

## Пути автоматизации процесса дозирования в комбикормовом производстве

Г.С. Стаценко (НПО "Дискрет")

Представлены особенности алгоритмического и аппаратного обеспечения саморегулирующейся АСУ дозированием, разработанной НПО "Дискрет" для комбикормового завода (пос. Овидиополь, Украина).

Ключевые слова: весовые дозаторы, самокорректирующаяся система дозирования, датчики силы, расход компонента, возмущение среды.

Дозирование компонентов является одной из основных операций в комбикормовом производстве; от нее в значительной мере зависит выполнение требований зоотехники в питательной ценности кормов. В зависимости от содержания отдельных компонентов в комбикорме точность дозирования колеблется в пределах 0,05... 0,1%.

Существенное повышение точности дозирования может быть получено за счет повышения чувствительности датчиков веса — основного элемента схем автоматического дозирования. Однако этот путь во многом исчерпал себя.

Известно, что весовые дозаторы, работающие с достаточной точностью непосредственно после регу-

лировки, теряют ее через некоторое время. Объясняется это в основном следующими обстоятельствами:

1) в процессе работы в бункере весового дозатора налипают взвешиваемый материал, и вес тары изменяется;

2) питатели весовых дозаторов подают материал неравномерно, в результате чего колеблется величина столба материала, падающего в бункер весов;

3) в комбикормовом производстве дозируются продукты, объемный вес которых колеблется в значительных пределах в зависимости от влажности и гранулометрического состава. Это снижает точность дозирования, так как в значительных пределах колеблется и вес столба материала.

Таким образом, выбор и задание оператором момента прекращения сыпи не позволяет гарантировать стабильную точность дозирования.

Для решения описанной задачи специалистами НПО "Дискрет" (г. Одесса) разработана самокорректирующаяся система дозирования, которая обеспечивает выбор оптимального момента прекращения сыпи, определяя погрешность дозирования в каждом цикле и корректируя программу работы. Автоматическая коррекция осуществляется путем изменения заданного веса компонента на величину ошибки предыдущего цикла.

Алгоритм работы устройства, решающего это задачу, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_{зад} + \Delta P_1 \\ P_2 &= P_{зад} + \Delta P_2 - \Delta P_1 \\ P_3 &= P_{зад} + \Delta P_3 - \Delta P_2 \\ &\dots\dots\dots \\ P_n &= P_{зад} + \Delta P_n - \Delta P_{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  — фактический вес в соответствующем цикле;  $n = 1, 2, 3, \dots$  — номер цикла;  $P_{зад}$  — заданный вес порции;  $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_n$  — погрешность соответствующего отвеса.

Из (1) видно, что относительная погрешность цикла взвешивания равна:

$$\delta P_n = \frac{\Delta P_n - \Delta P_{n-1}}{P_{зад}} \quad (2)$$

Числитель выражения (2) определяется разностью погрешностей двух смежных циклов; величина его невелика, так как изменение физических параметров дозируемого продукта, как правило, происходит мед-

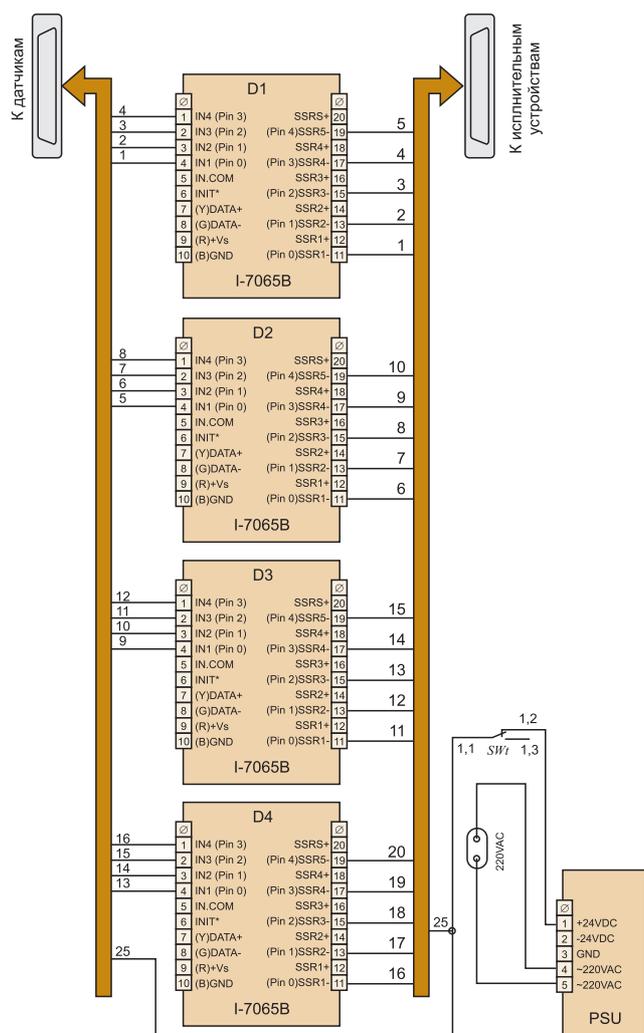


Рис. 1. Электронная схема подключения устройств

ленно при изменении количества материала в наддзатормном бункере.

Для комбикормового производства задается средняя относительная погрешность за 10 циклов взвешивания, которая при выполнении алгоритм (1) оказывается равной:

$$\sum_{n=10}^n \delta P_{cp} = \frac{\Delta P_n - \Delta P_{n-9}}{10 P_{зад}}. \quad (3)$$

Величина этой погрешности будет почти в 10 раз меньше, чем погрешность  $n$ -го цикла, определяемая по выражению (2).

На рис. 1 представлена электронная схема подключения устройств в АСУ дозированием. Датчики силы расположены таким образом, что вес бункера равномерно распределяется на все датчики силы. Причем, если точки приложения нагрузки меняются, и центр тяжести не установлен, применяются датчики силы, диапазон которых перекрывает верхнее значение предполагаемой нагрузки.

Преобразователями сигналов служат контроллеры и модули ICP DAS серии 7000. Установка модулей не требует специальных объединительных плат и осуществляется как на стандартную несущую 35-миллиметровую DIN-рейку, так и на любую плоскую панель или стену. На корпусе расположены необходимые разъемы и клеммные соединители для винтовой фиксации внешних входных/выходных цепей.

Настройка и калибровка модулей осуществляется программным способом. Параметры конфигурации, скорость обмена по последовательному каналу связи, наличие проверки контрольной суммы команды, диапазон изменения входных/выходных сигналов и их размерность, вид представления измеренных значений и некоторые другие параметры сохраняются во встроенном, электрически перепрограммируемом ПЗУ.

АСУ дозированием была реализована на комбикормовом заводе (пос. Овидиополь, Украина).

Согласно техническому заданию АСУ дозированием должна выполнять следующие функции:

- автоматическое и дистанционное управление двигателями дозаторов, задвижками и другими исполнительными механизмами;
- управление приготовлением смеси в автоматическом режиме, выгрузка порций в ручном режиме;
- управление переработкой зернового, гранулированного сырья, шротов в составе смеси;
- управление переработкой белково-витаминно-минерального сырья в составе смеси;
- производство премиксов в специализированной линии, соответствующих норме ввода в комбикорма 1% и 0,5%;
- трехэтапное дозирование и двухэтапное смешивание;
- ведение списка рецептов и подробного протокола работы;
- учет влажности сырья;

- вывод на печать протоколов, графиков, таблиц данных;

- индикация включения устройств;
- голосовая интерпретация компьютером веса;
- возможность настройки параметров оборудования;
- режим диагностики;
- возможность подключения системы видеонаблюдения.

Особенностью реализованной системы дозирования комбикормов является необходимость приготовления рецептов, в которых число компонентов колеблется в пределах 4...12 ед.

Дозирование многокомпонентных смесей, а также поддержание расхода одного из компонентов и учет расхода другого, является сложной задачей, для решения которой необходимо определить содержание наблюдаемых компонентов в смеси. Если рассматривать  $n$ -компонентную смесь, а каждый из компонентов характеризуется  $m$ -параметрами, то значение любого параметра среды будет описываться уравнением:

$$A_1 = a_1 k_1 G_1 + a_1 k_1 G_1 + \dots + a_n k_n G_n, \quad (4)$$

где  $A_1$  — измеряемый параметр среды;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  — удельное значение измеряемого параметра у отдельных компонентов;  $G_1, G_2, \dots, G_n$  — число отдельных компонентов,  $k_1, k_2, \dots, k_n$  — коэффициенты, определяемые характером взаимодействия сред в части данного свойства; их можно представить в общем случае в виде зависимости:

$$k = f(G, a). \quad (5)$$

С точки зрения автоматического регулирования всякое отклонение расхода является возмущением и система регулирования должна реагировать на возмущение так, чтобы привести величину расхода к заданному значению.

Автоматизированная система дозирования позволяет решать следующие задачи:

- поддержание требуемого мгновенного значения расхода;
- поддержание заданного среднего расхода за определенный промежуток времени;
- обеспечение суммарного количества материала за определенный цикл.

Во всех случаях заданная величина расхода  $Q_{зад}$  может быть функцией времени  $Q_{зад} = f(t)$ . Тогда в общем виде задача дозирования состоит в обеспечении выражения вида:

$$\int_{t_i}^{t_i + \Delta t} Q(t) dt - \int_{t_i}^{t_i + \Delta t} Q_{зад}(t) dt \leq \pm \Delta, \quad (6)$$

а при  $Q_{зад}(t) = const$ :

$$\int_{t_i}^{t_i + \Delta t} Q(t) dt - Q_{зад} \Delta t \leq \pm \Delta, \quad (7)$$

где  $Q(t)$  — реализация значения расходов в интервале  $t_i - (t_i + \Delta t)$ ;  $\Delta$  — допускаемое отклонение (назначается с учетом требований сопряженного ТП).

Из всех характеристик, определяющих точность дозирования, особое место занимает гранулометрия



Рис. 2. Элементы главного окна

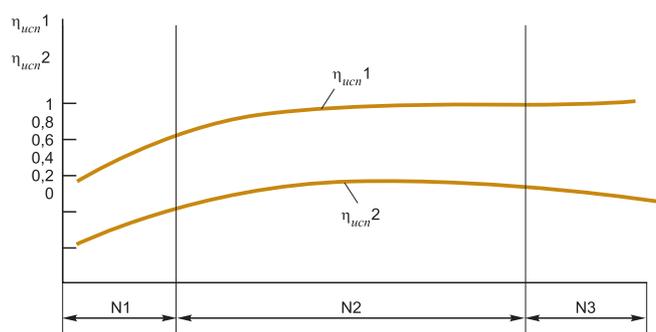


Рис. 3. График изменения коэффициента использования до и после внедрения АСУ, где N1 – период пуска и освоения; N2 – период стабильной эксплуатации; N3 – период проявления износа

материала. Оценка разброса гранулометрического состава, среднего диаметра частиц, влажности и других параметров успешно реализована в данной системе. Используется тот факт, что для большинства материалов отклонения параметров могут быть представлены кривыми распределения Пирсона или Максвелла. Распределение отклонения влажности хорошо совпадает с кривой Максвелла

$$W(\omega) = \frac{1}{\delta^2} \omega e^{-\frac{\omega^2}{2\delta^2}} \quad (8)$$

По полученным числовым характеристикам система дозирования определяет степень несоответствия полученного экспериментального закона нормальному закону распределения.

Программная часть системы дозирования функционирует в среде ОС Windows. Для пользователя разработан "дружеский" графический интерфейс (рис. 2), обеспечивающий удобный интерактивный доступ к функциям, командам, документации и справочным материалам программы, создается своего рода путеводитель, обучающий пользованию программой шаг за шагом. В то же время программой предоставляется полная документация в интерактивном режиме и самая современная система HELP. Система меню наде-

лена "интуитивными" свойствами, помогая пользователю целесообразно управлять программой.

АСУ дозированием, разработанная средствами .NET и C#, позволяет составлять рецепты с неограниченным числом компонентов, вести подробную БД по взвешиваниям, заполнять реквизиты, а также выполнять многие другие функции, среди которых: объединение информации с нескольких весов в единую информационную сеть предприятия, передача данных на мобильные устройства, интеграция с 1С бухгалтерией и подключенные системы видеонаблюдения и распознавания.

Внедрение комплексной системы автоматизации дозирования позволило связать все важнейшие параметры процесса и при помощи ЭВМ оптимизировать управление дозированием.

### Расчет и оценка производительности автоматизированной системы дозирования

При расчете, анализе и оценке производительности автоматизированного оборудования были учтены затраты времени при различных производительностях: технологической (максимальной производительности при условии бесперебойной работы), технической (производительности бункеров с учетом собственных простоев, связанных с выходом из строя приспособлений, оборудования и обеспечении их всем необходимым) и фактической (минимальной производительности, учитывающей все виды потерь).

Производительность бункеров рассчитывается по формуле:

$$Q_T = \frac{1}{T} \eta_{mex} = \frac{1}{T} \times \frac{1}{1 + (\sum t_c / T)} = \frac{1}{T + \sum t_c},$$

где  $\eta_{mex}$  – коэффициент технического использования;  $T$  – период времени;  $\sum t_c$  – общее время собственных простоев.

Коэффициент загрузки  $\eta_{зар}$  показывает, какую долю времени бункеры обеспечены всем необходимым. Так, до установки автоматизированной системы значения  $\eta_{mex} = 0,7$  и  $\eta_{зар} = 0,8$  значит, что в общем фонде времени бункеры обеспечены всем необходимым для бесперебойной работы только на 80 % времени, и в этот период они работают только 70% (остальное время простаивают по техническим причинам).

Коэффициент использования  $\eta_{исп}$  и коэффициенты  $\eta_{mex}$  и  $\eta_{зар}$  связаны соотношением:  $\eta_{исп} = \eta_{mex} \times \eta_{зар} = 0,7 \times 0,8 = 0,56$ .

После внедрения АСУ показатели  $\eta_{mex}$  и  $\eta_{зар}$  были значительно увеличены:  $\eta_{mex} = 0,9$  и  $\eta_{зар} = 0,97$ , следовательно,  $\eta_{исп} = 0,873$ .

Все показатели и коэффициенты производительности в общем случае являются функциями времени и изменяются в процессе эксплуатации. На рис. 3 показаны типовые зависимости изменения коэффициента использования до  $\eta_{исп1}$  и после внедрения АСУ  $\eta_{исп2}$ . Величина  $\eta_{исп}$  в каждый момент определяется отношением требуемой производительности к цикловой и монотонно растет пропорционально производственной программе.

Основными факторами экономической эффективности АСУ дозированием являются: повышение производительности; уменьшение ошибки дозирования; уменьшение времени простоя оборудования; увеличение срока службы оборудования. Решение таких задач, как корректировка доз и влажности комбикорма, а также расчет доз с учетом динамики процесса приводит к стабилизации процесса дозирования и,

*Стаценко Глеб Сергеевич – координатор разработок программного обеспечения НПО "Дискрет".*

*Контактные телефоны: (048)733-68-60, 700-12-25.*

*Http:// www.diskret-spa.ru www.diskret.com.ua E-mail: diskret.spa@gmail.com*

## ГАРАНТИЯ ТОЧНОСТИ ДОЗИРОВАНИЯ – КОНТРОЛЛЕРЫ MASTER

В.Е. Борисов, П.Ю. Яковлев (ООО "НПФ "ИнСАТ-СПб")

Описаны технические характеристики контроллеров Master (производство ООО "НПФ "ИнСАТ-СПб", группа компаний ИнСАТ), применяемых для высокоточного дозирования сыпучих и жидких компонентов.

Ключевые слова: весовое и объемное дозирование, автоматическое и дистанционное управление, калибровка, нестандартный алгоритм регулирования.

Фирма ИнСАТ-СПб с момента своего основания успешно занимается внедрением различных систем дозирования сыпучих и жидких компонентов на комбикормовых предприятиях, заводах по производству строительных смесей, в других отраслях промышленности. Для повышения качества производимой на этих предприятиях продукции необходима максимальная точность дозирования, которая была обеспечена за счет разработки специальных алгоритмов одно- и многокомпонентного весового дискретного и непрерывного дозирования и ввода жидких компонентов. Реализация таких алгоритмов в виде типового решения требует использования специализированных контроллеров (рис. 1-2).

Неудобство использования универсального контроллера для задач дозирования обусловлено трудоемкостью реализации алгоритмов оптимального дозирования, аппаратной избыточностью, необходимостью использования дополнительной операторской панели для обеспечения обязательной в таких системах функции контроля и управления процессом по месту. На российском рынке присутствует совсем немного контроллеров, специализирующихся на задачах весового дозирования. Они не имеют встроенного алгоритма высокоточного дозирования, в них отсутствует возможность расширения ПО средствами пользователя, к тому же они не слишком дешевы.

Проблема была решена разработкой и началом серийного выпуска ИнСАТ-СПб контроллеров серии Master, предназначенных для автоматического и дистанционного управления непрерывным и дискретным, весовым и объемным дозированием сыпучих и жидких ком-



Рис. 1

понентов с использованием дозаторов всех типов. Узкая специализация описываемых контроллеров позволила разработчикам сосредоточиться на оптимизации основных функций прибора. Благодаря этому, а также полному отсутствию аппаратной избыточности удалось добиться очень хорошего отношения цена/функциональность. Свыше 5 лет эксплуатации этих контроллеров показали верность выбранного пути, удобство их применения в любых задачах дозирования.

Все контроллеры серии выполнены в корпусах фирмы VOPLA, для щитового монтажа, имеют переднюю панель, на которой размещены светодиодные, жидкокристаллические индикаторы и четырехкнопочная клавиатура. Подключение внешних сигналов производится через клеммник на задней стенке. Тензорезисторные датчики веса с характеристикой 1...3 мВ/В подключаются непосредственно к дифференциальному входу 16-разрядного АЦП. Входы/выходы контроллеров имеют



Рис. 2