

УДК 676.012.1-50

**В.П. Сиваков, И.А. Партин**

Уральский государственный лесотехнический университет

Сиваков Валерий Павлович родился в 1942 г., окончил в 1971 г. Уральский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 200 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.  
E-mail: sivakov@usfeu.ru



Партин Илья Александрович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Уральский государственный лесотехнический университет, старший преподаватель УГЛТУ. Имеет более 20 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.  
E-mail: metod@usfeu.ru



### **КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ МОДЕЛИ ДЕФОРМАЦИИ СУСПЕНЗИИ В ПИТАТЕЛЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Представлены методика определения критериев подобия модели деформации суспензии в каналах питателя высокого давления и формулы для расчета масштабов подобия модели реальному объекту по площади поперечного сечения, материалу, внешним силам и времени.

*Ключевые слова:* питатель, суспензия, коммутация, модель, трубопровод.

Роторные питатели высокого давления установок непрерывной варки целлюлозы являются объемными гидравлическими машинами. Суспензия из щепы и щелока совершает в питателе высокого давления два вида движения: поступательное относительно ротора и вращательное вместе с ротором. Процесс перехода суспензии от одного вида движения к другому называется коммутацией. Коммутация происходит при быстром сообщении канала ротора для суспензии низкого давления с трубопроводом, заполненным суспензией высокого давления, а также при прохождении процесса в противоположном направлении. Рассмотрим положение канала ротора питателя высокого давления до коммутации и в режиме коммутации с патрубками щелока высокого давления. До коммутации герметизированный канал ротора (рис. 1, *а*) содержит пробку сырья объемом  $V_{C1}$  (70 % технологической щепы и 30 % свободно перемещаемого щелока) при низком давлении  $P_{H1}$ . В режиме коммутации (рис. 1, *б*) в канал ротора *1* из патрубка *8* через дроссельную проточку *7* поступает щелок высокого давления  $P_{H2}$ . Пробка сырья обладает упругостью и вязким затуханием.

© Сиваков В.П., Партин И.А., 2013

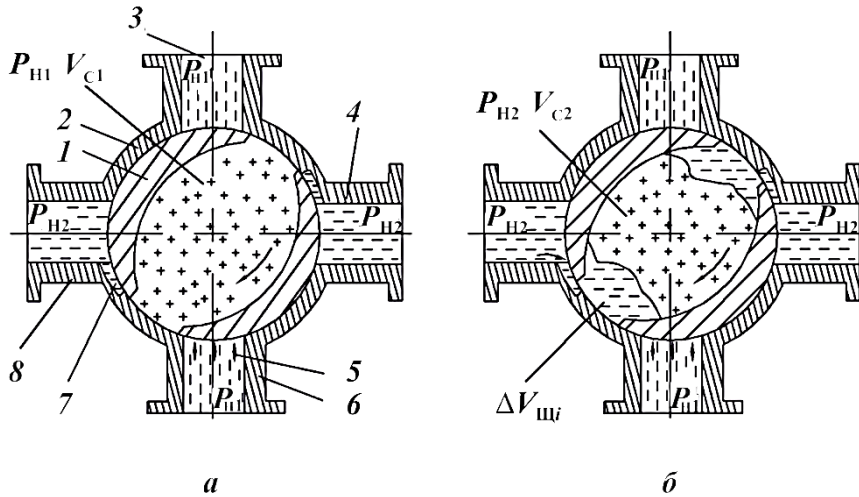


Рис. 1. Схемы положения канала ротора питателя высокого давления до коммутации с патрубками выгрузки суспензии (а) и в режиме коммутации (б): 1 – ротор; 2 – корпус питателя высокого давления, 3 и б – патрубки подачи суспензии и отвода щелока низкого давления; 7 – дроссельная проточка; 4 и 8 – патрубки подачи щелока высокого давления и выгрузки суспензии; 5 – сито ( $P_{H1}$  – суспензия и щелок низкого давления;  $P_{H2}$  – суспензия и щелок высокого давления;  $V_{C1}$  и  $V_{C2}$  – объемы суспензии в канале ротора до и при коммутации;  $\Delta V_{щi}$  – дополнительный объем щелока, поступающего в канал ротора при  $i$ -м периоде выравнивания давления)

При выравнивании давления начальный объем пробки сырья  $V_{C1}$  уменьшается до  $V_{C2}$ . В канал ротора поступает дополнительный объем щелока высокого давления  $\Delta V_{щi}$ . Процесс выравнивания давления происходит в режиме затухающих колебаний (рис. 2).

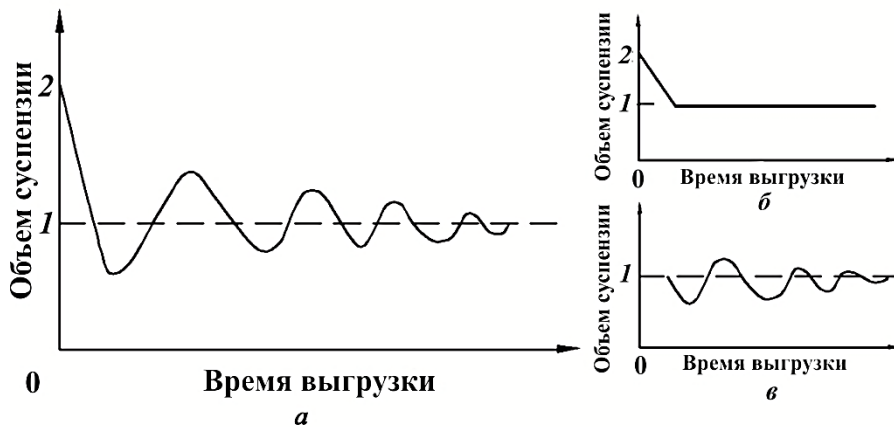


Рис. 2. Схемы изменения объема пробки сырья в канале ротора при коммутации режима выгрузки: а – суммарное действие статических и динамических нагрузок; б, в – соответственно действие статических и динамических нагрузок питателя высокого давления при выгрузке; 1 – конечный объем, 2 – начальный объем

Поскольку давление в трубопроводе поддерживается насосом циркуляции, а объем трубопровода во много раз больше объема канала ротора, принимаем, что при выравнивании давлений  $P_{H2}$  не изменяется. По окончании выравнивания давлений между каналом ротора и патрубками высокого давления объем пробки сырья равен  $V_{C2}$  при давлении  $P_{H2}$ . Поскольку  $V_{C2} < V_{C1}$ , а масса пробки сырья не изменилась при выравнивании давления, происходит увеличение плотности пробки. Пробка сырья относится к «жестким» конструкциям, деформации в которых малы. Для жестких конструкций деформации перемещения, напряжения и статически неопределяемые силы являются линейными функциями нагрузок\*. Для линейных функций применим принцип суперпозиции (каждую нагрузку можно прикладывать отдельно, причем эффект комбинированного нагружения равен суммарному воздействию отдельных сил). Расчленим суммарную нагрузку на пробку сырья (рис. 2, а), на статическую (рис. 2, б) и динамическую составляющие (рис. 2, в). Отметим, что динамическая составляющая возникает только в процессе стабилизации конечного объема суспензии ( $I$  на рис. 2, в).

Статическая составляющая нагружения воздействует на пробку сырья со значительным перепадом давления (от 0,2 до 1,4 МПа), динамическая составляющая имеет значительно меньший перепад давлений (до 0,2 МПа). Затухание колебаний объема пробки сырья происходит за отрезок времени, меньший периода коммутации канала ротора с пробкой сырья низкого давления и патрубков трубопровода высокого давления. Для приближенного изучения влияния давления, времени периода коммутации и гидромодуля на изменение плотности пробки сырья можно ограничиться только моделированием характеристик статической составляющей нагружения. Модели, спроектированные на основе подобия для линейно-упругих конструкций, можно применять для исследования конструкций из нелинейного материала, включая пластическую область. Для этого необходимо, чтобы материалы модели и реального объекта имели одинаковые безразмерные зависимости между напряжениями и деформациями и одинаковые схемы нагружения\*. При статическом нагружении (рис. 2, а) любая компонента деформации  $\varepsilon$  пробки сырья в точке  $x_i$  может быть выражена в виде

$$\varepsilon = f(\ell, x_i, \lambda_i, F, E, \nu), \quad (1)$$

где  $\ell$ ,  $\lambda_i$  – соответственно длина и средняя ширина поперечного сечения канала;

$x_i$  – произвольная координата пробки сырья;

$F$  – внешняя сила от перепада давлений;

$E$  – модуль упругости пробки сырья;

$\nu$  – коэффициент Пуассона пробки сырья.

---

\*Кобаяси А. Экспериментальная механика. В 3 т. / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. Т. 2. 552 с.

С помощью анализа размерности получаем

$$\varepsilon = \frac{F}{E\ell^2} \varphi\left(\frac{x_i}{\ell}, \frac{\lambda_i}{\ell}, \nu\right), \quad (2)$$

где  $\varphi\left(\frac{x_i}{\ell}, \frac{\lambda_i}{\ell}, \nu\right)$  – функция  $\pi$ -переменных, включающая только безразмерные члены.

Условия подобия находим, приравнявая  $\pi$ -переменные в правой части уравнения (2) для модели и пробки сырья в канале ротора питателя высокого давления реального объекта. Равенство первых двух  $\pi$ -переменных  $\left(\frac{x_i}{\ell}$  и  $\frac{\lambda_i}{\ell}\right)$

возможно при условии, что между моделью и реальным объектом существует геометрическое подобие как формы, так и координат. Геометрическое подобие формы и координат приближенно определяется масштабом площади поперечного сечения. В питателях высокого давления площадь поперечного сечения  $\lambda\ell = \text{const}$ , тогда и для модели зададим  $\lambda_m\ell_m = \text{const}$ . При этих условиях масштаб площади поперечного сечения:

$$n_A = \frac{\lambda\ell}{\lambda_m\ell_m}. \quad (3)$$

Материал пробки сырья в модели и в реальном объекте принимаем одинаковым:

$$n_\nu = \frac{\nu}{\nu_m} = 1. \quad (4)$$

Тогда графики зависимости относительных напряжений  $\sigma$  от деформации ( $\sigma/E$  от  $\varepsilon$ ) также будут одинаковыми. В пластической области деформации не являются однозначной функцией напряжений. Для выполнения условий подобия  $E = E_m$  нагружение модели должно происходить по тому же режиму, что и соответствующее нагружение реального объекта. Отсюда следует, что  $F_m/\lambda_m\ell_m = F/\lambda\ell$ . Масштаб сил должен соответствовать соотношению

$$n_F = \frac{\lambda\ell}{\lambda_m\ell_m}. \quad (5)$$

При идентичной схеме нагружения периоды нагружения также следует принимать равными, т.е.  $t = t_m$ , тогда

$$n_t = \frac{t}{t_m} = 1. \quad (6)$$

Таким образом, при разработке модели для исследования процесса деформации суспензии в питателе высокого давления компоненты деформации должны удовлетворять следующим масштабам:

$$n_A = \frac{\lambda \ell}{\lambda_m \ell_m}; \quad n_v = 1; \quad n_F = \frac{\lambda \ell}{\lambda_m \ell_m}; \quad n_t = 1.$$

Модель, сконструированная с соблюдением указанных масштабов, будет по условиям теории подобия приближенно удовлетворять реальному объекту.

Поступила 17.01.12

*V.P. Sivakov, I.A. Partin*

The Ural State Forest Engineering University

### **Similarity Criteria of Suspension Deformation Model in a High-Pressure Feeder**

The paper presents a technology for defining similarity criteria of suspension deformation model in a channel of a high-pressure feeder. Formulas were devised to calculate the degree of similarity of the model to the real object in terms of cross-section area, material, external force and time.

*Keywords:* feeder, suspension, commutation, model, pipeline.

---

---