА-2000-15, входи якого пов'язані з виходами програмовного контролера 14.

Режим роботи ІВПМ встановлюється зміною зусилля статичного притискання 9, маси інерційного вантажу 11, амплітуди 28 і частоти 35

вібрації, на основі чого здійснюється механічний вплив на заготовку з боку рухомої поперечини 6 (9 та 11) і з боку робочого столу 3 (28 та 35). З пульта керування 45 в мікропроцесор 49 вводяться дані про параметри заготовки, що визначають її геометрію та фізико-механічні властивості. Дана інформація обробляється згідно із програмою (див. зан. 4), що заздалегідь записана в блоці пам'яті 46. В результаті обчислюються параметри режиму ВУП, які визначають амплітуду і частоту коливань робочого столу ІВПМ, питоме зусилля статичного притискання та масу інерційного вантажу.

Далі отримані значення параметрів ІВПМ, з врахуванням тарувальних співвідношень, використовуються для обчислення значень керуючих сигналів  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  регуляторів 9, 11, 28 та 35. Дані сигнали з мікропроцесора 49 надходять у пристрій виведення 48 програмовного контролера 14, а звідти у вигляді двійкового цифрового коду у цифрово-аналогові перетворювачі 15, 33, 39 і на вхід схеми порівняння 20.

## Практичне заняття № 9

### СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ПРЕСОВЕ ОБЛАДНАННЯ НА БАЗІ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДУ ІВПМ

За замовленням ВІЛС [260] розроблена технічна документація на гідроімпульсну вібромашину ГІВ-10 (на базі ІВПМ-10), призначену для встановлення в автоматичну лінію з виробництва газотурбінних дисків з жароміцних сплавів. Замовленням передбачено використання ГІВ-10 на позиції віброущільнення в капсулах гранул порошоків жароміцних сплавів перед спіканням. Вібромашина може бути використана також для попереднього ущільнення інших порошкових матеріалів.

Гідроімпульсна вібромашина ГІВ-10 (див. рис. 9.1) змонтована на станині, що складається з основи 1, яка, в свою чергу, спирається на віброізолюваний фундамент 2, сферичної плити 3, з'єднаної з опорною плитою 4. Опорна плита 4 колонами 5 пов'язана з монтажною плитою 6. Бак 7 вібромашини встановлений поряд із нею на тумбі 8 і з'єднується з гідронасосом 9 та вібробуджувачем 23 всмоктувальним патрубком 10 і зливним трубопроводом 11 через крани 12. Привод гідронасоса 9 здійснюється від електродвигуна 13, встановленого за допомогою стакана 14 і тяг 15 на монтажній плиті 6. Вали електродвигуна 13 і гідронасоса 9 з'єднані муфтою. Додатково електродвигун 13 кріпиться до кронштейна 16, встановленого на опорній плиті 4. З розподільною плитою 17 гідронасос 9 зв'язаний напірним патрубком 18. Плита розподільника 17 разом з гідроциліндром 19, пружинами повернення 20 та плитою 21 складають вузол гідроциліндра з механізмом повернення. Передача вібраційного впливу на стіл з капсулою, що знаходиться у вакуумній камері, здійснюється через трубу 22. До розподільної плити 17 кріпиться вібробуджувач 23, який може мати одне з двох конструктивних виконань. Регулятори частоти та тиску (амплітуди) вібробуджувача 23 оснащені електромеханічними приводами зміни частоти – 24 та тиску – 25. Привод регулятора тиску 25 кріпиться на кронштейні 16, а регулятора частоти на вібробуджувачі 23.

До плити 17 приєднана перехідна плита 26, на якій встановлені: регулятор потоку 27 (ЭПГ55-24); датчик тиску 28 (ДТ-250); гідромеханічний датчик частоти 29 (перетворювач). До тильної сторони перехідної плити 26 кріпиться зливний трубопровід.

На нижній площині розподільної плити 17 встановлений розподільник 30 (P202AJ4512A220-50) з електрогідравлічним керуванням, а на задній площині – кріпиться запобіжний клапан 20-200-2 ГОСТ 21248-75 (на рис. 9.1 не показаний). Гідравлічний датчик амплітуди 31 закріплений на монтажній плиті 6 і своїм рухомим елементом взаємодіє з плитою 21. Керування гідроімпульсною вібромашиною може здійснюватись з пультів керування: стаціонарного 32, встановленого на

тумбі 8 та дистанційного, який разом з шафою керування входить до комплексу вібромашини.

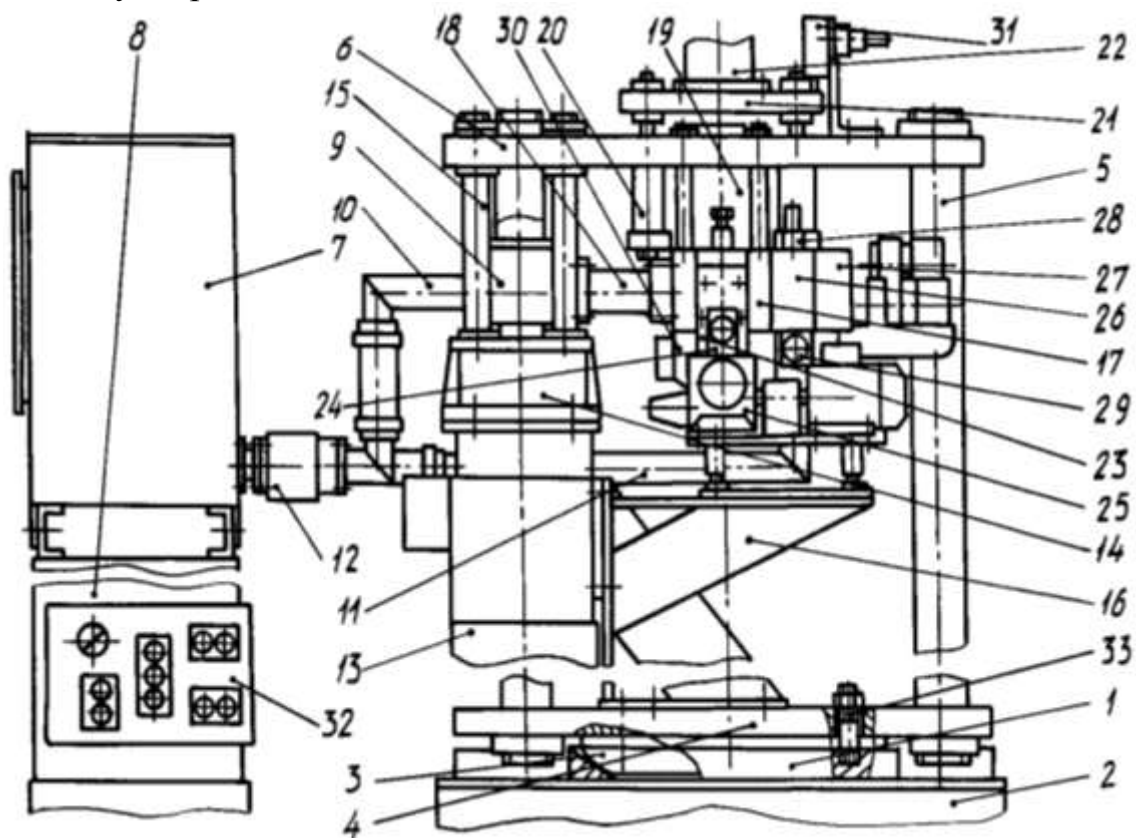


Рисунок 9.1 – Загальний вигляд вібромашини ГІВ-10 для ущільнення в капсулах гранул жароміцних сплавів

Співвісність осей вібромашини та вібростола, що знаходиться у вакуумній камері, регулюється гайками різьбового з'єднання 33 при повороті сферичної плити 3 (жорстко з'єднана з опорною плитою 4) відносно основи 1. Після виставлення осі вібромашини вона кріпиться на фундаменті 2 анкерними шпильками.

Контроль параметрів вібрації і тиску відкриття вібробудувача здійснюється за допомогою датчиків 28, 29, 31 та індикаторного блоку, який виконаний знімним і може встановлюватися як на стаціонарному, так і на дистанційному пультах керування. На стаціонарному пультах індикаторний блок кріпиться на період пуско-налагоджувальних і ремонтних робіт, а в процесі експлуатації він знаходиться на пультах дистанційного керування.

Принципова гідравлічна схема гідроімпульсної вібромашини ГІВ-10 показана на рис. 9.2.

Гідросистема складається з бака Б, сітчастого фільтра Ф (вбудованого в бак і включеного у всмоктувальну гідролінію), який з'єднаний через кран ВН1 з гідронасосом Н. Гідронасос Н через напірну гідролінію (напірний патрубок 18, див. рис. 9.2) з'єднується з напірними гідролініями зворотного клапана КО, запобіжного клапана КП,

розподільника Р, регулятора потоку РП, вібробудувача А3 та виконавчого гідроциліндра з механізмом повернення А4. До напірної гідролінії підключені також реостатний датчик тиску А1 відкриття вібробудувача та гідромеханічний датчик частоти А2 (перетворювач). Зливні гідролінії перерахованих пристроїв з'єднані між собою і за допомогою крана ВН2 – з баком Б.

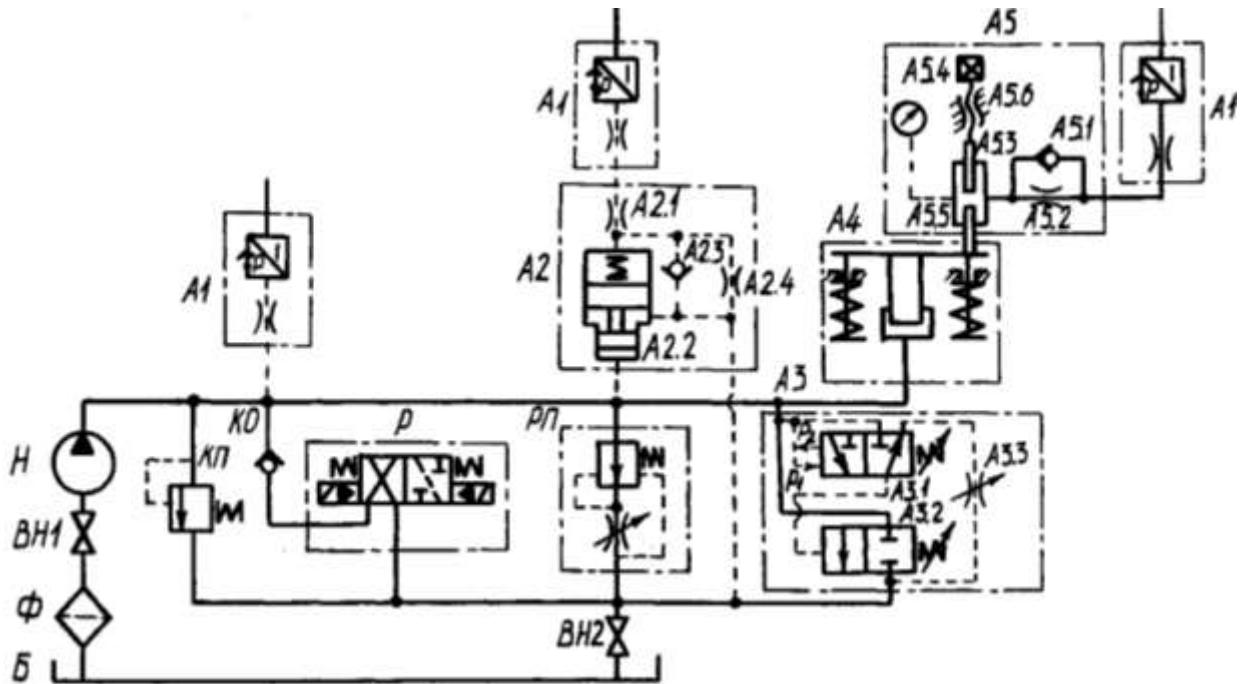


Рисунок 9.2 – Принципова гідросхема ГВ-10

Гідромеханічний датчик амплітуди А5 механічно зв'язаний з гідроциліндром А4 вібромашини і має окрему замкнену гідросистему, що включає: резервуар А5.3, в який вбудовані плунжер А5.5, жорстко з'єднаний з плитою гідроциліндра та з механізмом повернення; гвинт А5.6 попереднього натягу; зворотний клапан А5.1; дросель А5.2. Зворотний клапан А5.1 та дросель А5.2, приєднані до реостатного датчика тиску А1. Попереднє підвищення тиску в порожнині резервуара А5.3 контролюється манометром А5.4.

Гідромеханічний датчик частоти проходження імпульсів тиску А2 включає демультіплікатор А2.2, контур високого тиску якого підключений до напірної гідролінії, а контур низького тиску (пружинна порожнина над поршнем низького тиску) – з'єднується з реостатним датчиком тиску А1. Вібробудувач А3 складається з модуля пілота А3.1 та основного каскаду А3.2. Зливні гідролінії модуля пілота А3.1 та основного каскаду А3.2 між собою з'єднані через регульований дросель А3.3.

В результаті перемикання розподільника Р1 в закриті положення, тиск в гідросистемі підвищується. Після подолання сил стаціонарного опору, плунжер гідроциліндра А4 приходить в рух і переміщує вібростіл з



капсулою (на схемі не показаний). При величині тиску  $p_1$  модуль пілота А3.1 перемикається, що викликає спрацьовування основного каскаду А3.2. Напірна гідролінія та порожнина гідроциліндра А4 з'єднуються зі зливною гідролінією і виконавчий гідроциліндр вібромашини під дією сил тяжіння та сили пружності елементів повернення переміщується в нижнє положення.

При зменшенні тиску в гідросистемі до величини  $p_2$  модуль пілота А3.1 та основний каскад вібробуджувача А3.2 перемикаються у вихідне положення після чого цикл повторюється.

Принцип дії гідромеханічного датчика частоти полягає у перетворенні пульсуючого тиску в гідросистемі (контур високого тиску) в пульсуючий потік рідини через постійний дросель А2.1 розрахункового перерізу, перепад тиску на якому є функцією частоти проходження імпульсів тиску. Дросель А2.1 разом з дроселем, вбудованим в датчик тиску А1, згладжують пульсації тиску, що надходять у вхідний канал датчика А1, де тиск рідини перетворюється в електричний сигнал, що фіксується відповідним вимірювальним приладом індикаторного блоку [245].

Дія гідромеханічного датчика амплітуди А5 основана на стисненні робочої рідини в об'ємі резервуара 5.3 при переміщенні в ньому плунжера А5.5. Через зворотний клапан А5.1 і дросель А5.2 рідина під тиском, що дорівнює тиску в резервуарі, надходить до чутливого елемента датчика А1, в якому тиск, пропорційний амплітуді, перетворюється в електричний сигнал, що реєструється індикаторним блоком. Завдяки наявності дроселя А5.2 при зворотному русі плунжера А5.5, тиск рідини в порожнині чутливого елемента датчика А1 змінюється несуттєво.

Конструктивне виконання вібробуджувача А3 [46] (рис. 9.3) типа А1К1-БК1 передбачає фасочну герметизацію його запірних елементів 4 (II-й каскад) та 2 (I-й каскад), при якій забезпечується їх висока швидкодія.

Оригінальність конструктивного рішення вібробуджувача полягає в тому, що перепад тиску на дроселі 1, що виникає у момент відкриття запірного елемента 2 для тиску  $p_1$ , забезпечує відкриття запірного елемента 4 за рахунок створення на його штовхачі 3 осьового зусилля, яке перевищує сумарне зусилля пружини 5 та зусилля, створюваного тиском в гідросистемі по кільцевому пояску "К". Для забезпечення стійкої роботи вібробуджувача А3 осьове зусилля на штовхачі 3 для тиску  $p_2$  повинно бути меншим, ніж зусилля, що притискає до сідла запірний елемент 4. Для регулювання амплітуди і частоти вібрацій у вібробуджувачах такого типу служать, відповідно, пружина 7 і дросель 6, параметри яких (зусилля і площа прохідного перерізу) змінюються дистанційно за допомогою електромеханічних приводів (на схемі не показані). Фотографія вібробуджувача ГІВ-10 показана на рис. 9.4, а його технічні дані наведені в табл. 9.1.

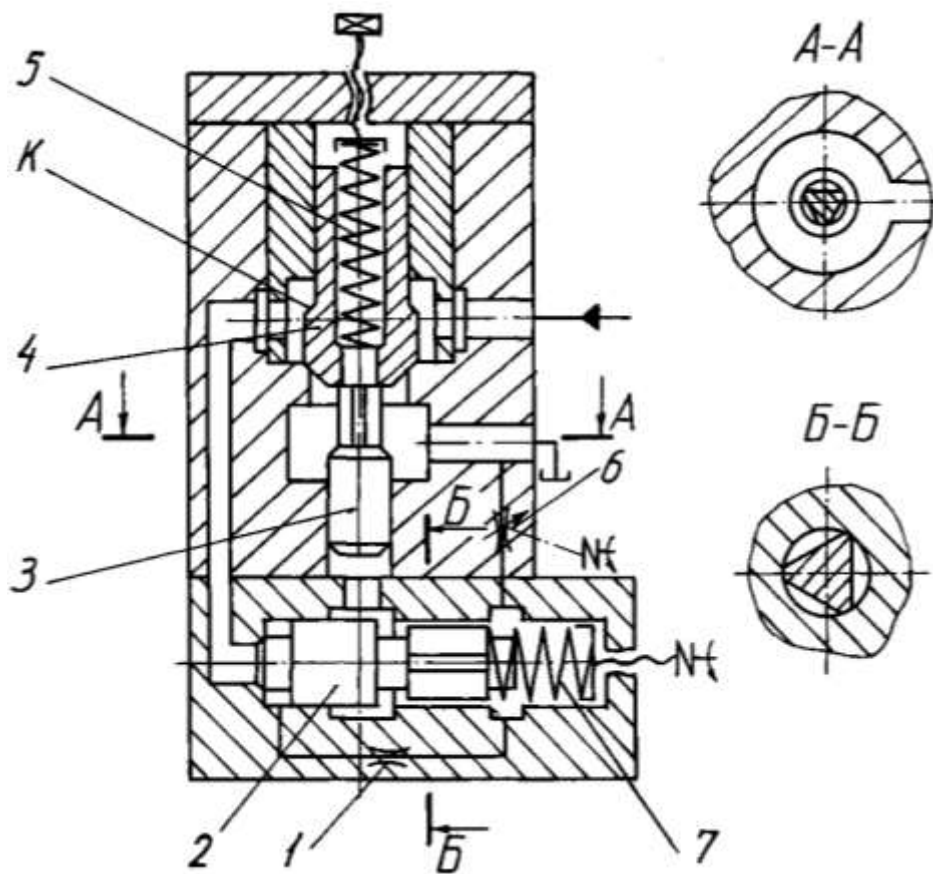


Рисунок 9.3 – Конструктивна схема вібробуджувача типу А1К1-БК1

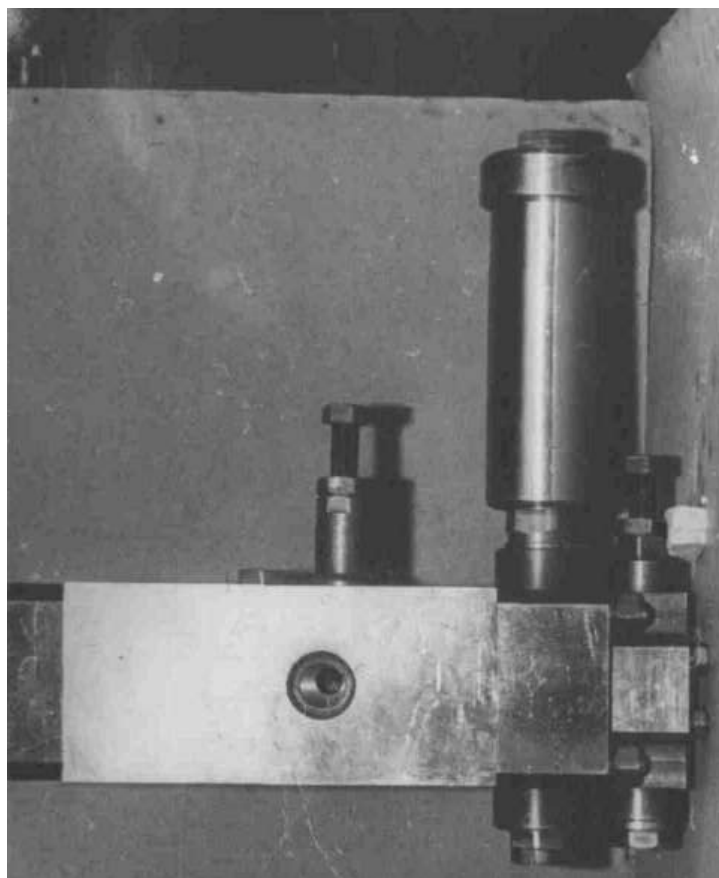


Рисунок 9.4 – Фотографія вібробуджувача типу А1К1-БК1

Таблиця 9.1 – Технічні дані гідроімпульсної вібромашини ГВ-10

Найменування та розмірність параметрів	Значення параметрів, варіанти виконання
1. Параметри вібрацій при дистанційному керуванні: частота, Гц амплітуда, мм	20...100 0,2...2
2. Насосна станція: подача насоса, м <sup>3</sup> /с робочий тиск, МПа	2,3 · 10 <sup>-3</sup> 10
3. Потужність гідродвигуна, кВт	18,5
4. Маса машини з рухомим блоком фундаменту, кг	14570
5. Тип віброізолятора	Гумогравієва подушка
6. Орієнтовний ресурс до капітального ремонту, мотогодини	1500
8. Максимальна маса робочої ланки, кг	2000

На замовлення Івано-Франківського заводу "Автоливмаш" [241] розроблена вібропресова установка на базі ІВПМ (рис. 9.5) для ущільнення формувальних сумішей. В якості віброзбуджувача „на виході” використаний кульковий вібратор оригінальної конструкції [26] (рис. 9.6), вбудований в нижній привід робочого столу 3, що закріплений на корпусі гідроциліндра 2. Кульковий запірний елемент 4 перекриває доступ робочій рідині з напірної магістралі і порожнини А через осьовий отвір С в нерухомому плунжері 1, змонтованому на нижній поперечині станини, на злив. Величина вільного ходу робочого столу 3 в верх при підвищенні тиску в порожнині А і стисненні пружин 5 визначається зазором Д між кулькою 4 і штовхачем 6, пружний елемент 7 якого закріплений на корпусі гідроциліндра 2. У момент відривання кульки 4 від сідла відкривається прохід робочій рідині з порожнини А на злив, що забезпечує падіння тиску в гідросистемі практично до нуля [143]. З поверненням робочого столу 3 з кулькою 4 у вихідне положення і посадкою останньої на сідло починається повторне збільшення тиску.

Фотографія загального вигляду дослідного зразка вібропресової установки (ВПУ) вантажопідйомністю 15 кН, виготовленої на "Автоливмаші", показана на рис. 9.7. В процесі випробувань відзначена надійна робота вузлів установки, а форми з піщано-глинистих сумішей, що відпресували на ній, мали якісну поверхню з твердістю 80...85 умовних одиниць [241]. Істотними перевагами розробленої установки у порівнянні зі звичайними пневматичними установками є значне збільшення вантажопідйомності і зниження металоємності (табл. 9.2).

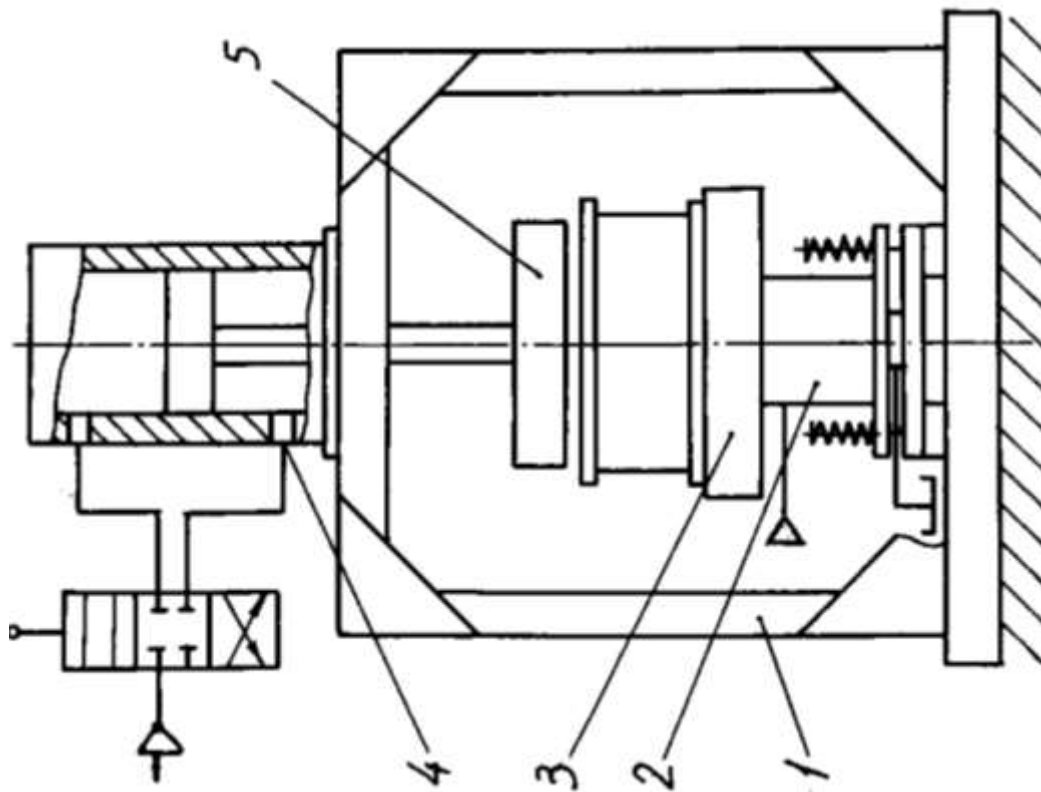


Рисунок 9.5 – Вібропресова установка для ущільнення  
формувальних сумішей

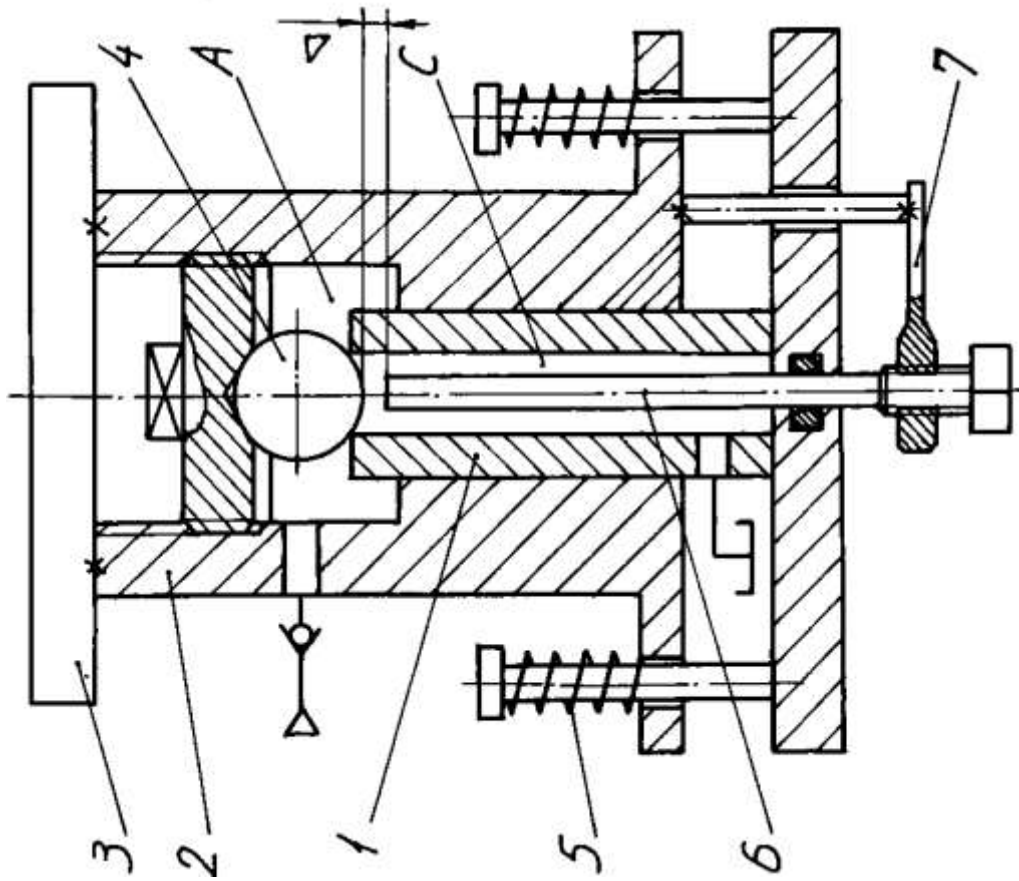


Рисунок 9.6 – Конструктивна схема вбудованого  
кульового вібробуджувача „на виході”

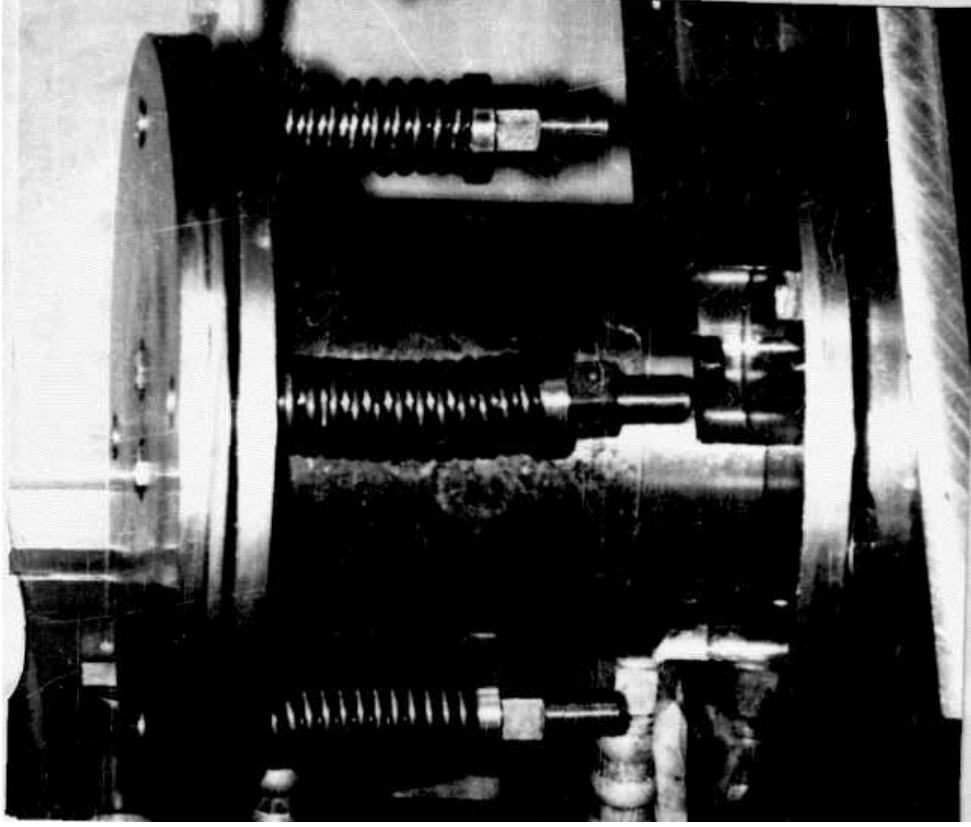
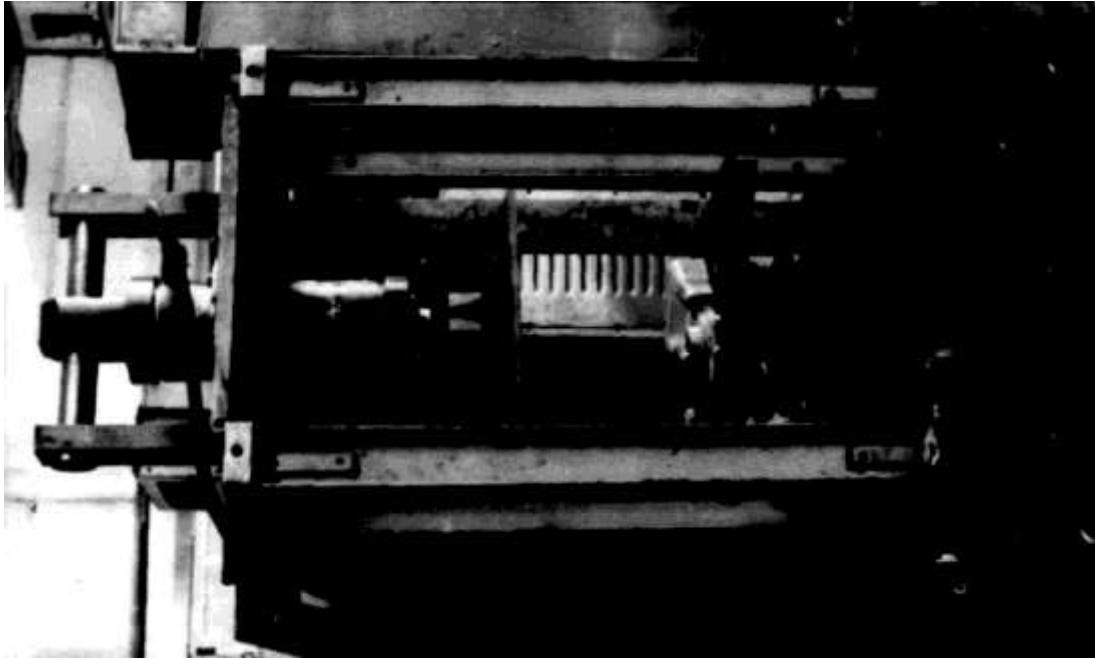


Рисунок 9.7 – Загальний вигляд дослідного зразка вібропресової установки вантажопідйомністю 15 кН

Таблиця 9.2 – Технічна характеристика вібропресової установки

Найменування та розмірність параметрів	Значення параметрів, варіанти виконання
1. Габарити опок, м: в плані по висоті	0,4×0,5 0,22×0,25
2. Вантажопідйомність, кН	15
3. Параметри вібрацій: частота, Гц амплітуда, мм	3...35 0,8...10
4. Насосна станція: подача насоса, м <sup>3</sup> робочий тиск, МПа	1,6·10 <sup>-3</sup> 10
5. Габарит обладнання*, м	1,0×0,8×1,8
6. Маса установки*, кг	350

Примітка. Значення параметрів вказані без врахування значень відповідних параметрів насосної станції.

Розширення технологічних можливостей та підвищення ефективності обладнання для ущільнення формувальних сумішей в результаті збільшення вантажопідйомності, зниження металоемності, забезпечення регулювання параметрів вібраційного навантаження досягнуто в результаті модернізації існуючих пневматичних віброструшувальних столів формувальних машин (ФМ) шляхом оснащення їх ГПП [241].

Модернізація струшувального столу ФМ моделі ІА 225М (рис. 9.8) здійснена з якнайменшими конструктивними змінами струшувального механізму: в ударнику 3 виконана глуха осьова циліндрична розточка, в якій встановлений штовхач 5; утворена при цьому порожнина А з'єднана радіальним каналом з напірною магістраллю гідросистеми та вібробуджувачем 6 “на виході”.

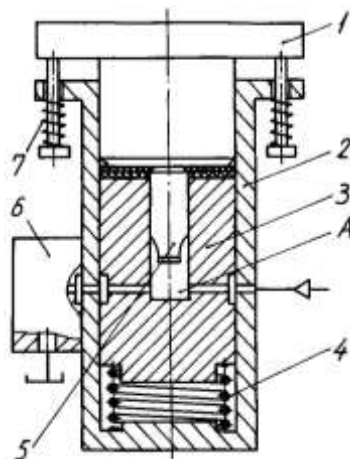


Рисунок 9.8 – Конструктивна схема модернізованої ФМ ІА22 МГ

При подачі робочої рідини в порожнину А штовхач зі столом 1 зміщуються вгору, стискаючи пружини 7, а ударник 3 переміщується вниз, стискаючи пружину 4. У момент спрацьовування вібробудувача 6 порожнина А з'єднується зі зливом і рухомі ланки (стіл 1 та ударник 3) переміщуються назустріч до зіткнення, відтворюючи умови роботи віброструшувального механізму ФМ моделі ІА 225М з пневмоприводом.

ГП модернізованого варіанту ФМ (модель ІА 225МГ) оснащений вібробудувачами двох нових конструкцій, в яких використаний принцип зворотного зв'язку за тиском [46] (див. рис. 5.5) та за переміщенням (див. рис. 9.6) [47]. Розробка даних вібробудувачів дозволила використовувати ФМ не тільки за основним призначенням, але і в якості вібростолу для попереднього ущільнення і розрівнювання формувальних сумішей що швидко твердіють.

На фотографії (рис. 9.9) показаний вигляд дослідного зразка гідравлічного струшувального столу ФМ моделі ІА 225МГ, виготовленого на заводі "Автолившмаш". Зіставлення характеристик ФМ моделей ІА 225МГ та ІА 225М приведено в табл. 9.3.

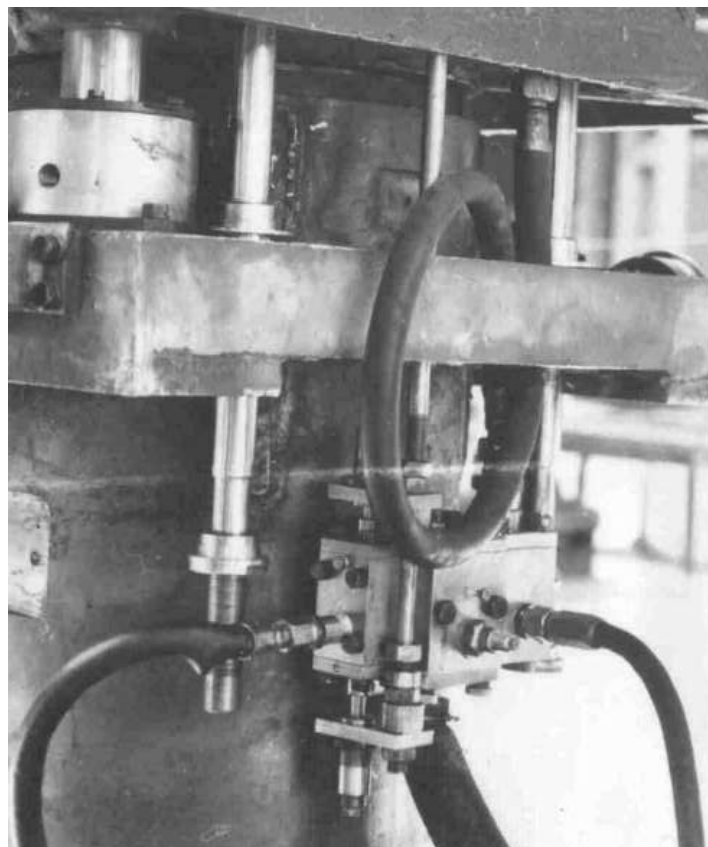


Рисунок 9.9 – Фотографія загального вигляду дослідного зразка ФМ ІА225МГ

Таблиця 9.3 – Технічна характеристика віброструшувального столу ФМ моделі ІА 225МГ

Найменування та розмірність параметрів	Значення параметрів, варіанти виконання
1. Габарити опок, м: в плані по висоті	1,2×1,0 (1,0×0,8)* 0,4 (0,36)
2. Вантажопідйомність, кН	40 (9)
3. Параметри вібрацій: частота, Гц амплітуда, мм	1...20/5...50 (10...12)** 3...20/0,5...25 (15...25)
4. Насосна станція: подача насоса, м <sup>3</sup> /с робочий тиск, МПа	1,6·10 <sup>-3</sup> 10
5. Діаметр струшувального поршня (плунжера), мм	100 (400)
6. Металоємність, кг/кВт	90 (160)

Примітки:

1. Значення параметрів до модернізації вказані в дужках.
2. Чисельнику вказані значення параметрів машини при її використанні в якості ФМ, а в знаменнику – в якості вібростолу.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход; Пер. с польск. – М.: Мир, 1981 – 456 с.
2. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. – М.: Машиностроение, 1972. – 354 с.
3. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
4. Адлер Ю. П., Мартова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М: Наука, 1976.– 279 с.
5. Гречка В.Д. Влияние межмолекулярных и электростатических сил сцепления на процесс уплотнения сыпучих материалов // Порошковая металлургия. – 1976. – №11. – С. 11 – 15.
6. Корн. Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1974. – 831 с.
7. Бочаров Ю.А. Структурно-морфологическая классификация кузнечно-штамповочных машин и установок //Кузнечно-штамповочное производство. – 1974. – №11. – С. 30 – 35.
8. Матвеев И.Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия. – М.: Машиностроение, 1974. – 184 с.
9. Матвеев И.Б., Искович-Лотоцкий Р.Д. Гидроинерционный вибропресс-молот двухстороннего действия //Гидропривод и гидропневмоавтоматика: Респ. межвед. сб. / МВ и ССО УССР. – Вып. 10. – Киев: Техника, 1974. – С. 61 – 64.
10. Вибрационный пресс: А.с. 863125 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В21 j 9/06. /Р.Д.Искович-Лотоцкий, И.Б. Матвеев (СССР). – №2622503/25-27; Заявлено 02.06.78; Оpubл. 15.09.81, Бюл. №34. – 4 с.
11. Использование вибрационного уплотнения для повышения прочности прессовок. /З.М. Полукарова, И.Г. Шаталова, Р.К.Юсупов, Е.Д. Щукин //Порошковая металлургия. – 1968. – №6. – С. 54 – 56.
12. Вибрации на производстве /Э.А. Дрогичина, Н.Н. Малинская, Н.Б. Метлина и др. – М.: Медицина, 1971. – 238 с.
13. Гидравлический инерционный вибропресс А.с. 429877 СССР, М.Кл. В21j 9/06. / И. В. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий, В.А. Пишенин (СССР). – №1793622/25-27; Заявлено 31.05.72; Оpubл. 30.05.74, Бюл. №20. – 2 с.
14. Вибропресс с импульсным гидроприводом: А.с. 577076 СССР, М.Кл.<sup>2</sup> В21j 9/06. /Р.Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР). – №2310997/25-27; Заявлено 06.01.76; Оpubл. 25.10.77, Бюл. №39. – 4 с.
15. Вибрационный пресс: А.с. 664735 СССР, М. Кл.<sup>2</sup>. В21 j 9/06. /Р.Д.Искович-Лотоцкий (СССР). – №2478322/25-27; Заявлено 22.04.77; Оpubл. 30.05.79, Бюл. №20. – 3 с.

16. Искович-Лотоцкий Р.Д. Разработка, теоретическое и экспериментальное исследование новой конструкции вибропресс-молота для прессования деталей из материала на основе карбида кремния: Дис... канд. техн. наук: 05.03.05. – М.: 1974. – 213 с.

17. Опытно-промышленный образец вибропресса усилием 20 тс. /И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх и др. //Кузнечно-штамповочное производство. – 1978. – №5. – С. 34 – 37.

18. Разработка и исследование вибрационного импульсного пресса для формообразования заготовок порошковой металлургии: Отчет НИР /Винницкий политехнический институт. Руководитель И.Б. Матвеев. – №ГР76026910; Инв №Б491804. – Винница, 1976. – 122 с. – Отв. исполн. Р.Д. Искович-Лотоцкий.

19. Гидравлический привод инерционного вибропресса: А.с. 707670 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> В21 j 9/06. /Р.Д.Искович-Лотоцкий и др. (СССР).– №2518007/25-27; Заявлено 17.08.77; Опубликовано. 05.01.80, Бюл. №1. – 3 с.

20. Вибропресс с гидроприводом А.с. 804165 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В21j 9/06. / Р.Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР).- №2724263/25-27; Заявлено 14.02.79; Опубликовано. 15.02.81, Бюл. №6. – 4 с.

21. Система управления гидравлическим инерционным вибропрессом: А.с. 812406 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В21 j 9/06. /Р.Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР).- №2757887/25-27; Заявлено 25.04.79; Опубликовано. 15.03.81, Бюл. №10. - 3 с.

22. Гидравлический привод вибропресса: А.с. 1088858 СССР, МКИ<sup>3</sup> В21 j 9/06. /Ю.А. Бочаров, Р.Д. Искович-Лотоцкий, Б.Н. Пентюк (СССР). – №3536719/25-7; Заявлено 31.12.82; Опубликовано. 30.04.84, Бюл. №16. – 3 с.

23. Двойной клапан-пульсатор: А.с. 437871 СССР, М.Кл. F16k 17/10. / И.В. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий (СССР). – №1840328/25-8; Заявлено 26.10.72; Опубликовано. 30.07.74, Бюл. №28. – 2 с.

24. Клапан на высокое давление: А.с. 440523 СССР, М.Кл. F16k 17/04. / И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх (СССР).– №1847231/25-8; Заявлено 20.11.72; Опубликовано. 25.08.74, Бюл. №31. – 3с.

25. А.с. 469021 СССР, М.Кл. F16k 1/34. Клапан-пульсатор / И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий (СССР). – №1790784/25-8; Заявлено 31.05.72; Опубликовано. 30.04.75, Бюл. №16 – 2 с.

26. Пресс-форма для вибрационного прессования порошка: А.с. 515657 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> В30В 15/02. / Ю.В. Трухан, Ю.М. Шуляков (СССР). – №2037917/29-33; Заявлено 25.06.74; Опубликовано. 12.07.76, Бюл. №26. – 3 с.

27. Клапан для гидроимпульсного повода: А.с. 601509 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> F16k17/10. /И.В. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий (СССР). – №2126930/25-08; Заявлено 21.04.75; Опубликовано. 05.04.78, Бюл. №13. – 2с.

28. Гидроимпульсный клапан: А.с. 658320 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> F15В21/12. / И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх (СССР). – №2141603/25-06; Заявлено 29.05.75; Опубликовано. 25.04.79, Бюл. №15. – 3 с.

29. Вибростенд: А.с. 863125 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В21 j 9/06. /Ю.Я.Комисаренко, Р.Д. Искович-Лотоцкий, Н.Н. Вирник (СССР). – №2887261/25-06; Заявлено 15.02.80; Оpubл. 07.11.81, Бюл. №41. – 3 с.

30. Исследование закономерностей вибрационного прессования порошков металлов и их соединений / Н.С. Горбунов, И.Г.Шаталова, В.И. Лихтман, П.А. Ребиндер //Исследование по жаропрочным сталям /Тр. ин-та металлургии АН СССР им. Байкова. – М., 1962. – Т.8. – С. 103 – 110.

31. Искович-Лотоцкий Р.Д., Обертюх Р.Р., Пентюк Б.Н. Гидравлические вибровозбудители на базе стандартной контрольно-распределительной аппаратуры // Вестник машиностроения, 1984. – №8. – С. 17 – 20.

32. Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы. Справочник. – М.: Машиностроение, 1982. – 464 с.

33. Искович-Лотоцкий Р.Д., Матвеев И.В., Крат В.А. Машины вибрационного и виброударного действия. – Киев: Техніка, 1982. – 208 с.

34. Матвеев И.Б., Искович-Лотоцкий Р.Д. Новые виды элементов управления гидроимпульсным поводом //Вестник машиностроения. – 1976. – №3. – С. 19 – 21.

35. Разработка, исследование и изготовление опытных образцов вибрационного оборудования для прессования огнеупорных масс: Отчет о НИР /Винницкий политехнический институт. – Руководитель Р.Д. Искович-Лотоцкий. – №ГР76095626; Инв. №Б857130. – Винница, 1979. – 93 с.– Отв. исполн. Б.Н. Пентюк.

36. Разработка нового технологического процесса и оборудования для производства прессованных электрокерамических изделий: Отчет о НИР /Винницкий политехнический институт. – Руководитель Р.Д. Искович-Лотоцкий. – №ГР80067797; Инв.№02850040815. – Винница, 1985. – 118с. – Отв. исполн. Б.Н.Пентюк.

37. Савинов О.А., Лавринович Е.В. Теория и методы вибрационного формования железобетонных изделий. – Л.: Стройиздат, 1972. – 228 с.

38. Разработка оборудования на основе гидроимпульсного привода для производства керамических и огнеупорных изделий: Отчет о НИР /Винницкий политехнический институт. – Руководитель Р.Д.Искович-Лотоцкий. – №ГР78055404; Инв. №Б946241. – Винница, 1978. – 86 с. – Отв. исполн. Б.Н. Пентюк.

39. Разработка, исследование и освоение установки с гидроприводом для подготовки и уплотнения формовочной смеси в литейном производстве. Отчет о НИР /Винницкий политехнический институт, – Руководитель Р.Д. Искович-Лотоцкий. – №ГР01814004972; Инв. №02820076584. – Винница, 1985. – 74 с. – Отв. исполн. Н.Н. Вирник.

40. Способ получения изделий из порошковых материалов:А.с. 837900 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В30В11/06. /И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх и др. (СССР). – №2851762/25-27; Заявлено 14.12.79; Оpubл. 15.06.81, Бюл. №22. – 3 с.

41. Искович-Лотоцкий Р.Д., Пентюк Б.Н. Гидропривод виброустановки для прессования керамических и огнеупорных изделий //Гидропривод и гидропневмоавтоматика: Респ. межведомств. сб. / МВ и ССО УССР. – Вып. 17. – Киев: Техніка, 1981. – С. 70 – 74.

42. Вибростол: А.с. 941186 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В28В1/08. /Р.Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР). – №2638377/29-33; Заявлено 26.06.78; Оpubл. 07.07.82, Бюл. №25. – 3 с.

43. Способ получения изделий из порошковых материалов: А.с. 837900 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В30В11/06. /И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх и др. (СССР). – №2851762/25-27; Заявлено 14.12.79; Оpubл. 15.06.81, Бюл. №22. – 3 с.

44. Способ изготовления полуфабриката из порошковых масс: А.с. 996168 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В28В3/00. /Р.Д. Искович-Лотоцкий, Б.Н.Пентюк (СССР). – №3260281/29-33; Заявлено 04.03.81; Оpubл. 15.02.83, Бюл. №6. – 5 с.

45. Пресс-форма для формования фигурных изделий: А.с. 977170 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> В28В3/00. /Р.Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР). – №3241451/29-33; Заявлено 02.02.81; Оpubл. 30.11.82, Бюл. №44. – 3 с.

46. Пресс-форма для формования фигурных изделий: А.с. 1036544 СССР, М. Кл. В28В3/04. /Р.Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР). – №3354338/29-33, Заявлено 19.11.81, Оpubл. 23.08.83, Бюл. №31. – 3 с.

47. Разработка и исследование вибрационного импульсного пресса для формообразования заготовок порошковой металлургии: Отчет НИР /Винницкий политехнический институт. Руководитель И.Б. Матвеев. – №ГР76026910; Инв №Б491804. – Винница, 1976. – 122 с. – Отв. исполн. Р.Д. Искович-Лотоцкий.

48. Спасский М.Р., Щукин Е.Д. Модель вибрационно-уплотняемой дисперсной среды //Коллоидный журнал. – 1970. – №35. – С. 897 – 905.

49. Разработка вибропрессовой установки с гидроимпульсным приводом для линии производства газотурбинных дисков из жаропрочных сплавов; Отчет о НИР /Винницкий политехнический институт. – Руководитель Р.Д. Искович-Лотоцкий. – №7Р01850063926, Инв. №02850040790. – Винница. 1986. – 174 с. – Отв. исполн. Р.Р. Обертюх.

50. Генератор импульсов давления: А.с. 1116234 СССР, МКИ<sup>3</sup> F15В21/12. /Ю.А. Бочаров, В.И. Ходкин, Р.Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР). – № 3638502/25-06; Заявлено 24.06.83; Оpubл. 30.09.84, Бюл. №36. – 4 с.

51. Вибростенд: А.с. 676335 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> В06В1/18. /И.В. Матвеев. Ю.Я. Комисаренко. Р.Д. Искович-Лотоцкий (СССР). – №2537394/18-06; Заявлено 17.10.77; Оpubл. 30.07.79, Бюл. №28. – 2 с.

52. Искович-Лотоцкий Р.Д., Вирнык Н.Н. Малогабаритные вибростенды с гидроприводом //Технология и автоматизация производственных процессов в машиностроении – Пенза: Пензенский политехнический институт, 1979. – С. 113 – 118.

Методичні вказівки  
до виконання практичних занять з дисципліни  
«Спеціальні процеси і машини обробки тиском» для  
студентів напряму підготовки «магістр»  
спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування»

Редактор В. Дружиніна

Укладачі: Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович  
Івашко Євгеній Іванович

Оригінал-макет підготовлено Є. Івашко

Підписано до друку  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.  
Наклад прим. Зам. № 2016-

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, к. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано в Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
publish.vntu.edu.ua; email: kivc/vntu@gmail.com  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.