

УДК 658.012.011.56

## АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЗИНОСМЕШЕНИЕМ

А.В. КРОЛИВЕЦ

ОАО «Белизна»  
Минское шоссе, Бобруйск, 213824, Беларусь

Поступила в редакцию 2 марта 2012

В статье приводится сравнение различных систем управления резиносмешением и описывается взаимосвязь параметров резиносмесителя и процесса смешения.

*Ключевые слова:* резиносмешение, система управления, математическая модель, оптимизация.

### Введение

Для интенсификации и увеличения эффективности производства необходимы автоматизация и внедрение оптимизирующих управляющих систем, использующих методы кибернетического моделирования и электронную вычислительную технику [1-3]. Использование этих средств позволяет не только снижать трудовые затраты, но также стабилизировать весь производственный процесс и повысить его уровень за счет исключения из производства субъективных факторов и оптимизации технологического процесса в целом. Целью автоматизации подготовительного производства, кроме того, является устранение тяжелого ручного труда при развеске и загрузке ингредиентов.

### Теоретический анализ

Подготовительное производство шинных заводов все еще продолжает оставаться одним из наиболее трудоемких и энергоемких участков в целом по отрасли. Вместе с тем следует подчеркнуть, что при современных коротких циклах смешения (2-3 мин) и обилии различных компонентов резиновой смеси (до 30-40), проведение процесса и управление им вручную осуществить вообще невозможно. Это можно сделать только с помощью автоматизирующих и программирующих систем.

Системы автоматизированного контроля и управления (САУ) охватывают все многообразие осуществляемых при изготовлении резиновых смесей процессов, включая управление транспортировкой ингредиентов, их дозированием, обеспечение необходимой последовательности загрузки и работой резиносмесителя [3].

Появление резиносмесителей с плавным регулированием частоты вращения роторов и температуры поступающих хладагентов создало возможность использования автоматизированных систем управления (АСУ) резиносмесителями.

В работе [4] рассмотрена проблема оптимального управления частотой вращения роторов резиносмесителя. Показано, что управление частотой вращения роторов по полученному расчетному закону при приготовлении резиновых смесей заданного качества сокращает продолжительность смешения на 10 % и снижает энергозатраты на 3,5 %.

## Методика

Влияние размеров резиносмесителя на процесс смешения рассматривалось еще Бергеном [5], который связал эффективность резиносмесителя с определенным уровнем напряжения сдвига:

$$\sigma = \eta \frac{U}{H} = \eta \frac{RN}{H} = C_1,$$

где  $U$  – общий коэффициент теплопередачи;  $H$  – зазор между выступами ротора и стенкой камеры;  $R$  – радиус ротора;  $N$  – угловая скорость;  $C_1$  – константа.

Берген также отметил необходимость равенства общего напряжения сдвига материала в больших и малых машинах:

$$\Upsilon = \frac{L}{H} \cdot N = C_2,$$

где  $L$  – длина выступа на роторе;  $C_2$  – константа.

Было указано, что скорость ротора большого резиносмесителя должна быть снижена для достижения одинакового эффекта.

Применение экспериментальных методов для получения обобщенных зависимостей в сочетании с математической статистикой, а также с теорией подобия и моделирования, позволяет в значительной степени облегчить решение различных задач при разработке режимов приготовления смесей и конструкций нового смесительного оборудования. Методы теории подобия и анализа размерностей достигли большой детализации в технологии перемешивания простых и аномально-вязких жидкостей [6].

Математический подход основан на нормализации основных дифференциальных уравнений гидродинамики вязкой жидкости.

Эти уравнения в сокращенной записи для трехмерной задачи будут:

$$D(p\omega) = -\nabla p + \eta(\nabla \cdot V_{ij}) + \rho \bar{g}, \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \omega_i}{\partial t} + \frac{\partial \omega_i}{\partial x_j} \omega_j \right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g + \eta \left( \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial x_k \partial x_j} \right) \quad (2)$$

где  $D$  – знак полной производной;  $\nabla$  – оператор Гамильтона;  $V_{ij}$  – тензор скорости деформации;  $V_{ij} = \partial \omega_i / \partial x_j + \partial \omega_j / \partial x_i$ ;  $\omega$  – скорость течения жидкости.

Суммирование (в данном случае – по « $j$ ») производится в соответствии с правилом относительно «немного» индекса. Для гидродинамически подобных изотермических систем уравнения (1-2) при подстановках типа  $a_p = \frac{\rho'}{\rho}$  преобразуются:

$$a_p \rho \left[ \frac{a_\omega}{a_i} \frac{\partial \omega_i}{\partial t} + \frac{a^2 \omega}{a_i} \left( \frac{\partial \omega_i}{\partial x_j} \right) \cdot \omega_j \right] = a_p a_g \rho g - \frac{a_p}{a_i} \frac{\partial p}{\partial x_i} + a_\eta \eta \left[ \frac{a_\omega}{a_L^2} \frac{\partial \omega_i}{\partial x_k \partial x_j} \right]. \quad (3)$$

При соблюдении подобия уравнения (2) и (3) идентичны. Учитывая попарное равенство произведений коэффициентов подобия и деля их все на  $a_p a_\omega^2 / a_L$ , получим:

$$\frac{a_L}{a_\omega a_i} = \frac{a_g a_L}{a_\omega^2} = \frac{a_p}{a_p a_\omega^2} = \frac{a_\eta}{a_L a_p a_\omega} = 1 \quad (4)$$

В каждом из отношений (4) имеется определяющий множитель ( $t, g, p, \eta$ ). Из первого отношения:

$$\frac{a_L}{a_\omega a_i} = \frac{L_M / L_H}{\omega_M / \omega_H \cdot t_M / t_H} = 1$$

$$\frac{\omega_M t_M}{L_M} = \frac{\omega_H t_H}{L_H} = \text{idem}$$

где индекс «*M*» – означает модель, а «*H*» – натуру.

Таким образом, из первого отношения получим критерий гомохронности.  $H_0 = \frac{\omega t}{L}$ , а из других – критерии Фруда (*Fr*), Эйлера (*E<sub>u</sub>*) и Рейнольдса (*Re*), отсюда

$$f(H_0, Fr, E_u, Re) = 0$$

или

$$E_u = A Fr^m Re^l H_0^1 \quad (5)$$

Таким образом, *E<sub>u</sub>* выражен степенной функцией критериев *Fr*, *H<sub>0</sub>* и *Re*. Критериальное уравнение (5) дает общую связь между критериями гидродинамического подобия, которое должно быть для различных классов явлений и устройств конкретизировано путем экспериментального определения коэффициентов уравнения.

Так, для перемешивающих устройств, эксплуатирующихся в вязкой среде, Штербачеком и Тауском [7] определен критерий мощности *K<sub>N</sub>* или критерий Эйлера при смешении (*E<sub>u см</sub>*).

При средних скоростях смешения и больших вязкостях *Fr* можно не учитывать (можно принять *m=0*), а в установившемся процессе *H<sub>0</sub>=const* (*l=0*). Тогда *K<sub>N</sub>* и *E<sub>u см</sub>* будут зависеть только от *Re*:

$$E_{u_{см}} = K_N = C Re_{см}^k = C \left( \frac{p n d_y^2}{\eta} \right)^k,$$

где *Re<sub>см</sub>* – критерий Рейнольдса, преобразованный для вращательного движения при смешении; *n* – частота вращения мешалки, ротора, лопасти и т.п.; *d<sub>y</sub>* – диаметр устройства (смесителя); *C* – постоянный коэффициент.

При ламинарном течении (*k≈-1*), пользуясь понятием эффективной вязкости, имеем:

$$K_N = C_1 Re^{-1}.$$

или

$$N = C_1 \eta_{эф} n^2 d_y^3;$$

т.к.  $\eta_{эф} \cdot n \approx \text{const}$ , то  $N = C_1 (\eta_{эф} \cdot n) \cdot n \cdot d_y^3$

### Заключение

В статье приводится сравнение различных систем управления резиносмешением, которые позволяют более эффективно организовать шинное производство. Наиболее эффективное воздействие на процесс приготовления резиновых смесей оказывает управление частотой вращения роторов, которое сокращает продолжительность смешения на 10% и снижает энергозатраты на 3,5 %.

# THE ANALYSIS OF CONTROL SYSTEMS OF RUBBERMIXING

A.V. KROLIVETS

## Abstract

Comparison of various control systems of rubbermixing and description of the interrelation of rubbermixer parametres and process of mixture are given in the article.

## Список литературы

1. *Lenk P.S.* // J. Appl. Polymer Sci. 1978. Vol. 22, №7. P. 1775-1781.
2. *Вострокнутов Е.Г., Новиков М.И., Прозоровская Н.В. и др.* Процессы и оборудование для изготовления резиновых смесей. М., 1977.
3. *Фадеев А.К.* Шприцевание резиновых заготовок. М., 1960.
4. *Кроливец А.В.* // Докл. БГУИР.2005. №2(10).С. 46-51.
5. *Мак-Келви Д.М.* Переработка полимеров. М., 1965.
6. *Новиков В.И., Чесноков В.В., Шварц А.Г.* Планирование эксперимента и применение вычислительной техники в процессе синтеза резины. М., 1970.
7. *Орлова В.Г., Чесноков В.В., Вострокнутов Е.Г. и др.* // Производство шин, РТИ и АТИ. 1975. №3. С. 24-26.

Библиотека БГУИР