

Либенко Александр Владимирович
Libenko Aleksandr Vladimirovich
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
Профессор кафедры Автоматизация производственных процессов
Professor, Department of Automation of production processes
E-Mail: alex123456789.a@yandex.ru

Марсова Екатерина Вадимовна
Marsova Catherine Vadimovna
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
Профессор кафедры Автоматизация производственных процессов
Professor, Department of Automation of production processes

Колбасин Александр Маркович
Kolbasin Alexander Markovich
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
Доцент кафедры Автоматизация производственных процессов
Associate Professor of Automation of production processes

Тан Цзеюй
Tang Tszeuyu
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Moscow automobile and road state technical university (MADI)
Аспирант кафедры Автоматизация производственных процессов
Postgraduate of automation of production processes
E-Mail: madi-app@bk.ru

Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами – 05.13.06

Автоматические системы управления пневмодозированием

Automatic control systems pnevmodozirovaniem

Аннотация: Разработана структура системы автоматического управления отображающая не только внутренний механизм работы пневмотранспортной установки, но и определяющей возможности выполнять одновременно с транспортированием и операции дозирования потока сыпучего материала за счет использования систем оптимального управления с определенной структурой и функциональным наполнением.

The Abstract: The structure of the automatic control system to display not only the inner workings of pneumatic transport installations, but also determines the ability to perform simultaneous operations in transportation and dispensing of bulk material flow through the use of optimal control systems with a certain structure and functional content.

Ключевые слова: Пневматический транспорт, материалопровод, пневмодозирование, система автоматизации, оптимальное управление.

Keywords: Air transport, materialoprovod, pnevmodozirovanie, automation system, optimal control.

Несмотря на существующий определенный опыт реализации автоматизированных систем управления пневмотранспортированием, все они, фактически, являются разомкнутыми из-за сложности получения и использования достоверной информации об основных параметрах пневмопотока и возмущающих факторах. Сложность получения такой информации объясняется скрытым характером протекания процесса и сложностью использования измерительных систем с необходимыми характеристиками.

Пневматический транспорт широко применяют на предприятиях строительного комплекса. Однако он достаточно редко выполняет функции дозирования сыпучих материалов, не позволяя полностью использовать свои потенциальные возможности при реализации совмещенных процессов транспортирования и дозирования материалов в потоке. Для решения такой задачи необходимо не только вскрыть внутренний механизм работы пневмотранспорта, но и определить его возможности выполнять одновременно с транспортированием и операции дозирования за счет использования систем оптимального управления с определенной структурой и функциональным наполнением. Наиболее реальными объектами для такого анализа служат пневмопитатели различных конструкций: камерные, пневмовинтовые и струйные. Каждый из этих механизмов имеет свои достоинства и недостатки и может быть рационально применен в соответствующих условиях. Однако использование пневмопитателей в качестве дозирующих устройств, кроме соответствия их стандартным техническим требованиям безаварийного функционирования, как устройств пневмотранспорта, требует выполнения дополнительных условий, главное из которых – обеспечение постоянства производительности, с погрешностью, задаваемой техническими условиями к системам дозирования. Это новое еще мало исследованное направление применения пневмотранспорта в строительном производстве. Подача тонкодисперсных материалов и в первую очередь цемента и порошка на бетонных и асфальтобетонных заводах производится, как правило, шнековыми, барабанными и реже ленточными питателями, которые используются в качестве объемных дозаторов. Требования к точности дозирования при этом к ним не предъявляются. Использование пневмодозирования при всех его преимуществах, требует отбора только таких способов и устройств пневмотранспорта, которые могут обеспечить погрешность дозирования, заданную техническим регламентом.

Основные тенденции развития пневматического транспорта сыпучих материалов, связаны с обеспечением оптимальных параметров газоматериальной смеси и решением одной из важных проблем - снижением удельных энергетических затрат на тонну перемещаемого материала. Однако устройствам пневмодозирования практически не уделяется внимания. Исключение составляют аэрационные питатели, которые из-за их неудовлетворительных метрологических характеристик не нашли широкого применения, в качестве дозаторов сыпучих материалов. Качественные характеристики питателей тонкодисперсных материалов, косвенно оцениваемые по значению величины среднеквадратического отклонения σ производительности питателя Q_{Π} от заданного значения, показывают, что наихудшими свойствами, т.е. наибольшей неравномерностью подачи материала и наименьшими потенциальными возможностями использования в качестве дозаторов сыпучих материалов, обладают аэрационные питатели с наибольшей дисперсией потока материала $D = \sigma^2$ [1]. Так

при равных значениях производительности погрешности аэрационного питателя в 2 раза превосходят погрешности барабанного и шнекового питателей.

Анализ действующих пневмотранспортных систем показывает, что прослеживается общая тенденция для любых типов установок пневмоподачи - с помощью различных дополнительных устройств регулирования их производительности достичь более равномерной подачи материала (при меняющихся физико-механических свойствах материала по условиям аэрирования) и возможности приблизить их характеристики к характеристикам дозирующих устройств с удовлетворительными метрологическими характеристиками.

В последнее время уделяется большое внимание разработке комплексных технологических линий с включением от места загрузки материала до места его выгрузки элементов, обеспечивающих совмещение непосредственного процесса перемещения сыпучего продукта в потоке газа с другими технологическими процессами и в частности с дозированием.

Надежность и экономичность работы пневмотранспортных установок зависит от выдерживания постоянной производительности при оптимальной скорости транспортирования. Её завышение приводит к увеличению расхода энергии, интенсивному износу материалопровода, а уменьшение скорости ниже критической - к возникновению аварийного режима. Устойчивое пневмотранспортирование обеспечивается тогда, когда скорость газоматериальной среды не опускается ниже минимально допустимого значения, определяемого для каждого вида транспортируемого материала в зависимости от скорости витания частиц.

Пневмотранспортные системы рассчитываются при постоянной величине расхода сыпучего материала, которая в реальных условиях производства не остается постоянной во времени, а отклонения в производительности установки могут достигать иногда значительной величины. Колебания нагрузки в пневмосистеме вызывают быстротечные динамические процессы. Поэтому при отсутствии автоматического регулирования предусматриваются дополнительные запасы расхода воздуха и давления для обеспечения устойчивого транспортирования, что приводит к заранее спланированному перерасходу электроэнергии и снижению производительности пневмотранспортной системы.

Процессы пневмотранспортирования сыпучих материалов являются многосвязными с большим числом переменных параметров. При анализе работы пневмотранспортных установок приходится использовать разноплановые характеристики воздушной среды, транспортируемого потока материала и самого материалопровода.

Эффективное пневмодозирование связано, в первую очередь, с организацией оптимального режима устойчивого транспортирования материала с постоянной производительностью.

Рабочие режимы пневмотранспортных установок, как правило, обеспечиваются системами автоматизации, определяющих запуск, останов и поддержание безаварийного режима транспортирования. Все эти промежуточные операции производятся в заданной последовательности автоматически, а все механизмы и агрегаты заблокированы для устранения режимов забивания трубопровода и переполнения бункеров. Наряду со схемами обслуживающей автоматики, т.е. системами жизнеобеспечения технологического процесса, пневмотранспортные установки снабжаются простейшими системами контроля и стабилизации отдельных параметров, технически реализуемыми с помощью релейно-контактных схем или пропорциональных регулирующих устройств. Однако практически отсутствуют более сложные системы автоматического управления и оптимизации режимных параметров пневмотранспортных установок, которые могли бы обеспечить не только режим

устойчивого транспортирования, но и дозирования сыпучих материалов. Именно поэтому необходимо, в первую очередь, предложить методы автоматического управления процессом наиболее эффективного и экономически выгодного транспортирования сыпучих материалов. Наиболее адаптируемы к организации совмещенных процессов пневмотранспортирования и пневмодозирования пневмонасосы различных типов.

Широкое внедрение средств микропроцессорной техники на заводах строительных материалов и изделий, позволяет при создании систем управления технологическими режимами пневмодозирования существенным образом изменить содержание процессов управления, переместив ряд технических аспектов реализации устройств автоматики в среду алгоритмического и программного обеспечения. Это создает объективные предпосылки для разработки автоматических систем управления процессами пневмодозирования сыпучих строительных материалов на основе новейших методов и средств автоматизации.

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.

Изменение нагрузки в пневмопроводе вызывает быстротечные переходные процессы, которые не обладают свойством самовыравнивания и приводят к неустойчивому режиму транспортирования и существенным колебаниям производительности материального потока. Эффективное пневмотранспортирование и пневмодозирование связаны в первую очередь с организацией режима устойчивого транспортирования, за счет использования оптимальных по быстрдействию автоматических систем управления, исключающих возможность выпадения частиц из потока.

В соответствии с вышесказанным разработана модель и выбран способ оптимального управления автоматической системы пневмодозирования.

Производительность пневмопотока $Q_{\Pi} = Q_B + Q_3$, определяется суммой производительностей вентиляторной установки Q_B и загрузочного устройства Q_3 и представляет собой функцию двух переменных $Q_{\Pi} = f(x, P)$: давления, создаваемого в пневмопроводе P , и перемещения заслонки на выходе вентиляторной установки x , изменяющей расход Q_B . Линеаризация функция двух переменных Q_{Π} , с помощью разложения ее в ряд Тейлора при малых приращениях переменных x и P в окрестностях точки номинального режима, связывает переменные в приращениях:

$$\Delta Q_{\Pi} = \left[\frac{\partial Q_{\Pi}}{\partial x} \right]_{x=x^0} \Delta x + \left[\frac{\partial Q_{\Pi}}{\partial P} \right]_{P=P^0} \Delta P . \quad (1)$$

Перепишем выражение (1):

$$\Delta Q_{\Pi} = K_x \Delta x - K_p \Delta P = S_{\Pi} \Delta v , \quad (2)$$

где

$$K_x = \left[\frac{\partial Q_{II}}{\partial x} \right]_{x=x^0}, K_p = \left[\frac{\partial Q_{II}}{\partial P} \right]_{P=P^0}$$

Линеаризация функция Q_{II} представлена уравнением (2) вместе с коэффициентом в виде частных производных.

Из (2), опуская значек Δ и вводя новые коэффициенты K_1 и K_2 , получим

$$P = \frac{K_x}{K_p} x - \frac{Q_{II}}{K_p} = K_1 x - K_2 Q_{II}$$

$$P = P_1 - P_2.$$

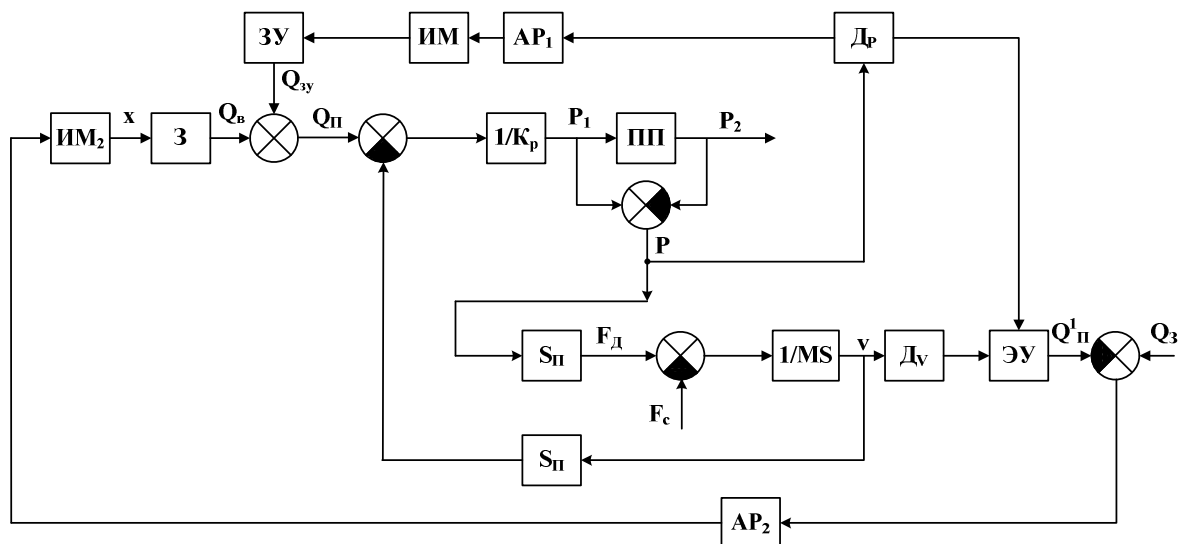
где P_2, P_1 - давление на входе и выходе материалопровода; S_{II} – площадь поперечного сечения материалопровода.

Уравнение динамики материалопровода при транспортировании аэросмеси, будет:

$$m \frac{dv}{dt} = F_d - F_c, \quad (4)$$

где m – масса материала в материалопроводе; v – линейная скорость аэросмеси; F_d – сила давления, действующая на материал в материалопроводе, F_c – усилие сопротивления материала; m - масса аэросмеси с плотностью ρ .

На основе уравнений (3-4), построена функциональная схема процесса пневмодозирования пневмотранспортной установки (рисунок)



Функциональная схема процесса пневмодозирования пневмотранспортной установки

Выбор способа управления исходит из необходимости поддержания постоянства производительности на выходе установки Q_{II}^1 в процессе дозирования аэросмеси.

Первый контур системы управления, образованный датчиком давления $Д_p$, исполнительным механизмом загрузочного устройства $ИМ^1$ и оптимальным по быстродействию регулятором $АР^1$, предназначен для стабилизации давления в

материалопроводе, что позволяет решить две взаимосвязанные задачи: приблизить метрологические характеристики измерителя давления и расхода к наилучшим и организовать контур оптимального управления, уменьшив влияние изменения давления в материалопроводе на производительность установки..

Второй контур, включающий в себя датчик измерения скорости аэросмеси D_B , элемента умножения ЭУ и оптимальный регулятор по быстродействию AP^2 осуществляет непосредственную стабилизацию величины расхода процесса пневмодозирования Q_{II} .

Разработанная двухконтурная структура оптимальной системы управления позволяет стабилизировать производительность пневмотранспортной установки, используя ее не только для транспортирования, но и непрерывного дозирования сыпучих материалов в потоке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Р.В., Воробьев В.А., Марсов В.И. Оптимизация автоматических систем управления дозированием сыпучих материалов // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство». Вып.10, – М.: РИА, 2009, с. 269-271.
2. Ковалев Р.В., Гематудинов Р.А. Особенности управления процессами пневмотранспортирования тонкодисперсных материалов // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции «Строительство». Вып.10, – М.: РИА, 2009, с. 267-269.
3. Клячко М.С., Одельский Э.Х., Хрусталеv Б.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов. – М.: Наука и техника, 1993.

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