сопла форсунки и с предварительным смешением по пути их транспортировки к соплу.

Если смешение делать в процессе свободного полёта крупки и ПАВ в свободном от мелющей загрузки пространстве первой камеры мельницы, то в виду полидисперсности капель ПАВ при их пневмораспыле часть капель, диаметр которых менее размера витания может уносится на межкамерную перегородку.

С одной стороны надо ПАВ подавать на самые прочные частицы менее 0,8 мм. Это можно сделать целенаправленной подачей ПАВ на участок , где находится максимальное количество этой фракции.

Если крупка имеет размер более 1,5 мм , то ПАВ расходуется на менее прочную фракцию, но наиболее подвижную, что в дальнейшем обеспечит образование частиц менее 0,5 мм, требующих измельчения истиранием, что и происходит в цильпебсной камере. Однако, раздельная подача крупки и ПАВ на заданные участки требует изготовления двух отдельных систем подачи.

На наш взгляд предпочтение надо отдавать варианту обработки крупки и ПАВ в подводящем их пневмопроводе на участке до входа его в загрузочную часть мельницы.

Для этого надо в пневмопровод вводить крупку после сепаратора с помощью дозатора и эжектора, а водный раствор ПАВ вводить самотёком перед вводом крупки с помощью трубки из сосуда Мариотта в этот же трубопровод. Такой вариант выполняется в одном пневмопроводе. Благодаря образованию облака из капель ПАВ и его дальнейшем движении на участке трубопровода подачи крупки, имеющего больший диаметр с целью снижения скорости крупки, обеспечивается качественная обработка крупки каплями ПАВ.

В общем случае при использовании ПАВ надо их рассматривать с трёх сторон:

1. влияние их на прочность частиц разного размера как интенсификаторов помола,

2. влияние их на подвижность частиц разного размера при движении частиц материала вдоль оси мельницы,

3. влияние на поведение частиц материала в зонах разделения фракций в сепараторах разных типов с целью повышения КПД и точности разделения.

Геометрические характеристики струи в целом, вихрей в ней и скорости транспортируемых частиц определяют процесс подачи материала в заданную зону мельницы.

Список литератйры: **1.** Способ помола цемента. А.с.1079288 SU,B02C 19/00. / *А.А.Молодцов, В.А. Чурюмов, К.Ф. Матвиенко, А.Б. Бреслер, В.З. Пироцкий, А.Н. Иванов* (СССР).--№3556489/29-33; Заявл. 22.02.83; Опубл.15.03.84, Бюл.№10.-4 с. **2.** Способ помола портландцементного клинкера и добавок. А.с.607589 СССР, М.Кл2 В 02с23/06. *В.З. Пироцкий, А.Н. Иванов, Н.С. Мацуев и А.А. Боровик* (СССР). -№2445550/29-33;Заявлено24.01.77. Опубл. 25.05.78,Бюл.№19.-3с. **3.** Устройство для регулирования дальности и дисперсности распыла интенсификаторов помола в трубные мельницы. А.с.1299625 SU, B02C 23/06. */ А.Н.Иванов, И.Б.Иванова, А.Г.Кисель* (СССР) -№3941291/29-33;Заявл. 08.07.85; Опубл.30.03.87, Бюл.№12.-3 с. **4.** *Баранов А.Н., Постельняк С.В.* Исследование пневмоподачи материалов струями с измененной формой когерентных структур// Науковий вісник будівництва. Вип. № 20. Харків:ХДТУБА.2003. С. 165-169**.** **5.** *Иванов А.Н.* К расчету аэродинамики барабанных мельниц. // Науковий вісник будівництва, ХДТУБА.-Харків:– 2002.– №19. - С.136 – 140.

Поступила в редколлегию 16.09.06.

УДК 534.232 (088.8)

Н.Г. ЕМЕЛЬЯНЕНКО, канд. техн. наук, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

АСПЕКТЫ ДИНАМИКИ ВИБРОФОРМОВОЧНЫХ МАШИН С ПРИВОДАМИ, ВКЛЮЧАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕКУЧЕЙ СРЕДЫ

Складені рівняння, що описують рух робочого органа вібраційної машини та параметри стану стислого повітря системи; наведені рішення рівнянь на ПЭОМ. Вказані області використання вібраційних машин з керованим пневмогідроприводом.

The differential equations describing moment of a working body of the vibrating machine and parameters of a condition of compressed air of pneumosystem are made; the results of the decision of the equations on the computer are given. The areas of application of vibrating machines with adjustable pneumohydro-drive are specified.

Применение пневмо- и гидропривода в вибрационных машинах позволяет реализовать управляемые в широких диапазонах частот и амплитуд режимы симметричных и асимметричных одно- и поличастотных колебаний, которые повышают эффективность вибровоздействия рабочих органов на обрабатываемые или транспортируемые материалы.

Динамика рабочего органа вибромашин с пневмогидравлическим приводом с учётом процессов в его пневмосистеме

На рис. 1 представлены конструктивная и расчётная схемы вибромашины. Указанная вибромашина включает рабочий орган 1, установленный на штоках 2 цилиндров 3 с поршнями 4; емкость 5 с эластичными оболочками 6, полости которых соединены с гидрополостями Ш цилиндров; пневмораспределитель 7 для поочередной периодической подачи из пневмосети сжатого воздуха в пневмополость 1 емкости 5 и пневмополости П цилиндров 3 и сброса его в атмосферу.

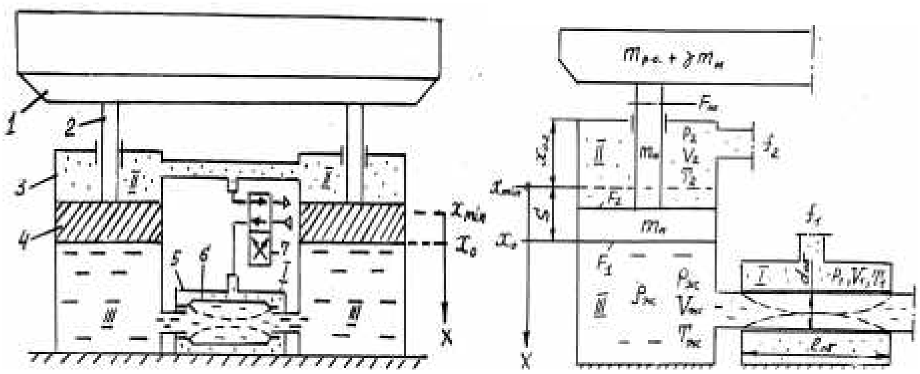

Рис. 1. Конструктивная и расчётная схемы вибромашины

Введём обозначения

$M = m_{р.о} + \gamma \cdot m_м + \rho_ж \cdot V_ж + N_р \cdot (m_п + m_ш)$ - масса колеблющихся элементов системы;

x_0 – координата положения нижнего торца поршня, соответствующего цилиндрической форме эластичных оболочек (при этом x_{min} соответствует “схлопнутой” форме оболочек).:

γ – коэффициент присоединения массы материала;

$\rho_ж$, $V_ж$ – плотность и общий объем рабочей жидкости в приводе;

$N_р$ – количество цилиндров; $N_е$ – количество оболочек;

P_I, V_I, T_I – давление, объем и абсолютная температура в пневмополости I;

P_{II}, V_{II}, T_{II} – давление, объем и абсолютная температура в пневмополости II;

$f_{Э1} = \mu \cdot f_1$; $f_{Э2} = \mu \cdot f_2$ – эффективные площади отверстий для входа воздуха в полости I и II (f_1, f_2 – площади отверстий, μ – коэффициент расхода);

F_1, F_2, $F_ш$ – площади торцов поршня и сечения штока;

C – приведенный коэффициент жесткости упругих элементов, в первом приближении считаем

b – приведенный коэффициент сопротивления; $f_{отр}$ – амплитудное значение силы трения покоя; $\tilde{f}_0(\dot{x})$ – быстро убывающая с возрастанием $\dot{x}$ функция; k – показатель адиабаты, $k_1 = \sqrt{2k(k-1)}$, R – газовая постоянная; $T_м$ – абсолютная температура воздуха в магистрали; $P_а$, $P_м$ – атмосферное и магистральное давление;

$P_п$ – пороговое давление оболочки; $\varphi(\tau_i) = \varphi(P_i/P_м)$ – расходная функция (i = 1, 2):

d_0, l_0 – внутренний диаметр и длина эластичной оболочки.

Объемы пневмополостей I и II:

– при схлопнутых оболочках ($x = x_{min} = -S$): $V_1 = V_{1max}$; $V_2 = V_{2min}$;

– при цилиндрической форме оболочек ($x = x_0$): $V_1 = V_{1цил}$; $V_2 = V_{2min} + F_2(x_0 - x_{min})$.

Требуемые объем полости и длина цилиндрической оболочки в виде рукава диаметром d_0:

$$V_0 \ge (F_2 \cdot S \cdot N_р)/(N_е \cdot \eta); \qquad l_0 \ge (4F_2 \cdot S \cdot N_р)/(N_е \cdot \pi \cdot d_0^2 \cdot \eta).$$

Дифференциальные уравнения движения рабочего органа машины и состояния пневмосистемы в безразмерной форме:

$$\ddot{\xi} = (-\tau_1 + \tau_п + \Pi_1 \cdot \tau_2) \cdot N_р + \Pi_2 - \mathrm{Sign}(\dot{\xi})[\Pi_3 \cdot \tilde{f}_0(\dot{\xi}) + \Pi_4 \cdot \dot{\xi}] + G(\xi) \cdot \xi;$$

$$\frac{d\tau_1}{d\tau} = \frac{k}{\xi_{01} - \xi} \cdot \left\{ \Pi_5 \cdot H_1(\tau) - \tau_1 \frac{d\xi}{d\tau} \right\}; \frac{d\tau_2}{d\tau} = \frac{k}{\xi_{02} + 1 + \xi} \cdot \left\{ \Pi_6 \cdot H_2(\tau_2) - \tau_2 \ddot{\xi} \right\}; \quad (1)$$

Где (1) получено путем подстановки велечин: $x = S \cdot \xi$; $t = T_0 \cdot \tau$; $P_1 = P_м \cdot \tau_1$; $P_2 = P_м \cdot \tau_2$; $P_п = P_м \cdot \tau_п$; $V_1 = F_1 \cdot S \cdot N_р(\xi_{01} - \xi)$; $\xi_{01} = V_{1цил}/(F_1 \cdot S \cdot N_р)$; $V_2 = F_2 \cdot (x_{02} + S + x) = F_2 \cdot S(\xi_{02} + 1 + \xi)$

где $\Pi_1 = F_2/F_1$; $\Pi_2 = (M \cdot g + P_а \cdot F_ш \cdot N_р)/(F_1 \cdot P_ш)$; $\Pi_3 = f_{отр}/(F_1 \cdot P_м)$; $\Pi_4 = b\sqrt{S/(M \cdot F_1 \cdot P_M)}$; $\Pi_5 = (k_1 \cdot \sqrt{RT_M} \cdot T_0 \cdot f_{Э1})/ F_1 \cdot S \cdot N_р$; $\Pi_6 = (k_1 \cdot \sqrt{RT_M} \cdot T_0 \cdot f_{Э2})/ F_2 \cdot S$;

$$G(\xi) = \begin{cases} (C_1 S)/(F_1 P_M) & при \ \xi < 0 \\ (C_2 S)/(F_1 P_M) & при \ \xi > 0 \end{cases} \qquad T_0 = \sqrt{(M \cdot S)/(F_1 \cdot P_M)} \qquad (2)$$

Зависимости (2) можно считать критериями подобия системы.

Частота колебаний задается путем управления переключением пневмораспределителя. Численное интегрирование систем дифферциальных уравнений (1) производится по времени t и соответственно по безразмерной величине τ на ЭВМ.

Расчеты на ЭВМ показали достаточную сходимость результатов теории (рис. 2, 3) и эксперимента, который проведен на виброустановке с параметрами:

$M = 350$ кг; $P_м = 0{,}6$ МПа; $N_р = N_е = 1$; $f_1 = 0{,}00063$ м²; $f_2 = 0{,}00015$ м²; $F_1 = 0{,}0113$ м²; $F_2 = 0{,}0108$ м²; $\mu = 0{,}7$; $S = 0{,}025$ м.

_____ при частоте колебаний 1 Гц;
- - - - - при частоте колебаний 5 Гц
--------- при частоте колебаний 8 Гц

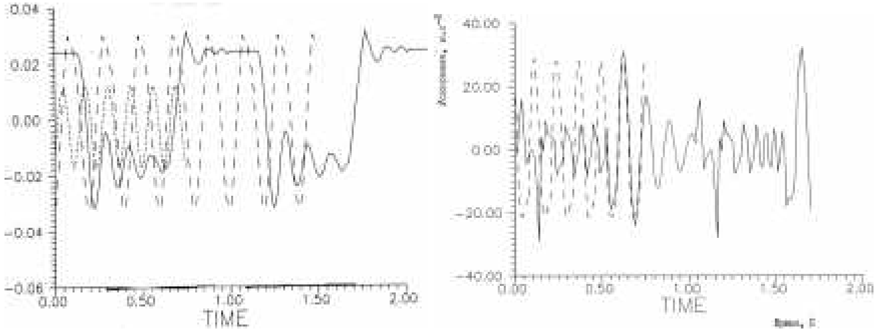

Рис. 2. Графики перемещения и ускорения рабочего органа машины при частотах колебаний 1, 5 и 8 Гц

Динамика системы элементов вибромашин без детального учета процессов в пневмосистеме привода

Исследование показало, что возмущающее усилие (в частности, для зоны зарезонансных частот) можно рассматривать изменяющимся по гармоническому закону $F_b \approx (\sim P_м - P_a)\cdot S_1 \cdot N_p \cdot \sin \mu t$.

В связи с этим несколько упрощается постановка задачи и исследование динамики вибромашин, представляемых в виде многомассных систем. Данную машину представляем в виде трёхмассной системы, обозначив $m_1 = m_ф + m_{корп}$ - масса фундамента и корпуса машины (включая цилиндры); $m_2 = m_{CT} + m_ф + m_п + m_ж$ - суммарная масса стола, формы, поршней и жидкости; m_3 - масса бетонной смеси; $c_1,\ b_1, c_2, b_2,\ c_3,\ b_3$ – коэффициенты жесткости и сопротивления основания фундамента, пневмоупругих элементов и бетонной смеси, $x_1,\ x_2,\ x_3$ - обобщённые координаты.

Используя уравнения Лагранжа второго рода, для нашего случая записываем

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot q_i}\right) + \frac{\partial U}{\partial q_i} + \frac{\partial F}{\partial \dot q_i} = Q_i, \quad \text{где}$$

$$T = \frac{1}{2}\left[m_1(\dot x_1)^2 + m_2(\dot x_2)^2 + m_3(\dot x_3)^2\right], U = \frac{1}{2}\left[c_1 x_1^2 + c_2(x_2 - x_1)^2 + c_3(x_3 - x_2)^2\right],$$

$$F = \frac{1}{2}\left[b_1(\dot x_1)^2 + b_2(\dot x_2 - \dot x_1)^2 + b_3(\dot x_3 - \dot x_2)^2\right], \quad \begin{aligned} Q_{x_1} &= -F_b \\ Q_{x_2} &= +F_b \\ Q_{x_3} &= 0 \end{aligned}$$

Уравнения движения трёхмассной системы вибромашины получены в комплексном виде

$$\begin{cases} m_1\ddot x_1 + c_1 x_1 + c_2(x_1 - x_2) + b_1\dot x_1 + b_2(\dot x_1 - \dot x_2) = -F_0 \cdot e^{i\mu t}; \\ m_2\ddot x_2 + c_2(x_2 - x_1) + c_3(x_2 - x_3) + b_2(\dot x_2 - \dot x_1) + b_3(\dot x_2 - \dot x_3) = F_0 \cdot e^{i\mu t}; \\ m_3\ddot x_3 + c_3(x_3 - x_2) + b_3(\dot x_3 - \dot x_2) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Решение найдено в комплексной и обычной форме:

$$\tilde x_1 = \tilde A_1 \cdot e^{i\mu t} \qquad x_1 = Im\left\{A_{01}\cdot e^{i\varphi_1}\cdot e^{i\mu t}\right\} = A_{01}\sin(\mu t - \varphi_1);$$

$$\tilde x_2 = \tilde A_2 \cdot e^{i\mu t}, \qquad x_2 = Im\left\{A_{02}\cdot e^{i\varphi_2}\cdot e^{i\mu t}\right\} = A_{02}\sin(\mu t - \varphi_2); \text{ где}$$

$$\tilde x_3 = \tilde A_3 \cdot e^{i\mu t} \qquad \tilde x_3 = Im\left\{A_{03}\cdot e^{i\varphi_3}\cdot e^{i\mu t}\right\} = A_{03}\sin(\mu t - \varphi_3).$$

$$\tilde A_1 = g_{23} + ig_{24} = A_{01}\cdot e^{i\varphi_1}$$

$$\tilde A_2 = g_{25} + ig_{26} = A_{02}\cdot e^{i\varphi_2}$$

$$\tilde A_3 = g_{27} + ig_{28} = A_{03}\cdot e^{i\varphi_3}$$

$$A_{01} = \sqrt{g_{23}^2 + g_{24}^2};\ \varphi_1 = arctg\left(\frac{g_{24}}{g_{23}}\right)$$

$$A_{02} = \sqrt{g_{25}^2 + g_{26}^2};\ \varphi_2 = arctg\left(\frac{g_{26}}{g_{25}}\right)$$

$$A_{03} = \sqrt{g_{27}^2 + g_{28}^2};\ \varphi_3 = arctg\left(\frac{g_{28}}{g_{27}}\right)$$

$$g_{11} = \frac{e_{33}e_{31} - e_{34}e_{32}}{e_{31}^2 + e_{32}^2};\ g_{12} = \frac{e_{33}e_{32} + e_{34}e_{31}}{e_{31}^2 + e_{32}^2}.\ \begin{aligned} g_{13} &= e_{21} - e_{25}g_{11} + e_{26}g_{12}; \\ g_{14} &= e_{22} - e_{25}g_{12} - e_{26}g_{11} \end{aligned}$$

$$g_{15} = \frac{F_0\cdot g_{13}}{m_2\left(g_{13}^2 + g_{14}^2\right)};\ g_{16} = -\frac{g_{14}\cdot F_0}{m_2\left(g_{13}^2 + g_{14}^2\right)};\ g_{17} = \frac{e_{23}g_{13} + e_{24}g_{14}}{g_{13}^2 + g_{14}^2};\ g_{18} = \frac{e_{24}g_{13} - e_{23}g_{14}}{g_{13}^2 + g_{14}^2}.$$

;

$$g_{19} = e_{11} - e_{13}g_{17} + e_{14}g_{18};\ g_{20} = e_{12} - e_{13}g_{18} - e_{14}g_{17};\ g_{21} = e_{13}g_{15} - e_{14}g_{16};\ g_{22} = e_{13}g_{16} + e_{14}g_{16};$$

$$g_{23} = \frac{g_{21}g_{19} + g_{22}g_{20} - \frac{F_0}{m_2}g_{19}}{g_{19}^2 + g_{20}^2};\ g_{24} = \frac{g_{22}g_{19} - g_{21}g_{20} + \frac{F_0}{m_2}g_{20}}{g_{19}^2 + g_{20}^2}.$$

$$g_{25} = g_{15} + g_{17}g_{23} - g_{18}g_{24};\ g_{26} = g_{16} + g_{17}g_{24} - g_{18}g_{23};$$

$$g_{27} = g_{11}g_{25} - g_{12}g_{26};\ g_{28} = g_{11}g_{26} + g_{12}g_{25}$$

$$e_{11} = -\mu^2 + \mu_{01}^2 + \mu_{012}^2;\ e_{12} = 2(h_1 + h_{12})\mu;\ e_{13} = \mu_{012}^2;\ e_{14} = -2h_{12}\mu;$$

$$e_{21} = -\mu^2 + \mu_{02}^2 + \mu_{023}^2;\ e_{22} = 2(h_2 + h_{23})\mu;\ e_{23} = \mu_{02}^2;\ e_{24} = 2h_2\mu;\ e_{25} = \mu_{023}^2;\ e_{26} = 2h_{23}\mu;$$

$$e_{31} = -\mu^2 + \mu_{03}^2;\ e_{32} = 2h_3\mu;\ e_{33} = \mu_{03}^2;\ e_{34} = 2h_3\mu$$

$$h_1 = \frac{b_1}{2m_1};\ h_{12} = \frac{b_2}{2m_1};\ \mu_{01}^2 = \frac{c_1}{m_1};\ \mu_{012}^2 = \frac{c_2}{m_1};\ h_2 = \frac{b_2}{2m_2};\ h_{23} = \frac{b_3}{2m_2};\ \mu_{02}^2 = \frac{c_2}{m_2};$$

$$\mu_{023}^2 = \frac{c_3}{m_2};\ h_3 = \frac{b_3}{2m_3};\ \mu_{03}^2 = \frac{c_3}{m_3}.$$

Полученные зависимости могут быть использованы при разработке математических моделей и методик расчёта формовочных машин.

Поступила в редколлегию 16.09.06.

УДК 541.11.666.11.01

С.В. ЄЗІКОВА, Херсонський державний університет

ДТА СТЕКОЛ СИСТЕМИ Na_2O – PbO J SiO_2 І СИСТЕМИ Na_2O – CaO J SiO_2

Дериватографічним методом для розплавів силікатних систем визначені структурні перетворення у цьому стані вище за лінію ліквідусу, що підтверджує колоїдну будову останніх.

The structural transformations of the state have been distinguished by a derivatographical method for the silicate systems melt above the liguidus line. The aforesaid confirms the colloidal structure of the latter.

Температурний хід експериментальних дериваторам стекол та розплавів системи Na_2O-PbO-SiO_2 представлений на рис. 1., а обробка результатів у таблиці

На відміну від дериваторам натрій-боро-силікатної [1] системи, на дериватограмах двох складів натрій-свинцово-силікатної системи не відмічаються екзотермічні після температур ліквідусу, а піки, які відповідають температурам ліквідусу зміщені так само, як і для боратної системи на 20 – 40 °С. Тим не менше, на дириватограмах чітко визначаються піки в області температур вище температур плавлення, тобто у рідкому стані.

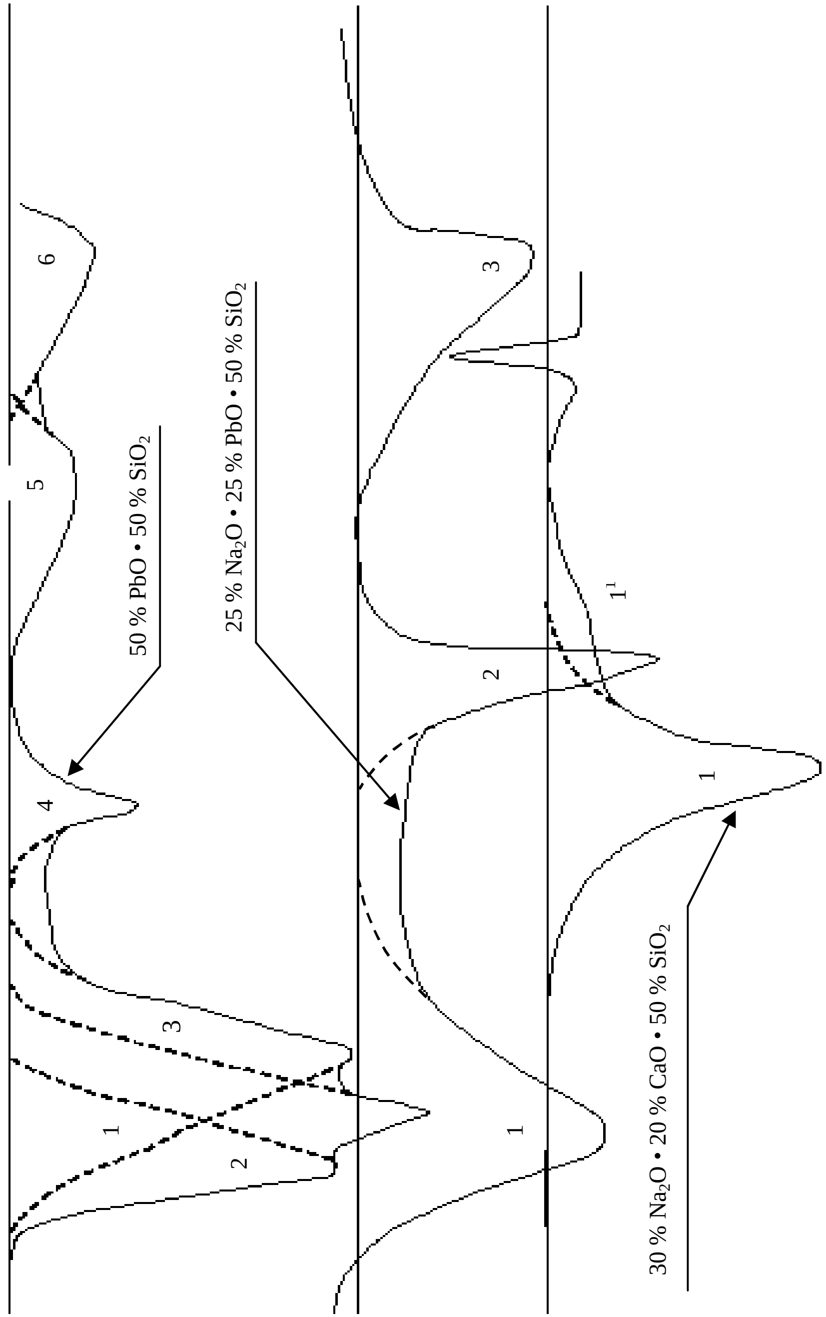

Рис. 1. Температурний хід дериватограмм