

УДК 681.3

## СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТОКА МАТЕРИАЛА В ПНЕВМОСИСТЕМЕ

Марсова Е.В., Колбасин А.М., Шухин В.В., Тан Цзююя

На предприятиях строительной отрасли значительный объем энергетических затрат приходится на транспортировку тонкодисперсных материалов. Вопросы обеспечения оптимального функционирования высокопроизводительных систем пневмотранспортирования, в том числе, выноса измельченного материала из свободного пространства барабана в шаровых мельницах с малыми энергетическими затратами приобретают важное значение для снижения себестоимости выпускаемой продукции и повышения рентабельности производства. Решение этих задач связано с необходимостью определения принципов построения автоматизированных систем управления технологическими режимами пневмотранспортирования на базе современных средств автоматизации, управления и вычислительной техники [1 – 6].

При анализе работы таких установок приходится использовать достаточно разноплановые характеристики воздушной среды, транспортируемого материала в потоке и самого материалопровода.

Формирование модели системы, учитывающей все физические особенности процесса пневмотранспортирования, приводит к большой и практически неприемлемой размерности модели, а вынужденное усечение числа входных и выходных переменных - к заведомо неполной априорной информации об объекте. Необходим иной подход при оценке свойств пневмотранспортной установки, рассматривая ее в специфическом контексте теории управления, как элемент автоматической системы регулирования. Представление пневмотранспортной установки, как объекта управления, позволяет во многом упростить ее математическую модель, интегрально отобразив в ее структуре и коэффициентах только те основные параметры установки, которые влияют на ее динамические свойства. Необходимо связать между собой основные характеристики дисперсной среды (расход, плотность, массу перемещаемого материала) и аэродинамические силы, создаваемые воздуходувной машиной, прокачивающей воздух через пневмопровод или свободное пространство мельницы.

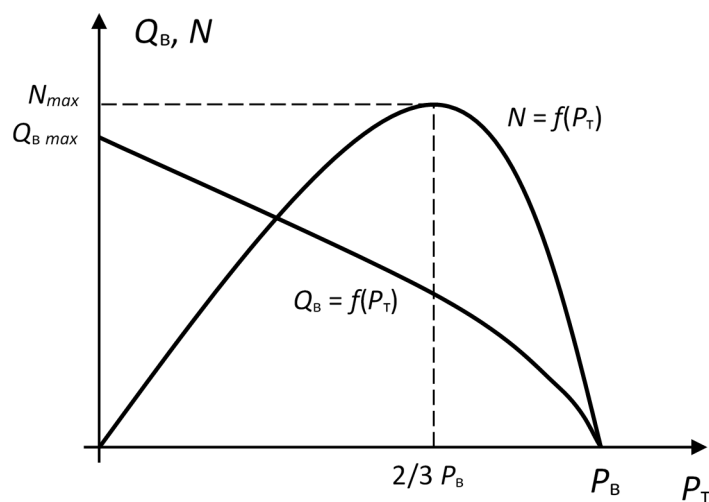
Энергетика воздуходувной машины непосредственно связана с динамикой, габаритами и общей массой транспортируемого материала и определяется ее полной мощностью

$$N_B = Q_B P_T, \quad (1)$$

где  $Q_B$  – расход несущей среды (воздуха) воздуходувной машины,  $P_T$  – давление, создаваемое в трубопроводе;  $Q_B = V \rho_a$ ;  $N = N(V, \rho_a)$ ;  $\rho_a$  - удельная плотность материала,  $V(t)$ -скорость перемещения аэросмеси.

График изменения мощности пневмосистемы, представленный на рисунке 1 показывает, что она, как объект управления, характеризуется тремя взаимосвязанными параметрами  $Q_B$ ,  $N$ ,  $P_T$ , из которых  $P_T$  в свою очередь зависит от скорости несущей среды и удельной плотности материала.

Основным возмущением системы является изменение удельной плотности материала аэросмеси, что влечет за собой последовательное изменение давления в пневмопроводе или свободном пространстве мельницы, скорости потока и расхода воздуха вентиляторной установки при заданном постоянном значении ее мощности. С помощью изменения положения заслонки вентиляторной установки можно изменить величину расхода воздуха и, соответственно, давление в пневмопроводе. Скорость движения аэросмеси при этом также изменится. Однако, если она окажется меньше критической, то за счет выпадения частиц материала произойдет снижение производительности установки.



**Рисунок 1 - Графики зависимостей  $Q_B = f(P_T)$  и  $N = f(P_T)$**

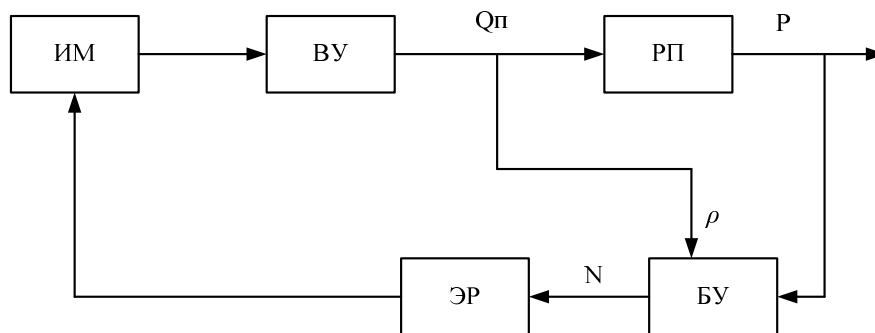
Необходим иной подход к выбору способа и структуры системы управления, максимально используя мощность вентиляторной установки, поддерживая в процессе регулирования ее экстремальное значение в соответствии с нагрузочной характеристикой (рисунок 1). В условиях большого разброса удельной плотности аэросмеси контур экстремального управления должен обеспечить корректирующее воздействие по оптимизации системы, которое можно реализовать за счет изменения положения заслонки.

По принципу поиска экстремума, системы экстремального регулирования (СЭР) могут быть шагового типа, использующие для управления знак приращения выходного сигнала; реагирующие на знак производной выходного сигнала; с модулированным входным сигналом, использующим фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного; с запоминанием экстремума, использующим разность между экстремальным и текущим значениями выходного сигнала.

С учетом особенностей технологического процесса аспирации наиболее эффективна схема СЭР шагового типа, представленная на рисунке 2.

В условиях большого разброса удельной плотности аэросмеси  $\rho$  контур экстремального управления должен обеспечить корректирующее воздействие по оптимизации системы, которое можно реализовать за счет изменения положения заслонки

В функциональной схеме управления (рисунок 2) отсутствует элемент, физические свойства которого определяли бы экстремальную характеристику на рисунке 1. Статическая характеристика с экстремумом формируется в данном случае искусственным способом, за счет перемножения параметров  $Q_B$ ,  $P_T$ , определяющих процесс пневмотранспортирования, в блоке БУ. Задача оптимизации состоит в том, чтобы при воздействии на систему неконтролируемых возмущений обеспечить такое управление величиной производительности вентиляторной установка (ВУ)  $Q_B$ , чтобы получить максимальное значение мощности  $N$ .



**Рисунок 2 - Функциональная схема СЭР:**

**РП – рабочее пространство мельницы; ВУ – вентиляторная установка; БУ – блок умножения; ЭР – экстремальный регулятор; ИМ - исполнительный механизм заслонки**

Процесс управления в системе протекает следующим образом. Сигналы, пропорциональные нагрузке и давлению в рабочем пространстве мельницы (РП), поступают в блок экстремального регулятора (ЭР), который, воздействуя через исполнительный механизм ИМ на заслонку вентиляторной установки, поддерживает величину полезной мощности пневмосистемы на максимальном уровне, за счет изменения  $Q_B$ .

Регулятор системы автоматического поиска предназначен для того, чтобы поддерживать величину  $N$  на выходе системы максимальной, и изменять значения положения регулирующего органа воздуходувной машины, в некоторые дискретные моменты времени. Система автоматической оптимизации производит  $n$  наблюдений величины  $N$  при фиксированном управляющем воздействии  $u = u_x - \delta$ , что дает некоторую выборку  $\{N_i = N(t_i)\}$ ;  $i=1,2,\dots,n$ . Затем происходит скачкообразное

изменение управляющего воздействия на величину  $2\delta$  и производится следующая серия из  $n$  наблюдений, но уже для фиксированного управляющего воздействия  $u = u_x + \delta$ . По этим наблюдениям (измерениям) в количестве  $2n$  принимается решение о том, на какую величину  $\Delta u$  надо изменить управляющее воздействие на входе объекта, чтобы величина  $N$  приняла максимальное значение.

Таким образом решение задачи обеспечения оптимального функционирования систем пневмотранспортирования тонкодисперсных материалов с малыми энергетическими затратами связано с внедрением систем управления, работающих по шаговому принципу с корректирующим воздействием по изменению производительности вентиляторной установки.

### **Список информационных источников**

- [1] Солодников С.Е., Марсова Е.В. Математическая модель пневмотранспортной установки // Сб. науч. тр. секции «Строительство» РИА, 2003, с.170-171.
- [2] Солодников С.Е., Абдулханова М.Ю. Регулирование расхода при транспортировании сыпучих материалов // Сб. науч. тр. «Электронные системы автоматического управления на транспорте и в строительстве», - М.: МАДИ, 1999, с. 52-54.
- [3] Марсов В.И. Сравнительный анализ систем экстремального регулирования процессов транспортирования нефтегазоводяной смеси / А.В. Илюхин, А.Б.Николаев, В.И. Марсов, А.В. Остроух // Современные наукоемкие технологии. - М.: Академия естествознания, 2011. - № 3. - С. 35 – 39/
- [4] Марсов В.И. Системы экстремального регулирования процессов транспортирования нефтегазоводяной смеси / А.В. Илюхин, В.И. Марсов, А.В. Остроух, П.В.Замыцких // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - М.: «Научтехлитиздат», 2012. - №5. - С. 10-13.
- [5] Марсов В.И. Принципиальные электрические схемы экстремальной системы регулирования процессом транспортирования нефти / А.В. Илюхин, В.И. Марсов, А.Б.Николаев, А.В. Остроух // Промышленные АСУ и контроллеры. - М.: «Научтехлитиздат», 2013. - №1. - С. 50-61.
- [6] Остроух, А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности / [ред. А.В. Остроух] - М: ООО "Техполиграфцентр", 2011. - 240 с. - ISBN 978-5-94385-056-1.