

браженные на пространство доступных имен. Подсистемы реализуют для защищаемых объектов политики контроля доступа и аудита безопасности.

В защищенную подсистему печати интегрированы механизмы маркирования документов, аудита и контроля доступа к ресурсам печати.

Контроль процессов осуществляется микроядром независимо от субъекта контроля доступа. Реализуется мандатная защита процессов, изоляция и очистка задействованной памяти, регистрация событий аудита и иерархическое сокрытие потоков в соответствии с политикой мандатного контроля доступа.

Все упомянутые подсистемы реализуют аудит безопасности подконтрольных объектов. В ЗОСРВ «Нейтрино» предусмотрен специализированный менеджер аудита, реализующий сбор, хранение и первичную обработку данных аудита, а также обеспечение оперативной сигнализации о нарушениях политик защиты информации на АРМ администратора безопасности и нарушителя. Без корректного запуска и выполнения менеджера аудита контроль целостности защищенной системы не может быть завершён успешно. Уровень подробности аудита регулируется микроядром ЗОСРВ и задается администратором безопасности в момент запуска системы. В число обязательных

параметров каждого регистрируемого события аудита входят как минимум: дата и время возникновения события, субъект и объект защиты, ответственная подсистема, описатель класса события и результат его выполнения. В комплект изделия входят средства отображения логов аудита и событий оперативной сигнализации как с текстовым, так и с графическим пользовательским интерфейсом. Последние интегрированы в ПУ КСЗ.

В изделие включена исчерпывающая документация на русском языке, в том числе с описанием реализованных средств защиты и рекомендациями по удовлетворению требований РД АС ([http://www.fstec.ru/\\_docs/doc\\_3\\_3\\_004.htm](http://www.fstec.ru/_docs/doc_3_3_004.htm)) для автоматизированных систем класса защищенности до 1Б включительно. Описанные в статье средства защиты соответствуют 3 уровню защиты от НСД и 2 уровню контроля НДС в соответствии с РД СВТ ([http://www.fstec.ru/\\_docs/doc\\_3\\_3\\_006.htm](http://www.fstec.ru/_docs/doc_3_3_006.htm)).

#### Список литературы

1. Зыль С. Проектирование, разработка и анализ программного обеспечения систем реального времени. С.-Петербург: БХВ-Петербург, 2010.
2. Зыль С., Махилев В. Защищенная операционная система реального времени // Современные технологии автоматизации. 2007. Вып. 3.

*Докучаев Андрей Николаевич - инженер-программист ООО «СВД Встраиваемые Системы».  
Контактный телефон (812) 373-41-17.  
E-mail: A.Docuchaev@kpda.ru  
<http://www.kpda.ru>*

## ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ДИАГНОСТИКА ЕГО СОСТОЯНИЯ

А.А. Пешехонов, В.В. Куркина, Р.В. Зайцев, Н.В. Воробьев (СПбГТИ)

*Рассматривается исполнительное устройство для управления расходом сыпучих материалов. Предложена система диагностики возможных нарушений его функционирования.*

*Ключевые слова: исполнительные устройства, сыпучие материалы, диагностическая модель.*

Современный подход к управлению непрерывными ТП предполагает использование алгоритмов оптимального управления, реализуемых на микропроцессорных технических средствах большой мощности. При этом получение информации о параметрах объектов управления основано на последних достижениях в области методов и техники измерения и дальнейшей обработки информации. Однако эффект, достигнутый за счет применения высокоточных датчиков, промежуточных преобразователей и алгоритмов управления в ряде случаев может быть существенно снижен вследствие недостатков, присущих исполнительным устройствам (ИУ) автоматических систем регулирования (АСР). И если современные ИУ для управления расходом жидких и газообразных сред можно уверенно называть «интеллектуальными», то при разработке АСР, где управление реализуется в виде переменного расхода сыпучих материалов (СМ), возникает ряд проблем. Такое управляющее воздействие имеет место в процессах сушки в

кипящем слое, тонкого измельчения твердых материалов, обжига, приготовления различных растворов и смесей в целом ряде технологий химической, пищевой, строительной, металлургической и других отраслей промышленности. Основные требования к характеристикам ИУ здесь можно свести к следующему:

- возможность регулирования расхода в заданном диапазоне;
- минимальная погрешность заданной величины выходного расхода;
- инвариантность выходного расхода к внешним и внутренним возмущениям;
- минимальная сложность конструкции;
- минимум кинематических пар, контактирующих с твердой фазой;
- отсутствие влияния параметров внешней среды на материал;
- защита внешней среды от попадания в нее частиц материала;

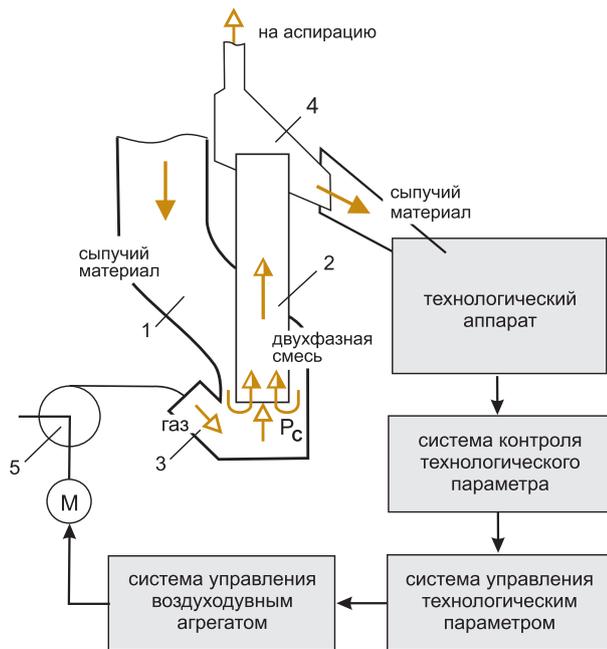


Рис. 1. Структура АСП с вертикальным пневматическим питателем, где 1 – загрузочный материалопровод; 2 – разгрузочный ствол; 3 – газопровод; 4 – материалоподделитель; 5 – воздушный агрегат

- независимость характеристик материала от параметров внешней среды;
- линейность характеристик по каналу «управляющий сигнал – выходной расход материала» (расходных характеристик);
- самодиагностика устройства.

Традиционные механические питатели (ленточные, тарельчатые, барабанные и др.) и дозаторы на их основе далеко не всегда соответствуют перечисленным требованиям. Основные проблемы в процессе эксплуатации возникают вследствие попадания СМ в кинематические пары, а также из-за негерметичности ИУ. Проникновение мелкой фракции в окружающую среду в общем случае нежелательно, а в ряде процессов недопустимо по условиям безопасности. Параметры окружающей среды, особенно влажность, негативно сказываются на физико-химических характеристиках СМ. Следует отметить также существенную стоимость большинства дозирующих ИУ, представляющих собой двухагрегатные автоматизированные электромеханические системы.

Перспективной альтернативой типовым механическим ИУ для СМ является устройство, принцип действия которого аналогичен работе вертикальных пневматических подъемников – вертикальный пневматический питатель (ВПП) [1, 2]. Управление расходом твердой фазы здесь осуществляется объемным методом, путем изменения расхода несущего воздуха. Структура АСП, окончательным звеном которой является ИУ, обеспечивающее преобразование выходного сигнала контроллера в управляемую подачу сыпучего материала, представлена на рис. 1.

ИУ ВПП работает следующим образом. Материал под действием силы тяжести поступает из расходного

бункера по загрузочному материалопроводу (ЗМП) 1 к входному срезу разгрузочного ствола 2. Подаваемый по трубопроводу 3 газ приводит материал в состояние псевдокипения и обеспечивает его подачу в расширительную камеру 4. В камере происходит отделение твердой фазы и сброс ее в объект управления – технологический аппарат. Отработанный газ отводится в аспирационную систему. Расход сыпучего материала, выходящего из питателя, определяется величиной расхода несущего газа. Последний зависит от производительности воздухоудного агрегата 5. Управление расходом несущего газа обеспечивается серийными устройствами автоматики. ИУ ВПП монтируется непосредственно на технологическом трубопроводе. Заполнение питателя происходит по мере выдачи материала в технологический аппарат, без перерывов в подаче и без применения каких-либо запорных устройств или шлюзов. В тех случаях, когда подача твердой фазы после предыдущей технологической операции не совпадает с требованиями по расходу материала, поступающего в обслуживаемый технологический аппарат, ИУ ВПП при достаточном объеме камеры питателя выполняет в технологической цепи функции демпфирующего элемента – промежуточной расходной емкости. Основная статическая характеристика питателя – зависимость расхода твердой фазы от управляющего выходного сигнала контроллера технологического параметра – представляет собой степенную зависимость, которая в рабочем диапазоне расходов может быть линеаризована. Динамика ИУ, имеющего в сравнении с временными характеристиками объекта регулирования малую инерционность, может быть аппроксимирована передаточной функцией инерционного (с малой постоянной времени) или усилительного звена. Авторами получены линеаризованные уравнения динамики устройства, что позволяет осуществлять процедуру синтеза АСП в целом, с учетом свойств ИУ [3].

ИУ на базе ВПП имеют ряд преимуществ перед традиционными механическими питателями. В первую очередь речь идет о повышенной надежности устройства, которое не содержит подвижных элементов, контактирующих с СМ. Кроме того, в ИУ ВПП может быть обеспечена полная герметичность процесса перемещения СМ. Дозагрузка питателя производится естественным путем, без прерывания управляемой подачи СМ в технологический объект, что позволяет обеспечить непрерывность ТП. Основные метрологические характеристики ИУ ВПП определялись экспериментально.

Диагностика состояния ИУ ВПП в процессе его функционирования в условиях производства представляется весьма актуальной, поскольку физико-механические характеристики СМ (влажность, гранулометрический состав, электризуемость и другие параметры, влияющие на сыпучесть) в большинстве случаев в той или иной степени варьируются, что приводит к изменениям условий управления расходом. Режим работы ИУ ВПП определяется функ-

ционированием трех элементов: воздухоудного агрегата, системы управления им и собственно ВПП. Диагностика автоматизированных воздухоудных агрегатов составляет отдельную задачу, ряд алгоритмических и технических решений которой достаточно широко используется в промышленности. В качестве возможного примера можно привести программно-технический комплекс мониторинга SENTINEL, разработанный компанией Robuschi. Комплекс предназначен для воздухоудов с регулируемой производительностью (с частотным управлением трехфазным двигателем), применяемых в пневмотранспорте СМ. Такие

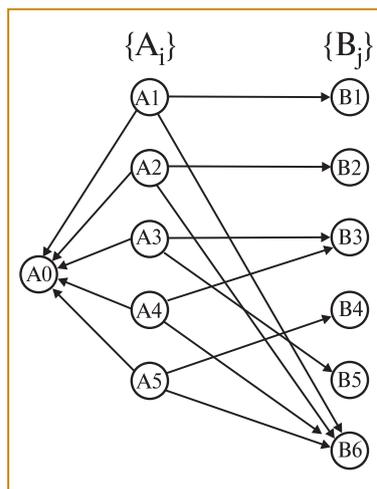


Рис. 2. Граф причинно-следственных связей

системы дают возможность контроля направления и скорости вращения воздухоудки, входного/выходного давления и температуры воздуха, уровня и температуры масла в двигателе и редукторе, а также температуры под кожухом агрегата. В случае какого-либо сбоя генерируется предупреждающий сигнал, и если нормальные значения не восстановлены, воздухоудка отключается. Учитывая изложенное, далее целесообразно рассматривать вопросы диагностики только для рабочего органа, то есть для ИУ ВПП. Для целей диагностики можно использовать как континуальный подход к описанию процессов перемещения двухфазной смеси, так и раздельное рассмотрение движения газовой и твердой фаз.

В основу системы диагностики питателя для сыпучих материалов положена диагностическая модель, реализованная в виде совокупности причинно-следственных связей. Модель обеспечивает информационное, количественное и качественное представление о связях множества нарушений  $\{A_i\}$ , которые можно назвать причинами, с множеством симптомов

$\{B_j\}$ , являющихся следствиями данных нарушений. В качестве диагностического показателя рассматривается отклонение режимного параметра от верхней или нижней технологической нормы для аналогового параметра или смена значений для дискретно меняющегося параметра. В качестве основной неисправности питателя рассматривается полное отсутствие твердой фазы на выходе  $[A_0]$ . Предлагаемая система диагностики предназначена для определения причин этой ситуации и выработки рекомендаций для наискорейшей ликвидации неисправности. Формирование множеств  $\{A_i\}$ ,  $\{B_j\}$  и определение связей между их элементами выполнено на основании анализа физики процессов, происходящих в питателе, и опирается на значительное число результатов экспериментальных исследований ВПП. При этом принимается во внимание тот факт, что непосредственный контроль величины расхода сыпучего материала проблематичен и представляет отдельную задачу для конкретных материалов и диапазона регулирования. Наиболее информативной и доступной для измерения переменной, характеризующей режим функционирования ВПП, является аналоговая величина давления  $P_C$  в камере питателя на входе в транспортный ствол. По давлению в питателе возможно также контролировать дискретный параметр – наличие/отсутствие подачи газа в камеру питателя. Второй датчик – дискретный, устанавливается на ЗМП в непосредственной близости от разгрузочного отверстия расходного бункера, и позволяет определить наличие/отсутствие материала на загрузке и движение/отсутствие движения материала по ЗМП (датчик Д1). Перечни возможных нарушений, приводящих к отсутствию материала на выходе из питателя,

и диагностических показателей, характеризующих состояние пневмопитателя, приведены в табл. 1. Показатели В1 и В2 определяются по данным с датчика давления в камере питателя, показатели В3 и В4 – по тому же датчику, если давление в технологическом аппарате постоянно и известно (в частности, равно атмосферному). В противном случае возникает необходимость установки дополнительного датчика разности давлений в объекте управления и в камере питателя. Для оценки состояния ЗМП (показатели В5, В6 и В7) может быть применен,

Таблица 1. Подмножества возможных нарушений и диагностических показателей

Подмножество возможных нарушений $\{A_i\}$		Подмножество диагностических показателей $\{B_j\}$		
Код	Характеристика нарушения	Код	Значение режимного параметра	Характеристика диагностического показателя
A1	Транспортный ствол забит	B1	Давление в камере питателя выше максимально допустимого	$P_C > P_C^{MAX}$
		B2	Давление в камере питателя ниже минимально допустимого	$P_C < P_C^{MIN}$
A2	Существенно нарушена герметичность камеры питателя	B3	Давление в камере соответствует потерям давления на пустом стволе	$P_C = P_{PC}$
A3	В ЗМП нет материала	B4	Давление в камере равно давлению в технологическом аппарате	$P_C = P_{TA}$
A4	Материал в ЗМП «завис»	B5	Датчик состояния ЗМП в положении «Нет материала»	$DI = 0$
A5	Отсутствует подача газа	B6	Датчик состояния ЗМП в положении «Нет движения материала»	$DI = 1$

Таблица 2. База продукционных правил и рекомендации по ликвидации причин неполадок

Код нарушения	Правило идентификации	Рекомендации по восстановлению регламентного режима
A1	$B1 \wedge B6 \rightarrow A1 \rightarrow A0$	Прочистить транспортный ствол
A2	$B2 \wedge B6 \rightarrow A2 \rightarrow A0$	Восстановить герметичность камеры
A3	$B3 \wedge B5 \rightarrow A3 \rightarrow A0$	Заполнить загрузочный бункер
A4	$B3 \wedge B6 \rightarrow A4 \rightarrow A0$	Обеспечить беспрепятственное перемещение материала по ЗМП
A5	$B4 \wedge B6 \rightarrow A5 \rightarrow A0$	Проверить герметичность трубопровода подачи газа

в частности, один из микроволновых датчиков типа РДДП, выпускаемых компанией «ПРОМРАДАР», определяющий все состояния вертикальных трубопроводов для сыпучих сред: движение, зависание и отсутствие материала.

С учетом экспертной информации о связях двух подмножеств обозначим основную неисправность в работе питателя как  $A0$  и представим диагностическую модель в виде графа причинно-следственных связей (рис. 2).

Разработанная на основе экспертных знаний диагностическая система содержит базу знаний. Выбор способа представления знаний определяется сложностью объекта диагностики и фактором потенциальной опасности при его функционировании [4]. В данном случае признано целесообразным применение продукционных правил в секвенциальной форме, реализующей зависимость «если – то». База продукционных правил для рассматриваемого объекта представлена в левой части табл. 2, где « $\rightarrow$ » – знак секвенции. Как видно, правила не пересекаются и однозначно определяют то или иное возможное нарушение из подмножества  $\{A_i\}$  и конкретизируют причину основного нарушения функционирования ИУ – отсутствия подачи твердой фазы. Следует отметить, что некоторым недостатком предложенного способа представления знаний является отсутствие вероятностной оценки появления того или иного диагностического показателя. В таком случае требуется обеспечить высокую достоверность получаемой от датчиков диагностической информации. Кроме идентификации конкретного нарушения и выдачи информации об этом оператору, результатом работы диагностической системы должна быть автоматическая выдача рекомендаций по скорейшему устранению причин неисправности. Примеры таких рекомендаций приведены в правой колонке табл. 2. Рекомендации предполагают выполнение ряда условий, касающихся конструктивного оформления ИУ и системы управления воздушным агрегатом. В частности, должен быть обеспечен оперативный до-

ступ к трассам ЗМП и выгрузки материала. Необходимо обеспечить также связь между системами диагностики ИУ ВПП, воздухоудного агрегата и расходного бункера, из которого производится загрузка камеры питателя.

Программная реализация представленной диагностической системы осуществляется с применением одного из пяти языков программирования стандарта МЭК6-1131/3, включенных в систему TRACE MODE вер. 6. С помощью этих средств комфортно программируются современные контроллеры. В качестве наиболее удобного в применении языка программирования предлагается использовать язык функциональных блоков Techno FBD, являющийся расширением системы Function Block Diagram. Разработанные правила-секвенции достаточно просто программируются из типовых библиотечных алгоритмов.

Разработка "Пневматический питатель для сыпучих материалов типа ВПП" успешно прошла испытания на производственной базе ОАО "ВИАСМ" (г. Санкт-Петербург, оборудование для птицефабрик) как устройство для управляемой раздачи кормов. В ходе испытаний питатель обеспечил повышенную по сравнению с ленточными и бункерными питателями надежность (отказа в регламентном режиме не наблюдались) и экологичность (нет выбросов материала в окружающую среду). Полученные результаты определяются полной герметичностью питателя и отсутствием в нем подвижных элементов, контактирующих с сыпучим материалом.

Погрешность питателя по выходному расходу определялась интегральным методом по массе выданной за конечный отрезок времени. Статистически установлено, что величина относительной погрешности не превышает 1,7% от среднего значения расхода.

#### Список литературы

1. Пешехонов А.А., Корчагин Е.В. Дискретные потоки вещества в промышленных технологиях: управляющие воздействия и объекты управления // Автоматизация в промышленности. 2007. №6.
2. Пешехонов А.А., Петров Е.Н. Статическая оптимизация параметров пневматического питателя для сыпучих материалов // Сб. тр. МНК ММТТ-22. Т 10. Псков: ППИ, 2009.
3. Пешехонов А.А. Автоматическое управление расходом сыпучих материалов. СПб, Изд. СПбГТИ(ТУ), 2006.
4. V.V. Kurkina, I.V. Rudakova, L.A. Rusinov. Real time diagnostics of technological processes and field equipment // Chemometrics and intelligent laboratory systems, 2007. V88. N1.

*Пешехонов Алексей Анатольевич – канд. техн. наук, доцент,  
Куркина Виктория Вадимовна – канд. техн. наук, доцент,*

*Зайцев Роман Владимирович и Воробьев Николай Вячеславович – аспиранты кафедры «Автоматизация процессов химических производств» Санкт-Петербургского технологического института (Технического университета).*

*Контактный телефон (921) 896-07-90.  
E-mail: bsrussite@yandex.ru*