

Либенко Александр Владимирович
Libenko Aleksandr Vladimirovich
Профессор кафедры АПП
Доктор технических наук, профессор
Professor of APP chair

Марсова Екатерина Вадимовна
Marsova Ekaterina Vadimovna
Профессор кафедры АПП
Доктор технических наук, профессор
Professor of APP chair

Суэтина Татьяна Александровна
Suetina Tatyana Aleksandrovna
Профессор кафедры АПП
Доктор технических наук, профессор
Professor of APP chair

Колбасин Александр Маркович
Kolbasin Aleksandr Markovich
Доцент кафедры АПП
Associate professor of APP
Кандидат технических наук, доцент

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
E-Mail: madi-app@bk.ru
E-Mail: alex123456789.a@yandex.ru

Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами – 05.13.06

Выбор метода автоматизации технологического процесса пневмотранспортирования сыпучих материалов

Choice of the method of automation of technological process of
pnevmotransportirovaniy of bulks

Аннотация: Рассмотрен новый подход к синтезу модели пневмотранспортной установки учитывающий принципы и методы расчетов теории автоматического управления. Выбор методов автоматизации процессов пневмотранспортирования опирается на модель, отображающую интегральные представления о перемещении потока сыпучего материала в плотной фазе. Выбранный способ управления в системе исходит из того, что для поддержания мак-

симальной мощности N_{ma} при переменных в виде расхода аэросмеси и движущей активной силе P_n , перемещающей материал в пространстве материалапровода, реализован на основе системы экстремального регулирования (СЭР). Структура автоматического управления сформирована за счет включения экстремального регулятора ЭР в контур управления мощностью вентилятора, получаемой перемножением давления в массопроводе и производительности материального потока, за счет изменения положения заслонки вентиляторной установки.

The Abstract: New approach to synthesis of model of pneumotransport installation considering the principles and methods of calculations of the theory of automatic control is considered. The choice of methods of automation of processes of pneumotransportation leans on the model displaying integrated ideas of movement of a stream of bulk in a dense phase. The chosen way of management in system recognizes that for temporary use of the maximum power of N_{ma} at variables in the form of an expense of an aero mix and the driving active force of P_n moving a material in space материалапровода, is realized on the basis of the system of extreme regulation (SER). The structure of automatic control is created at the expense of turning on of the extreme regulator AYR in a contour of management by the capacity of the fan received by multiplication of pressure in массопроводе and productivity of a material stream, at the expense of change of position of the gate of ventilatory installation.

Ключевые слова: Пневмотранспортирование, автоматизация, аэросмеси, экстремальное управление, Структура автоматического управления.

Keywords: Structure of automatic control, Pneumotransportation, automation, aero mixes, extreme management.

Современные технологические линии по пневматическому транспортированию различных сыпучих и порошкообразных материалов внедрены практически во всех сферах хозяйственной деятельности нашего общества: строительной индустрии, сельском хозяйстве, химической, угольной, деревообрабатывающей, горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии.

По сравнению с механической подачей сыпучих материалов пневматический транспорт обладает рядом преимуществ: гибкостью и герметичностью трассы, которые улучшают санитарно-гигиенические условия труда, сокращает потери материала и максимально способствует охране воздушной среды; меньшим количеством обслуживающего персонала, особенно на больших трассах и т.д. Снижение затрат и повышение качества выпускаемой продукции, путем выявления скрытых резервов и совершенствования существующих технологий, является одной из основных задач развития общественного производства.

Поэтому вопросы обеспечения оптимального функционирования высокопроизводительных систем пневмотранспортирования тонкодисперсных строительных материалов с малыми энергетическими затратами приобретают важное значение для снижения себестоимости выпускаемой продукции и повышения рентабельности производства.

Опыт применения автоматизированного управления пневмотранспортными установками, связан, в первую очередь, со схемами обслуживающей автоматики, функционированием простейших систем контроля и стабилизации отдельных параметров. Однако практически отсутствуют сложные системы автоматизированного управления и оптимизации режимных параметров пневмотранспортных установок. Поэтому решение задач по созданию автоматических систем управления процессами пневмотранспортирования сыпучих строительных материалов является актуальным.

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

На объект влияют возмущающие воздействия как из-за колебаний давления и расхода воздуха в пневмосети и изменения местных сопротивлений в пневмопроводе, так и свойств аэросмеси из-за изменения размера и гранулометрического состава частиц транспортируемого материала. Поэтому процессы пневмотранспортирования сыпучих строительных материалов относятся к классу многосвязных с большим числом переменных параметров.

В случае формирования расчетной модели системы, отражающей все физические особенности процесса пневмотранспортирования, не возможно учесть все входные и возмущающие переменные, поскольку среди них есть трудноизмеряемые и различающиеся по степени влияния на процесс, что приводит к большой и практически неприемлемой размерности модели. Поэтому существующие модели мало пригодны для оперативного управления процессами пневмотранспортирования сыпучих материалов. Требуется иной подход к синтезу модели пневмотранспортной установки учитывающий, в первую очередь, принципы и методы расчетов теории автоматического управления

Выбор методов автоматизации процессов пневмотранспортирования должен опираться на модель, отображающую интегральные представления о перемещении неразрывного потока в плотной фазе при минимальных допустимых скоростях воздуха и максимальных допустимых концентрациях смеси материала с воздухом. Необходимо связать между собой основные характеристики дисперсной среды (расход, плотность, массу перемещаемого материала) и аэродинамические силы, создаваемые воздуходувной машиной.

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 при перемещении неразрывного потока в плотной фазе.

Реальную среду внутри материалопровода необходимо рассматривать как динамическую систему, полагая, что при пневмотранспортировании сыпучие материалы не вступают в химические реакции и не участвуют в массо- и теплообменных процессах с воздушной средой.

Наиболее общая схема пневмотранспортной установки представлена на рис.1. Она включает в себя: воздуходувную машину, загрузочное устройство, транспортный трубопровод, разгрузитель и пылеулавливающее устройство.

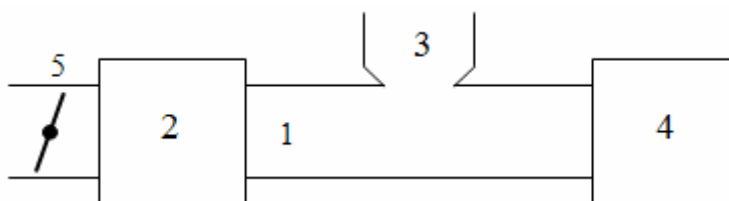


Рис. 1. Функциональная схема пневмотранспортной установки:

1 – пневмопровод, 2 – воздуходувная машина, 3 – питатель, 4 – разгрузитель, 5 – заслонка

Процесс транспортирования материала в плотной фазе имеет свои специфические особенности, связанные со значительной концентрацией частиц в потоке и скоростью несущей среды, превышающей значение скорости уноса частиц твердого компонента. Следствием этого является значительное увеличение перепада давления в материалопроводе.

При построении модели пневмотранспортной системы будем исходить из определенных характеристик процесса пневмотранспортирования в плотной фазе [1,2,3]. В энергетическом отношении этот режим находится на границе устойчивого транспортирования при ми-

нимально допустимых скоростях воздуха и максимально допустимых концентрациях смеси материала с воздухом. Поэтому оптимизация процесса транспортирования предполагает использование максимального энергетического ресурса воздуходувной машины. Затраты энергии на пневмотранспортирование являются результатом динамического взаимодействия поверхностных массовых и инерционных сил, то есть соответствующего изменения условий силового взаимодействия в потоке аэросмеси. На энергозатраты режимов транспортирования влияют множество факторов, таких как: физические свойства частиц, состояние и расход несущей среды, расходная концентрация или производительность установки по транспортируемому материалу, геометрия и размеры трубопровода, размеры, плотность и скорость витания частиц. Поверхностные, массовые и инерционные силы определяющие условия движения некоторого конечного объема аэросмеси, представляют собой динамическую систему, в которой изменение любой из сил должно вызвать соответствующие изменения остальных. Множество параметров, характеризующих процесс пневмотранспортирования, не может быть использовано с учетом всех возможных взаимовлияний при разработке динамической модели пневмосистемы. Однако в этом нет необходимости, когда речь идет о модели объекта управления, так как для описания процесса выбирается только пара взаимосвязанных параметров входа и выхода, наиболее полно характеризующих динамический процесс.

Для построения рабочей модели пневмопровода необходимо связать основные характеристики дисперсной среды (расход, плотность массу перемещаемого материала) и аэродинамических сил, создаваемых воздуходувной машиной.

Энергетика воздуходувной машины непосредственно связана с динамикой, габаритами и общей массой транспортируемого материала и

определяется ее полной мощностью

$$N = P_n Q_n ; \quad (1)$$

где Q_n – расход несущей газовой среды воздуходувной машины, P_n – давление, создаваемое в массопроводе.

Переход к интегральным характеристикам процесса при описании объектов управления не только оправдан, но и является единственным эффективным методом представления элементов систем автоматического регулирования. При этом удается суммарно учесть все частные параметры, влияющие на процессы транспортирования.

Модель, описывающая состояние процессов пневмотранспортирования пневмотранспортной установки (ПУ), должна учитывать многоканальную связь ее переменных (рис.2).

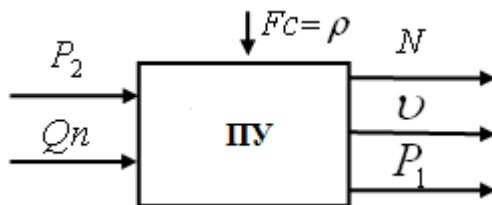


Рис. 2. Пневмотранспортная установка, как объект управления:

P_2, P_1 - давление на входе и выходе установки; N - мощность установки; Q_n - производительность вентиляторной установки; ρ - плотность аэросмеси, v - скорость аэросмеси; F_c - внешнее возмущение.

Уравнения связи модели пневмотранспортной установки, будут выглядеть следующим образом:

$$P_n = P_2 - P_1; N = P_n Q_n; m = \rho l S_n.$$

$$m \frac{dv}{dt} = F_g - F_c = S_n P_n - F_c \quad (2)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{S_n}{m} P_n - \frac{F_c}{m} = \frac{S_n}{\rho S_n l} P_n - \frac{F_c}{\rho l S_n}$$

где S_n, l – площадь и длина свободного пространства массопровода; m - масса аэросмеси; F_g - сила, действующая на аэросмесь.

На основе системы определяющих уравнений процесса пневмотранспортирования (2) синтезирована структура, отображающая основные взаимосвязи его переменных (рис.3).

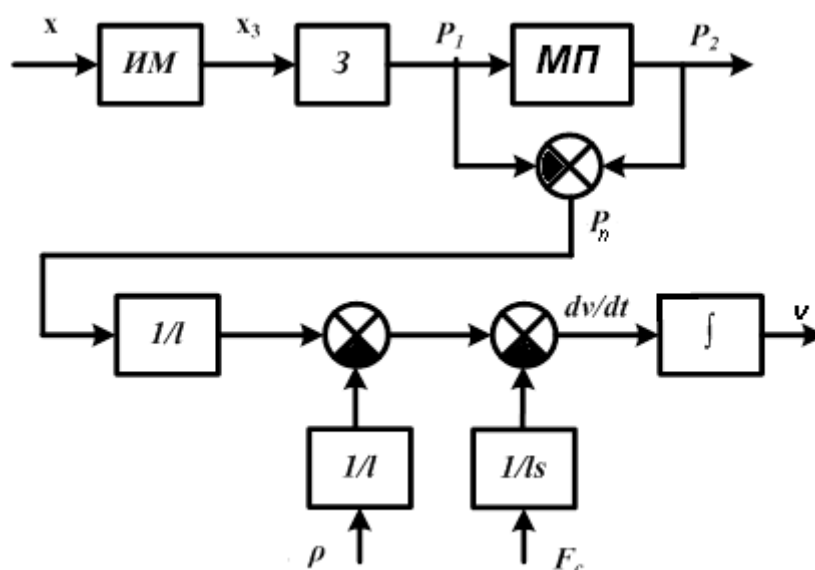


Рис. 3. Функциональная схема процесса пневмотранспортирования:
ИМ- исполнительный механизм; МП- материалопровод;
З- заслонка; x, x_3 – управляющие воздействия на ИМ и З

Анализ структуры (рис.3) показывает, что способ одноконтурного управления, использующий принцип стабилизации давления в аспирационном тракте за счет изменения расхода воздуха, не эффективен, если в качестве критерия оценки выбирать максимальную производительность установки при минимуме энергетических затрат.

Стабилизация давления не может обеспечить постоянство скорости и расхода сыпучего материала, т.к. в канале $v - P_n$ действует внешнее возмущающее воздействие, меняющее параметры v и Q_n , не зависимо от изменения P_n . Информативным параметром, наиболее полно характеризующим процесс пневмотранспортирования и связывающим самые характерные переменные процессов P_n и Q_n в материалопроводе, является мощность вентиляторной установки N . Критерием эффективности системы автоматического управления процессом пневмотранспортирования необходимо принять максимум мощности N_{ma} , затрачиваемую при этом.

График мощности системы представлен на рис. 4.

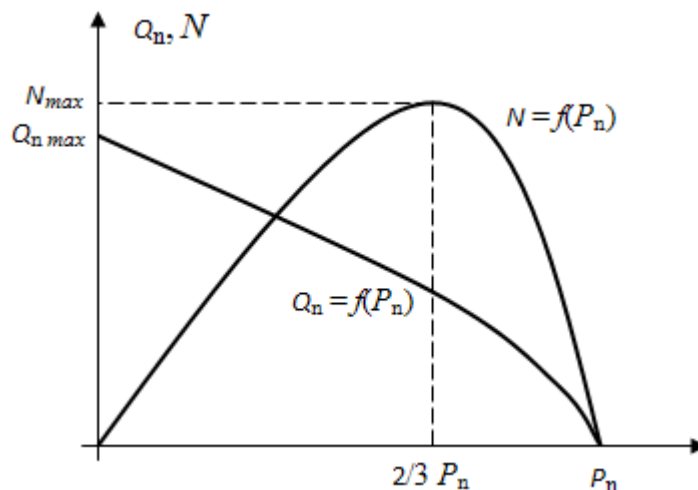


Рис. 4. Графики зависимостей $Q_n = f(P_n)$ и $N = f(P_n)$

Таким образом выбор способа управления в системе исходит из того, что для поддержания максимальной мощности $N_{ма}$ при переменных в виде расхода азросмеси и движущей активной силе P_n , перемещающей материал в пространстве материалапровода, необходимо реализовать систему экстремального регулирования (СЭР).

В этом случае структура автоматического управления (рис.5) с отрицательной обратной связью формируется за счет включения экстремального регулятора ЭР в контур управления мощностью вентилятора, получаемой перемножением P_n и Q_n , за счет изменения положения заслонки вентиляторной установки.

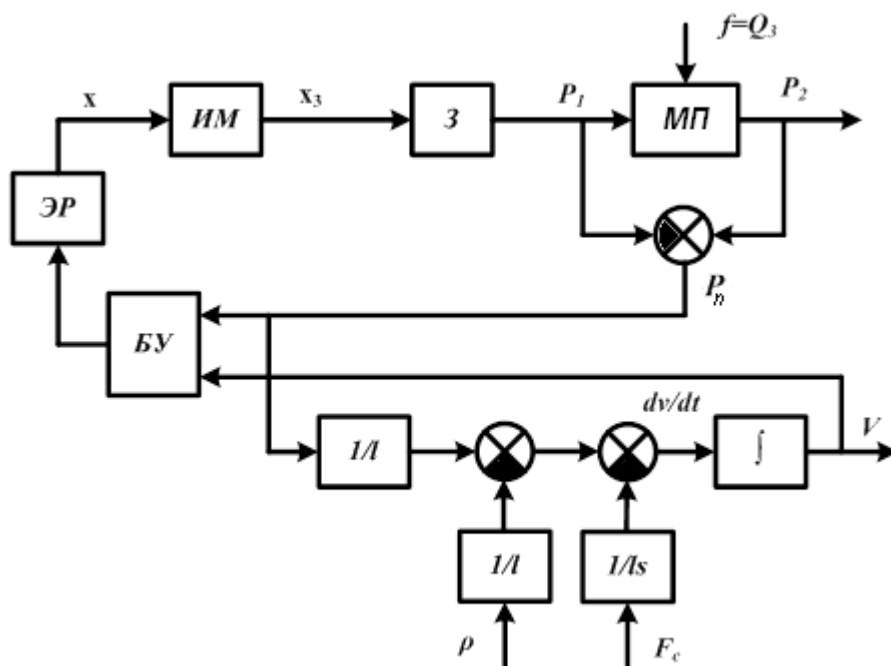


Рис. 5. Функциональная схема СЭР процессом пневмотранспортирования:
МП- материалопровод; З- заслонка; ИМ- исполнительный механизм; ЭР - экстремальный регулятор;
БУ - блок умножения; x, x_3 – управляющие воздействия на ИМ и З

Предложенный принцип автоматизации процесса пневмотранспортирования опирается на разработанную модель, отображающую интегральные представления о перемещении неразрывного потока в пневмотранспортной установке в плотной фазе. Представление пнев-

мотранспортной установки, как объекта управления, позволяет упростить ее математическую модель, интегрально отобразив в ее структуре и коэффициентах только те основные параметры установки, которые влияют на ее динамические свойства.

Судя по энергетическим характеристикам пневмосистемы способы управления по отклонению не оптимальны. Необходима регулярная настройка воздуходувной машины пневмотранспортной установки на экстремальное значение мощности вентиляторной установки, которое обеспечивает устойчивый режим транспортирования материала с минимальными энергетическими затратами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цирлин А.М. Оптимальное управление технологическими процессами /Цирлин А.М. // М.: Энергоатомиздат, 1986 - 400 с.
2. Малевич И.П., Серяков В.С., Мишин А.В. Транспортировка и складирование порошкообразных материалов. / Малевич И.П., Серяков В.С., Мишин А.В. // М.: Стройиздат, 1994.
3. Клячко М.С., Одельский Э.Х., Хрусталеv Б.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов. / Клячко М.С., Одельский Э.Х., Хрусталеv Б.М. // М.: Наука и техника, 1993.

Рецензент: Заведующий кафедрой АПП МАДИ, доктор технических наук, профессор Илюхин Андрей Владимирович