

УДК 658.012.011.56

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ РЕЗИНОСМЕСИТЕЛЯ

А.В. КРОЛИВЕЦ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 25 марта 2004

В статье описана методика регулирования скорости резиносмесителя, которая позволяет значительно улучшить качество резиновых смесей по сравнению с нерегулируемым по скорости методом управления резиносмешением. Содержится математическая модель резиносмесителя, а также итерационная методика расчета управления на ЭВМ. Приведено графическое описание работы системы.

Ключевые слова: резиносмеситель, математическая модель, система, управление, график.

Введение

На современном этапе развития шинной промышленности и при высоких темпах роста объема производства резиновых технических изделий (РТИ), ужесточении требований к качеству шин и РТИ важнейшей задачей является повышение технического уровня технологических процессов и резиносмесительного оборудования.

Эксплуатационные свойства шин и РТИ в значительной степени определяются физико-механическими характеристиками резиновых смесей, качество которых существенно зависит от частотного режима процесса смешения.

Теоретический анализ

Известно, что наиболее эффективное управляющее воздействие на процесс изготовления резиновых смесей оказывает частота вращения роторов резиносмесителя. Анализ результатов [3] математического моделирования процесса смешения показывает, что для стабилизации теплового режима процесса целесообразно управлять частотой вращения роторов по определенному закону.

С появлением в нашей стране и за рубежом резиносмесителей высокой единичной мощности с плавным регулированием частоты вращения роторов и температуры поступающих хладоагентов возникла необходимость в создании и эффективном использовании автоматизированных систем управления (АСУ) резиносмесителями.

Широкое внедрение в шинной промышленности АСУ, базирующихся на применении ЭВМ, обеспечивает возможность постановки задач оптимизации и разработки эффективных алгоритмов их решения.

Основной целью системы управления является обеспечение оптимального (в определенном смысле) функционирования объекта управления (резиносмесителя). Степень оптимальности функционирования объекта количественно определяется значением одного или несколь-

ких показателей (критериев), таких как производительность, качество смесей, себестоимость, прибыль и др.

На современном этапе представляется целесообразным оптимизировать периодический процесс 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 [5]. 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 модель 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 [4], оценивать четыре основных показателя — пластичность Π (или вязкость), эластичность \mathcal{E} , напряжение при деформации 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 . На рис. 1 показана эквивалентная схема резиносмесителя.

Методика

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;

$$E = \int Mn dt. \quad (2)$$

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

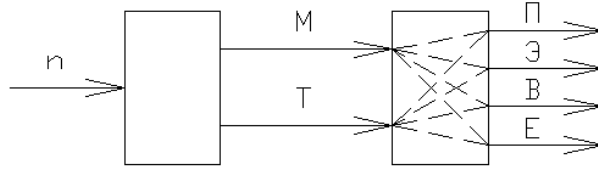


Рис. 1 Эквивалентная схема резиносмесителя: n — частота вращения роторов; M — момент на валу ротора; T — температура смеси; Π — пластичность; \mathcal{E} — эластичность; B — прочность при растяжении; E — напряжение при удлинении на 300 %

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

$$\begin{cases} a_3 (E_{\acute{o}\grave{a}} - E_{\grave{n}\acute{o}\grave{d}}) + a_2 (E_{\acute{o}\grave{a}} - E_{\grave{n}\acute{o}\grave{d}})t + \frac{a_1}{2} (E_{\acute{o}\grave{a}} - E_{\grave{n}\acute{o}\grave{d}})t^2 = n \frac{t^3}{6}, \\ c_3 (T_{\max} - T_{\acute{o}\grave{a}\acute{e}}) + c_2 (T_{\max} - T_{\acute{o}\grave{a}\acute{e}})t + \frac{c_1}{2} (T_{\max} - T_{\acute{o}\grave{a}\acute{e}})t^2 = n \frac{t^3}{6}, \end{cases} \quad (5)$$

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

Приравняв левые части уравнений, находим t :

$$\begin{aligned} & \left(\frac{c_1}{2} (T_{\max} - T_{\acute{o}\grave{a}\acute{e}}) - \frac{a_1}{2} (E_{\acute{o}\grave{a}} - E_{\grave{n}\acute{o}\grave{d}}) \right) t^2 + (c_2 (T_{\max} - T_{\acute{o}\grave{a}\acute{e}}) - a_2 (E_{\acute{o}\grave{a}} - E_{\grave{n}\acute{o}\grave{d}})) t + \\ & + (c_3 (T_{\max} - T_{\acute{o}\grave{a}\acute{e}}) - a_3 (E_{\acute{o}\grave{a}} - E_{\grave{n}\acute{o}\grave{d}})) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Подставив значение t в 1-е уравнение системы (5), получаем:

$$n = \frac{a_3(E_{\text{оа}} - E_{\text{подо}}) + a_2(E_{\text{оа}} - E_{\text{подо}})t + \frac{a_1}{2}(E_{\text{оа}} - E_{\text{подо}})t^2}{t^3} \quad (7)$$

Верхний предел по температуре T_{max} обусловлен тем, что при его превышении наблюдается подвулканизация резиновой смеси. Верхний предел по $n_{\text{макс}}$ 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.

Экспериментальная часть

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.

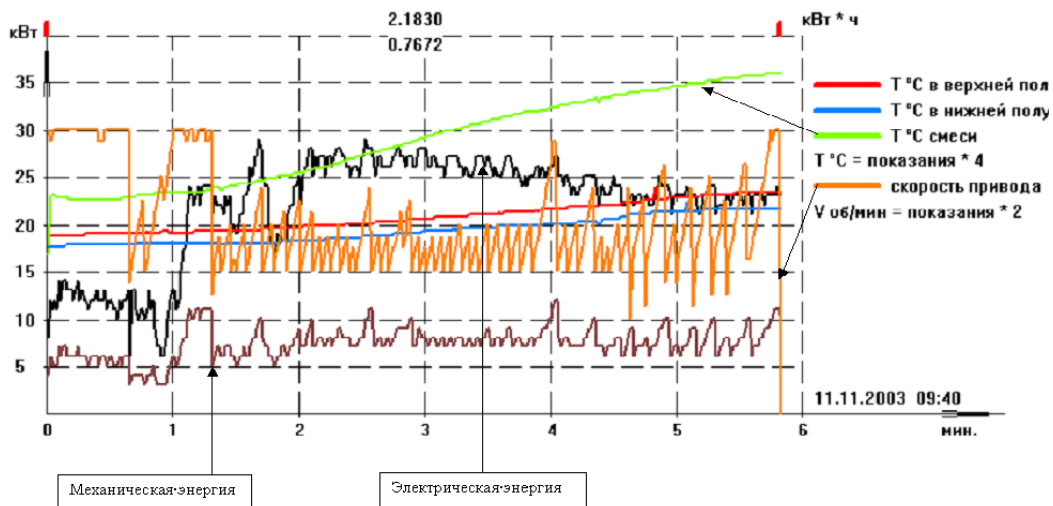


Рис. 2. Оптимальный закон управления частотой вращения роторов

Результаты и их обсуждение

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

Заключение

На основании экспериментальных данных установлено, что управление частотой вращения роторов по полученному расчетному реализованному закону при приготовлении рези-

новых 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 $\pm 5\%$.

OPTIMUM CONTROL OF FREQUENCY OF ROTATION OF ROTORS RUBBERMIXER

A.V. KROLIVETS

Abstract

In given article the technique of regulation of speed rubbermixer that allows improving considerably quality of rubber mixes, in comparison, with a method of management noncontrollable on speed rubbermixer is described. The article contains mathematical model rubbermixer, and also an iterative design procedure of management on the COMPUTER. The graphic description of work of system is resulted.

Литература

1. *Погонин В.А., Вольнов А.А., Вострокнутов Е.Г.* Оптимальное управление частотой вращения роторов резиномесителя (НИИШП). М., 1983.
2. *Бернхард Э.* Переработка термопластических материалов / Пер. с англ.; Под ред. Г.В. Виноградова. М., 1962.
3. *Ступаченко О.Г., Пухов А.Я., Бебрис К.Г.* // Каучук и резина. 1971. № 7. С. 18–20.
4. *Попов И.С. и др.* РТИ и АТИ. 1974. № 8. С. 10–13.
5. *Palmgren* // Eng. Rubb. J. 1974. Vol. 156, № 5. P. 36–40.