

Г.В.КАЗАЧЕНКО, канд.техн.наук, асп. С.Г.ШУЛЬДОВА (БГПА)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАКУУМНОГО ФОРМОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ФИЛЬТРОВАНИЕМ ГИДРОМАССЫ

Процесс получения заготовок осаждением твердой составляющей гидромассы на фильтрующих формах используется в технологиях производства торфяных горшочков, упаковочных изделий из целлюлозы и находит применение в производстве изделий сложных пространственных конфигураций самого различного назначения [1, 2].

Основной операцией технологии вакуумного формования изделий из гидромассы является процесс образования заготовки на всасывающей форме (рис. 1), представляющей собой фильтрующую перегородку, геометрически копирующую одну из сторон получаемого изделия.

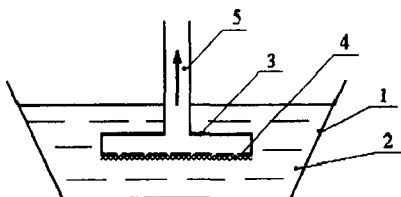


Рис. 1. Схема получения заготовки

1 – ванна; 2 – гидромасса; 3 – форма; 4 – формуемая заготовка;  
5 – подвод вакуума и отвод фильтрата.

Образование заготовки осуществляется при прохождении гидромассы через фильтровальную перегородку за счет перепада давлений на последней, который создается подачей вакуума внутрь формы. В этот период на рабочей стороне формы осаждается твердая составляющая гидромассы, которая и представляет собой заготовку будущего изделия.

Толщина, масса и другие характеристики заготовки зависят от ряда факторов, среди которых основными можно считать следующие: время нахождения формы в гидромассе под воздействием перепада давлений, концентрацию гидромассы, ее реологические и физико-механические характеристики, величину перепада давлений на перегородке, ее геометрические и гидродинамические параметры, режим течения массы

через перегородку и некоторые другие. Время образования заготовки, ее размеры и масса определяют режимы работы всей технологической схемы производства изделий, которая, как правило, включает операции подготовки гидромассы, сушки заготовок, их последующей обработки и т.п. В этом смысле моделирование процесса получения заготовок является стержневой задачей построения рациональных и эффективных алгоритмов управления технологическим процессом.

Для моделирования процесса образования заготовки используем балансовое уравнение производительности через перегородку

$$q_2 = q_3 + q_\phi, \quad (1)$$

где  $q_2$  – расход гидромассы;  $q_3$  – приращение массы заготовки;  $q_\phi$  – расход фильтрата через перегородку.

Если обозначить через  $K_2$ ,  $K_o$ ,  $K_\phi$  концентрации твердой фазы в гидромассе, осадке и фильтрате соответственно, то уравнение (1) при использовании балансовых соотношений по твердой и жидкой фазам гидромассы дает следующие соотношения между расходами гидромассы, фильтрата и накоплением осадка:

$$\frac{dm_3}{dt} = \frac{K_2 - K_\phi}{K_o - K_\phi} \cdot \frac{dm_2}{dt}; \quad (2)$$

$$\frac{dm_\phi}{dt} = \frac{K_2 - K_3}{K_\phi - K_3} \cdot \frac{dm_2}{dt},$$

где  $\frac{dm_3}{dt} = q_3$ ,  $\frac{dm_\phi}{dt} = q_\phi$ ,  $\frac{dm_2}{dt} = q_2$ .

Исключив из первого уравнения (2) с помощью второго величину  $\frac{dm_2}{dt}$ , получим уравнение

$$\frac{dm_3}{dt} = \frac{K_2 - K_\phi}{K_3 - K_2} \cdot \frac{dm_\phi}{dt}, \quad (3)$$

связывающее накопление массы заготовки с расходом фильтрата. Это уравнение является гораздо более удобным для применения, так как расход фильтрата через перегородку выражается через его скорость формулой

$$\frac{dm_{\phi}}{dt} = \rho_{\phi} \cdot \mathcal{G}_{\phi} \cdot S_{\text{жс}},$$

где  $\rho_{\phi}$  – плотность фильтрата;  $S_{\text{жс}}$  – площадь живого сечения перегородки;  $\mathcal{G}_{\phi}$  – скорость течения фильтрата через перегородку.

В свою очередь скорость фильтрата при течении через перегородку, как известно, определяется формулой

$$\mathcal{G}_{\phi} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{\phi} \cdot \xi}}, \quad (4)$$

где  $\Delta P$  – перепад давлений на перегородке;  $\xi$  – коэффициент сопротивления движению фильтрата через перегородку и образующийся на ней слой осадка.

В рассматриваемом случае скорость  $\mathcal{G}_{\phi}$  не может быть постоянной даже при постоянном значении перепада давлений на перегородке вследствие дополнительного сопротивления, создаваемого образующимся слоем осадка. Причем это сопротивление растет как за счет увеличения толщины осадка, так и за счет его уплотнения. Это обстоятельство по аналогии с сопротивлением воздухопроницаемости слоя уплотняемого торфа [3] учтем зависимостью

$$\xi = \xi_n \cdot e^{k \cdot h_o},$$

где  $\xi_n$  – коэффициент гидравлического сопротивления самой перегородки;  $h_o$  – толщина слоя осадка на перегородке;  $k$  – коэффициент, учитывающий также и уплотнение слоя осадка.

Тогда уравнение (3) может быть записано в виде

$$\frac{dm_o}{dt} = \frac{K_2 - K_{\phi}}{K_3 - K_2} \cdot \rho_{\phi} \cdot S_{\text{жс}} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{\phi} \cdot \xi_n \cdot e^{k \cdot h_o}}}.$$

Приняв во внимание, что  $h_o = \frac{m_o}{\rho_o \cdot S_n}$ ,

где  $S_n$  – общая площадь перегородки;  $\rho_o$  – плотность осадка, и разделив переменные перепишем уравнение окончательно

$$\sqrt{e^{\frac{k \cdot m_o}{\rho_o \cdot S_n}}} \cdot dm_o = \frac{K_2 - K_{\phi}}{K_3 - K_2} \cdot S_{\text{жс}} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P \cdot \rho_{\phi}}{\xi_n}} \cdot dt. \quad (6)$$

Чтобы проинтегрировать это уравнение необходимо знать зависимости величин  $\rho_o, K_2, K_\phi, K_3, \Delta P, \rho_\phi$  от времени образования осадка, или от его массы. Эти зависимости определяются как физико-механическими свойствами гидромассы, так и способом управления процессом.

Например, при поддержании в ванне формовочного устройства постоянной концентрации гидромассы и большом объеме ванны по сравнению с объемом формы величина  $K_2$  остается постоянной. Величины  $\rho_o$  и  $\rho_\phi$  могут быть выражены через плотности  $\rho_{ж}$  и  $\rho_m$  жидкой и твердой фаз гидромассы и соответствующие концентрации

$$\rho_o = \frac{\rho_{ж} \cdot \rho_m}{\rho_{ж} \cdot K_3 + \rho_m \cdot (1 - K_3)},$$

$$\rho_\phi = \frac{\rho_{ж} \cdot \rho_m}{\rho_{ж} \cdot K_\phi + \rho_m \cdot (1 - K_\phi)}.$$

Более того, эти величины при малых концентрациях гидромассы и тем более фильтрата можно без большой погрешности вообще принять постоянными. Перепад давлений  $\Delta P$  на перегородке будет определяться характеристикой вакуумного насоса, однако при подключении вакуума через ресивер большого объема эту величину также можно считать постоянной, хотя в общем случае она может быть как переменной, так и управляемой. Что касается концентраций  $K_\phi$  и  $K_3$ , то эти величины за время образования осадка могут изменяться в довольно значительных пределах в зависимости от конструктивных особенностей перегородки и физико-механических характеристик гидромассы. Поэтому для вычисления правого интеграла (6) необходимо проведение специальных экспериментов для установления зависимостей  $K_\phi = K_\phi(t)$  и  $K_3 = K_3(t)$  или привлечение каких-либо гипотез о характере этих зависимостей.

В первом приближении учитывая скоротечность образования осадка указанные зависимости можно принять линейными. Тогда (рис. 2) отношение  $\frac{K_2 - K_\phi}{K_3 - K_2}$  остается постоянным.

При таких предположениях интегрирование (6) приводит к следующему решению

$$m_0 = \frac{2 \cdot \rho_0 \cdot S_n}{k} \cdot \ln \left( \frac{K_2 - K_\phi}{K_3 - K_2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_\phi}{\xi_n} \cdot \frac{S_{жс}}{S_n} \cdot \frac{k}{2 \cdot \rho_0} \cdot t + 1} \right). \quad (7)$$

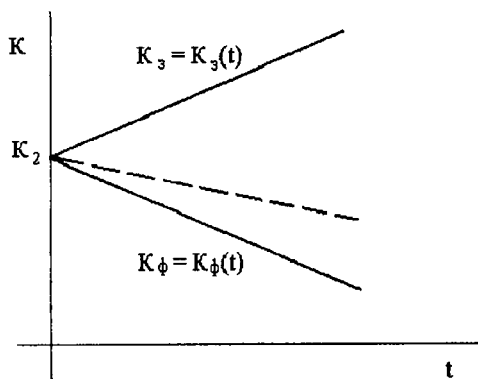


Рис. 2. К обоснованию постоянства отношения  $\frac{K_2 - K_\phi}{K_3 - K_2}$ .

Этот результат представляет собой один из вариантов решения дифференциального уравнения (6), решение которого в общем случае возможно лишь численными методами. Вместе с тем, это решение соответствует реальному процессу формирования заготовок из гидромассы малой концентрации при постоянном перепаде давления на перегородке и может быть положено в основу исследования влияния конструктивных параметров перегородки и физико-механических характеристик гидромассы на процесс образования заготовок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горфин О.С. Машины и оборудование по переработке торфа. М.: Недра, 1990. 318 с.
2. Орлов Г. Трансформация бумажных отходов. – Тара и упаковка, 1997, № 4, с. 4-5.
3. Кислов Н.В., Нагорский И.С., Волкус С.П. О воздухопроницаемости торфяной крошки. // Изв. вузов, Энергетика, 1965, № 4. – с. 83-89.