

ВЫВОД

Таким образом, выполненный на основе модели, включающей уравнения Навье – Стокса, расчет траекторий движения шлаковых частиц в каналах литниковой системы позволил установить, что скорость движения расплава в шлакоуловителе и соотношение площадей сечения «питатель – шлакоуловитель» оказывают решающее влияние на удержание неметаллических частиц в литниковой системе. Предложенная модель для расчета движения частиц может быть использована при проектировании

литниковых систем для литья в песчано-глинистые формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галдин Н. М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. – М.: Машиностроение, 1978. – 198 с.
2. Чичко А. Н., Лихоузов С. Г. Клеточно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме // Докл. НАН Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 4. – С. 110–114.
3. Чичко А. Н., Яцкевич Ю. В. Тепловая модель расплав – зародыш и исследование характеристик переходной зоны под влиянием электронного строения 3d-элементов в алюминии // ИФЖ. – 1999. – Т. 72, № 4. – С. 792–796.

УДК 658.012.011.56

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ РЕЗИНОСМЕСИТЕЛЯ

*Докт. техн. наук, проф. КУЗНЕЦОВ А. П., асп. КРОЛИВЕЦ А. В.,
ВАСИЛЬЕВ П. В., КРАСНОБАЕВ В. В., КРОЛИВЕЦ В. А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ОАО «Белшина»*

Повышение технического уровня технологических процессов приготовления резиновых смесей и резиносмесительного оборудования – важнейшая составляющая повышения качества выпускаемых и освоения новых типоразмеров шин.

Эксплуатационные свойства шин в значительной степени определяются физико-механическими характеристиками резиновых смесей, качество которых существенно зависит от реализации оптимальных режимов смешения. Одним из эффективных управляющих воздействий при реализации оптимальных режимов смешения является регулирование частоты вращения роторов резиносмесителя.

Анализ результатов [1] математического моделирования процесса смешения свидетельствует о том, что для стабилизации теплового режима процесса целесообразно управлять частотой вращения роторов по определенному закону.

Основная цель системы управления – обеспечение оптимального (в определенном смысле) функционирования объекта управления (резиносмесителя). Степень оптимальности функционирования объекта количественно опреде-

ляется значением одного или нескольких показателей (критериев), таких как производительность, качество смесей, себестоимость, прибыль и др.

Реализация метода управления скоростью вращения роторов резиносмесителя является одним из решений задачи оптимизации периодического процесса резиносмешения с точки зрения достижения максимальной производительности резиносмесителя при изготовлении резиновых смесей заданного качества.

Оптимальным считается процесс изготовления резиновых смесей определенного состава с затратой заданного удельного количества энергии за минимальное время без превышения допустимой температуры смеси [2]. Таким образом, под кривой оптимизации понимается длительность цикла смешения t_k , а в результате решения задачи определяется оптимальный закон изменения частоты вращения роторов $n(t)$ резиносмесителя, при котором соблюдаются ограничения на данный технологический процесс и достигается минимум указанного критерия.

Рассмотрим необходимые элементы постановки задачи оптимального управления частотой вращения роторов: а) математическую мо-

дель резиносмесителя; б) совокупность ограничений, формирующих множество допустимых решений; в) критерий оптимизации.

Для характеристики качества резиновой смеси при оптимальном управлении резиносмесителем целесообразно, как свидетельствуют результаты факторного анализа [3], оценивать четыре основных показателя – пластичность Π (или вязкость), эластичность \mathcal{E} , напряжение при удлинении на 300 % E , прочность при растяжении B , так как остальные показатели качества коррелируют с указанными (рис. 1). Однако ввиду отсутствия датчиков, определяющих качество резиновых смесей в процессе их изготовления, при управлении резиносмесителем необходимо использовать косвенную информацию о процессе. К косвенным показателям, характеризующим с достаточной степенью точности данный процесс, следует отнести температуру резиновой смеси T и статический момент на валу роторов M . Для наглядного представления на рис. 1 показана эквивалентная схема резиносмесителя.

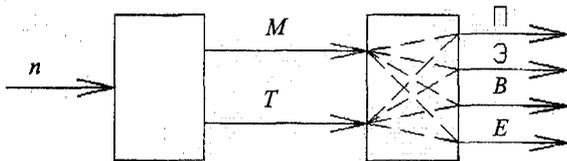


Рис. 1. Эквивалентная схема резиносмесителя: n – частота вращения роторов; M – момент на валу ротора; T – температура смеси; Π – пластичность; \mathcal{E} – эластичность; B – прочность при растяжении; E – напряжение при удлинении на 300 %

Данные и результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что математическую модель смесителя, т. е. уравнений связи между управляющим воздействием n и выходными координатами резиносмесителя M и T , можно с достаточной степенью точности представить системой уравнений вида:

$$\begin{cases} a_3 \frac{d^3 E}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 E}{dt^2} + a_1 \frac{dE}{dt} = n; \\ c_3 \frac{d^3 T}{dt^3} + c_2 \frac{d^2 T}{dt^2} + c_1 \frac{dT}{dt} = n, \end{cases} \quad (1)$$

где E и T – механическая энергия и температура резиновой смеси соответственно; a_i, c_i – коэффициенты, характеризующие физические и реологические свойства смеси и конструктивные параметры резиносмесителя, которые являются функциями частоты вращения роторов,

$$E = \int Mndt. \quad (2)$$

Энергия E вычисляется на основании показаний монитора нагрузки двигателя (осуществляет вычисление механической мощности на валу двигателя) по методу трапеций. Температура T вычисляется на основании показаний термопары и температурной поправки, учитывающей теплопроводность смеси.

Вычисление коэффициентов a_i и c_i производится исходя из того, что их значения не успевают значительно измениться в промежутки времени, близкие друг другу. Составляются две системы уравнений, в которых производные вычисляются по формулам численного дифференцирования, причем пересчет коэффициентов осуществляется не реже, чем один раз в секунду:

$$\begin{cases} a_3 \frac{d^3 E_{(1)}}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 E_{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dE_{(1)}}{dt} = n_{(1)}; \\ a_3 \frac{d^3 E_{(2)}}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 E_{(2)}}{dt^2} + a_1 \frac{dE_{(2)}}{dt} = n_{(2)}; \\ a_3 \frac{d^3 E_{(3)}}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 E_{(3)}}{dt^2} + a_1 \frac{dE_{(3)}}{dt} = n_{(3)}; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} c_3 \frac{d^3 T_{(1)}}{dt^3} + c_2 \frac{d^2 T_{(1)}}{dt^2} + c_1 \frac{dT_{(1)}}{dt} = n_{(1)}; \\ c_3 \frac{d^3 T_{(2)}}{dt^3} + c_2 \frac{d^2 T_{(2)}}{dt^2} + c_1 \frac{dT_{(2)}}{dt} = n_{(2)}; \\ c_3 \frac{d^3 T_{(3)}}{dt^3} + c_2 \frac{d^2 T_{(3)}}{dt^2} + c_1 \frac{dT_{(3)}}{dt} = n_{(3)}. \end{cases} \quad (4)$$

Данные системы можно решить любым известным методом решения СЛАУ, например методом Гаусса. После чего производится интегрирование уравнений системы (1) как системы с постоянными коэффициентами

$$\begin{cases} a_3(E_{уд} - E_{потр}) + a_2(E_{уд} - E_{потр})t + \\ + \frac{a_1}{2}(E_{уд} - E_{потр})t^2 = n \frac{t^3}{6}; \\ c_3(T_{max} - T_{тек}) + c_2(T_{max} - T_{тек})t + \\ + \frac{c_1}{2}(T_{max} - T_{тек})t^2 = n \frac{t^3}{6}, \end{cases} \quad (5)$$

где $E_{уд}$ – удельные энергозатраты на смесь; $E_{потр}$ – потребленные энергозатраты к текущему моменту; T_{max} – максимальная температура смеси; $T_{тек}$ – текущая температура смеси.

Приравняв левые части уравнений, находим t :

$$\left(\frac{c_1}{2}(T_{\max} - T_{\text{тек}}) - \frac{a_1}{2}(E_{\text{уд}} - E_{\text{потр}}) \right) t^2 +$$

$$+ (c_2(T_{\max} - T_{\text{тек}}) - a_2(E_{\text{уд}} - E_{\text{потр}})) t +$$

$$+ (c_3(T_{\max} - T_{\text{тек}}) - a_3(E_{\text{уд}} - E_{\text{потр}})) = 0. \quad (6)$$

Подставив значение t в первое уравнение системы (5), получаем

$$n = \frac{a_3(E_{\text{уд}} - E_{\text{потр}}) + a_2(E_{\text{уд}} - E_{\text{потр}}) t + \frac{a_1}{2}(E_{\text{уд}} - E_{\text{потр}}) t^2}{t^3} \cdot 6. \quad (7)$$

Верхний предел по температуре T_{\max} обусловлен тем, что при его превышении может наблюдаться деструкция полимера. Верхний предел по n_{\max} ограничивается максимальной частотой вращения роторов резиносмесителя и технологическими требованиями.

Таким образом находится вектор-функция $U(t) = \{n_1(t), n_2(t), \dots, n(t)\}$ для достижения заданных удельных энергозатрат за минимальное время без превышения максимальной температуры.

При решении задачи на ЭВМ по разработанной программе на Visual C++ и программе на ANSI C для контроллера Bernecker & Rainer для ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов, а также вычисления n по описанному выше алгоритму был определен оптимальный закон управления частотой вращения роторов (рис. 2), позволяющий интенсифицировать процесс смешения при изготовлении резиновых смесей заданного качества. При проверке полученного расчетного закона управления частотой вращения роторов лабораторного резиносмесителя в ЦЗЛ ОАО «Белшина» частоту вращения роторов варьировали в пределах 30...60 об/мин.

Исследования локальной АСУ процессом приготовления резиновых смесей выполняли при следующих условиях: протекторные смеси приготавливали из сырья одной и той же партии; исходные ингредиенты загружали одновременно; температуру и расход охлаждающего агента периодически контролировали, поддерживали постоянными; температура внутренних стенок камеры смешения и внешней поверхности роторов при загрузке ингредиентов была одинакова во всей серии экспериментов.

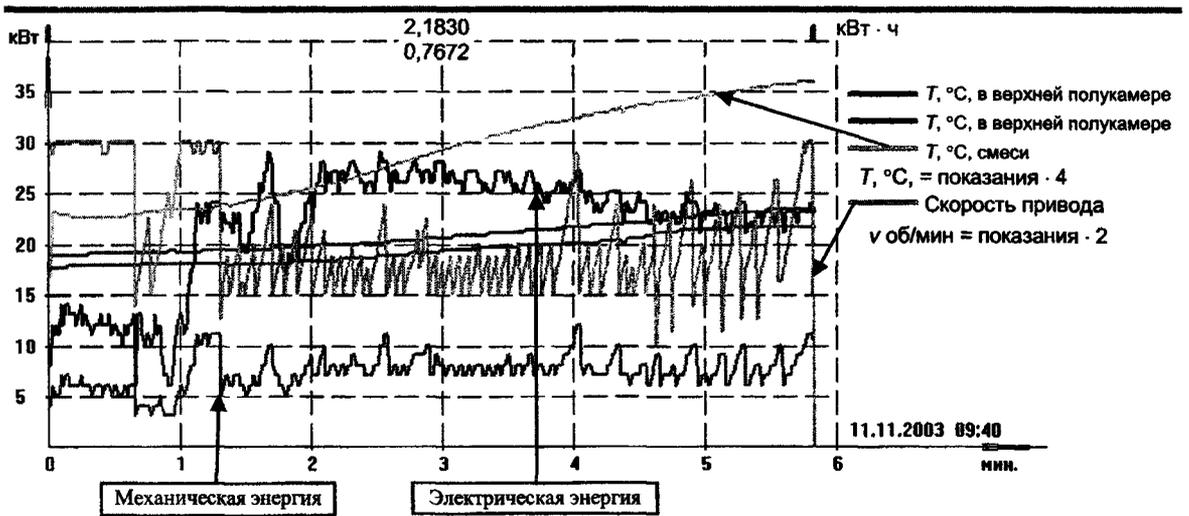


Рис. 2

ВЫВОД

Установлено, что управление частотой вращения роторов по полученному расчетному реализованному закону при приготовлении резиновых смесей заданного качества сокращает продолжительность цикла смешения на 10 %, позволяет снизить энергозатраты на 3,5 % и стабилизировать разброс вязкости от заправки к заправке с точностью ± 5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ступаченко О. Г., Пухов А. Я., Бебрис К. Г. // Каучук и резина. – 1971. – № 7. – С. 18–20.
2. Palmgren // Eng. Rubb. Lourn., 1974. – V. 156, № 5. – P. 36–40.
3. Производство шин / И. С. Попов и др. // РТИ и АТИ. – 1974. – № 8. – С. 10–13.