

УДК 621.313

Гавва А.М., д.т.н., проф.

Кривопляс – Володина Л.А., к.т.н., доц.

Васильченко А.В., инженер технической поддержки «Камоцци»

Национальный университет пищевых технологий (НУПТ), г. Киев, Украина

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ МЕХАНОТРОНИКИ В ЭРЛИФТНЫХ СИСТЕМАХ ДОЗИРОВАНИЯ

Вступ. Создание конкурентоспособного однотипного дозирочного оборудования для механизации и автоматизации производственных технологических процессов, - является актуальной задачей. В этой связи в работе предложена новая технология построения систем автоматизированного дозирования жидкостей, рассматриваемых в виде совокупности дозирующего устройства, как объекта управления - и устройства управления, обеспечивающего управление исполнительными органами дозатора по заданному алгоритму технологического процесса. Проектирование систем дозирования для пищевых производств, ведется на основе использования методов отмеривания дозы по косвенным параметрам, аппаратуры промышленной электропневмоавтоматики в узлах управления и датчиков параметров течения жидкостей. Используя электропневматику, можно управлять самыми разными физическими величинами: координатой и скоростью, ускорением и силой, давлением и расходами, временем и температурой, центрированием и ориентацией при расположении потребительской тары. В настоящее время на рынке существует достаточное количество дозаторов, которые отличаются как способом дозирования, так и степенью автоматизации (автоматическое и полуавтоматическое оборудование).

Актуальность темы. Компоновки дозирующего оборудования с расходомерами имеют низкую точность при малых величинах производительности, что связано с нестабильностью характеристик регулирующих клапанов, особенно при работе с малыми перепадами давлений. Другим недостатком дозирующего оборудования с системами контрольно-измерительных устройств, является наличие конструктивно сложных расходомеров, устанавливаемых в линиях подачи дозируемой среды, и вторичных приборов, понижающих надежность данных систем[3-4].

Выбор исполнительных и регулирующих компонентов электропневмосистемы наряду с их функциональным назначением, габаритными размерами, долговечностью, стоимостью должен быть обусловлен ещё и их динамическими возможностями. Наряду с дискретной электропневматикой, обеспечивающей конечное число рабочих состояний, существует класс задач, в которых требуется управлять объектом в режиме «слежения», непрерывно в функции времени реагируя и на входные сигналы, и на внешние возмущения. Одним из стратегически важных направлений развития пневматики является пропорциональная техника.

Основная часть. Объект исследования – процесс дозирования ньютоновских сред в эрлифтных системах. Исследования проводились на основах гидродинамики неустановившегося движения жидкости, математической теории обработки данных экспериментов, на применение формализованного описания последовательности технологических операций автоматизируемого процесса. Также были обозначены основные направления моделирования и проектирования систем автоматизированного дозирования.

Компоновка оборудования рассматривалась как исполнительное устройство в составе автоматизированной системы, в которой, помимо средств автоматического контроля и регулирования основных параметров, должны содержаться контуры управления собственно процессами дозирования. И здесь проектировщик сталкивается с еще более сложной задачей, когда объект управления обладает инерционным запаздыванием и параметрической нестационарностью. Последняя выражается в непостоянстве во времени его динамических параметров.

Учитывая особенности работы стандартных конструкций дозирующих устройств для ньютоновских сред, предложено использование LR пропорционального регулятора [1], что позволяет обеспечить мгновенную величину расхода $Q(t)$ посредством ее автоматического программного регулирования по заданному закону: $Q(t) = Q_3(t)$. Расход $Q(t)$ сначала увеличивается в течение времени t^* от его начального (в момент времени $t=0$) минимального значения Q_{\min} до некоторого, фиксированного для каждой дозы, заданного значения Q_3^* , а затем уменьшается до нуля. Указанные изменения $Q(t)$ формируются с помощью показанных на рис.1 пунктирными линиями монотонно возрастающей ($\psi_1(t)$) и монотонно убывающей ($\psi_2(t)$) базовых функций, имеющих нулевой корень[3].

Таким образом, контроль и управление процессами как порционного, так и непрерывного дозирования можно вести по единому выходному параметру - мгновенной величине расхода $Q(t)$ жидкости. При непрерывном дозировании расход $Q(t)$ должен поддерживаться на заданном постоянном уровне $Q(t) = Q_3^* = \text{const}$, определяющем производительность дозирующего устройства (ДУ). При порционном дозировании параметр $Q(t)$ должен изменяться по заданным - $Q_{1,3}(t)$ и $Q_{2,3}(t)$ законам:

$$Q(t) = Q_{1,3}(t) + Q_{2,3}(t),$$

где $Q_{1,3}(t) \equiv Q_{\min} + \psi_1(t)$ – при $0 < t \leq t^*$,

$$Q_{2,3}(t) \equiv Q_3^* + \psi_2(t - t^*)$$
 – при $t^* \leq t \leq T_d$ (1)

При этом объем дозы и время дозирования могут изменяться в широких пределах за счет изменения базовых функций $\psi_1(t)$ и $\psi_2(t)$ и параметра задания дозы Q_3^* .

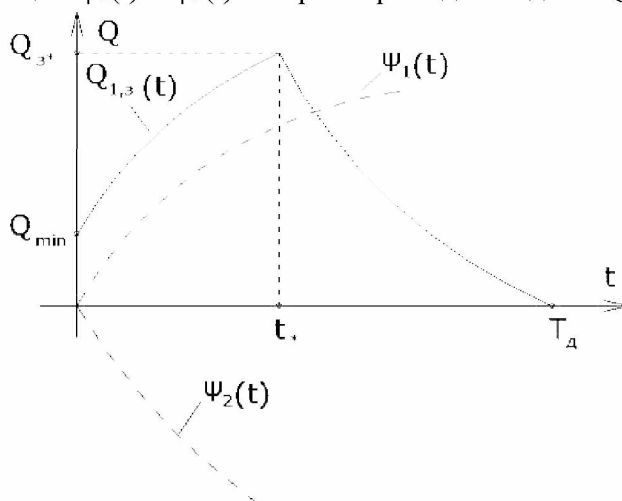


Рисунок 1 – Характеристики изменения расходных характеристик при порционном дозировании

С учетом (1) объем дозы V_d , формируемый за время T_d цикла порционного дозирования, связан с расходом $Q(t)$ соотношением:

$$V_d = \int_0^{t^*} Q_{1,3}(t) dt + \int_{t^*}^{T_d} Q_{2,3}(t) dt = \int_0^{t^*} [Q_{\min} + \psi_1(t)] dt + \int_{t^*}^{T_d} [Q_3^* + \psi_2(t - t^*)] dt$$
 (2)

где время t^* изменения расхода в сторону его увеличения и полное время дозирования T_d определяются из граничных условий:

$$Q_{1,3}(t^*) \equiv Q_{\min} + \psi_1(t^*) = Q_3^*;$$

$$Q_{2,3}(T_d) \equiv Q_3^* + \psi_2(T_d - t^*) = 0$$
 (3)

На рис.2 показана схема конструкции с использованием LR преобразователя мгновенной величины расхода $Q(t)$ в давление $p(t)$ сжатого воздуха [1], представляющего собой замкнутую дозирочную емкость (ДЕ) 1 с входным патрубком 2 и короткой цилиндрической трубкой фасования 3.

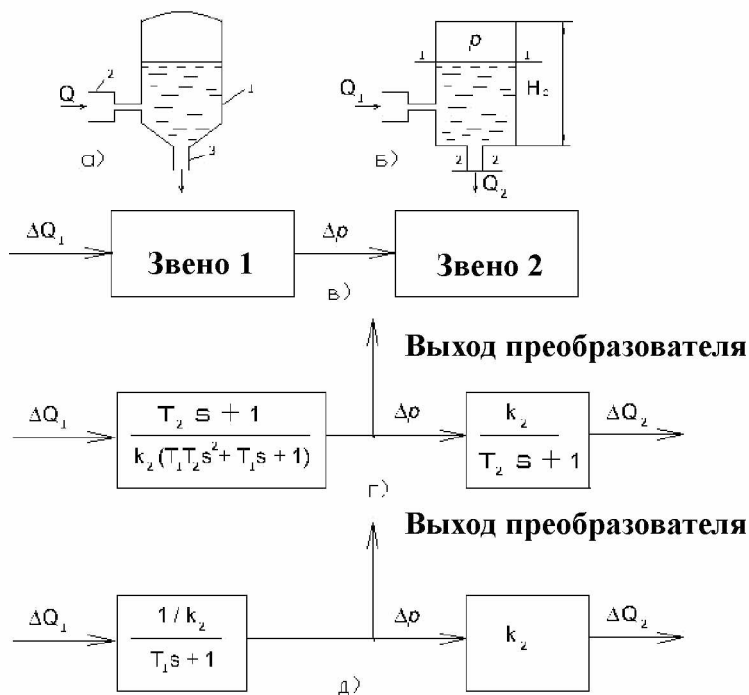


Рисунок 2 - Схемы преобразователя: а - принципиальная, б - расчетная, в, г, д - структурные.

Истечение жидкости из ДЕ имеет стабильный характер (происходит с заполнением ею внутренней полости рабочей камеры ДУ и сопровождается повышением давления p при расходах Q , превышающих некоторое минимальное значение Q_{min} (зону нечувствительности преобразователя), которая зависит от конструктивных параметров ДЕ и может быть определена из статической характеристики преобразователя. Для выбора величин конструктивных параметров ДЕ и оценки их влияния на точность дозирования получены статическая и динамические характеристики преобразователя.

Давление p сжатого воздуха в газовом пространстве ДЕ при подаче дозируемой жидкости через входной патрубок 2 и далее, через насадок 3, - к потребителю.

Согласно рекомендациям, изложенным в научно-технической литературе [2-4], при выборе закона регулирования для дозаторов ньютоновских систем, необходимо учитывать величину отношения τ_0/T_0 , служащую общей динамической характеристикой объекта управления (ОУ). В зависимости от величины τ_0/T_0 рекомендуется выбирать двухпозиционный закон регулирования при $\tau_0/T_0 < 0,2$; пропорциональный - при $0,2 \leq \tau_0/T_0 \leq 1,5$; импульсный - при $\tau_0/T_0 > 1,5$.

Практика показала что, ввиду параметрической нестационарности данных объекта управления (ОУ) и ограниченности времени процесса дозирования, применение какого-либо одного из указанных законов регулирования не обеспечивает нужные характеристики управления технологическим процессом по точности и быстродействию. Для достижения должного качества очистки в реальных условиях, необходимо применение САР с перенастраиваемой структурой, для реализации которых требуется определенный класс практически отсутствующих в промышленности универсальных САД, конструктивно и функционально приспособленных к выполнению операций как порционного, так и непрерывного дозирования. Термин «функционально приспособленных» означает, что эти системы должны иметь датчики выходных параметров и соответствующие функциональные блоки, воспринимающие входные управляющие сигналы для реализации того или иного алгоритма управления дозированием. Для решения поставленных задач проведены исследования работы серво - системы Linator, холдинга Camozzi Group, предложены решения по обеспечению надежности и точности дозирования в системах оборудования с преобразователями LR. Примерами применения высокоточных серворегуляторов давления в упаковочной промышленности это дозированный розлив жидкости в ёмкости из резервуара.

«Сердцем» серворегулятора является вращающийся золотник, размещенный внутри картриджа с каналами входа, выхода и сброса и связывающий эти каналы, отклоняясь всего на $\pm 30^\circ$. Золотник приводится в движение прямым действием вала сервоэлектрического привода, который имеет замкнутый по углу расширяя границы возможного вращения внутренний контур. Благодаря высокой полосе пропускания сервопривода обеспечивается

высокая динамическая точность регулирования потоков воздуха. Трущаяся пара «металл по металлу» между золотником и картриджем обеспечивает повышенный ресурс работы преобразователей, а отсутствие резиновых уплотнений значительно снижает влияние нелинейных составляющих сил трения и обеспечивает высокую статическую точность позиционирования золотника. Компановка дозатора с использованием серво-регулятора LR позволяет изменить концепцию стандартных технических решений для оборудования по фасованию «тихих напитков». Сервопневматические устройства серии LR бывают нескольких типов: регуляторы расхода, давления и модули для следящих приводов (рис 3). Внутри модулей программно реализован пропорционально-интегро-дифференцирующий (ПИД) - регулятор с механически настраиваемыми коэффициентами. При необходимости он исключит режим автоколебаний, сведёт к нулю статическую ошибку и влияние возмущений и попытается предугадать поведение системы на следующем шаге.

В основе пневмомеханической части - все модули имеют 3/3 структуру распределителя.

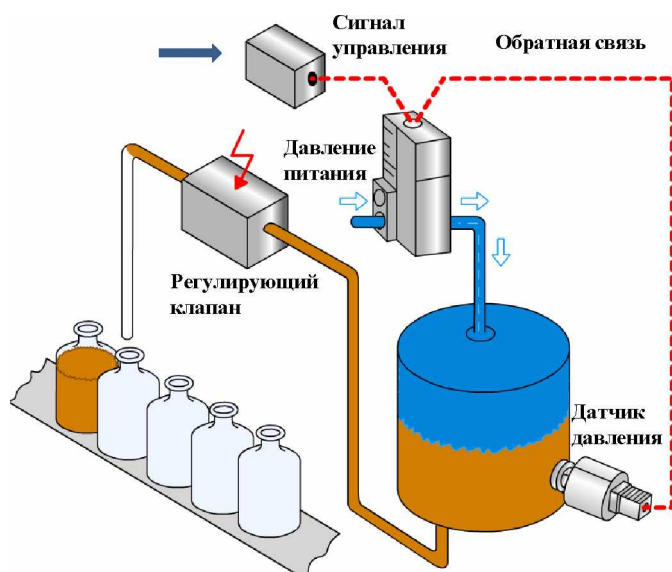


Рисунок 3 – Технологическая схема процесса дозирования при использовании LR регулятора

Прецизионные регуляторы показали расход от 0 до 1100 Нл/мин, значит могут применяться для управления потоками воздуха без контроля давления на выходе регулятора. Система LR имеет два контура управления: внутренний по углу вращения золотника и внешний, построенный с помощью интегрированного в регулятор датчика давления. Фактическое значение, полученное с датчика давления, поступает на контроллер серворегулятора. Контроллер сравнивает текущее и желаемое значения давления и по разнице этих сигналов с учётом ПИД-закона регулирования формирует сигнал на электропривод для поворота золотника.

Жидкость поступает ко входу наполняющего клапана с постоянным давлением, независимо от уровня жидкости. Для прецизионного управления подачей ньютоновских жидкостей и газов, компоновка оборудования строится на базе двух распределителей серии LRWA4, пневматического цилиндра с датчиком положения и высокопроизводительного контроллера, способных опросить датчик, реализовать алгоритм ПИД-регулирования и выдать команды на сервораспределители LRWA4 не более чем за 1 мс (рис. 4).

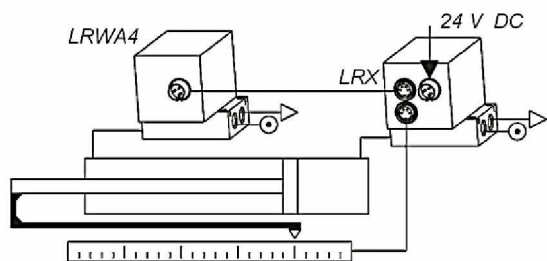


Рисунок 4 – Экспериментальная установка на базе пропорционального регулятора серии LR.

Датчик положения: Balluff. Контроллер производства технического центра Камоцци на базе семейства микроконтроллеров STM32

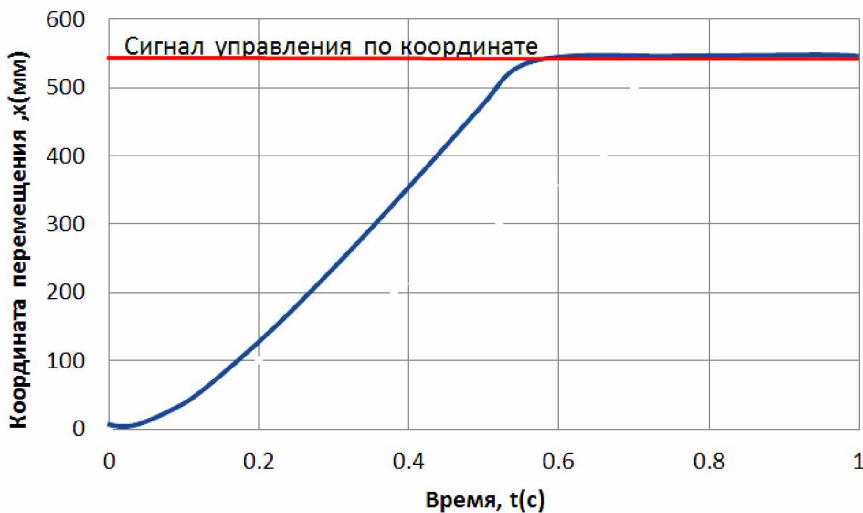


Рисунок 5 - Реакция следящего привода на базе серии LR в экспериментальной системе.

На примере реакции на ступенчатое воздействие следящего пневмопривода на базе серии LR показана эффективность применения регуляторов (рис. 5).

Выводы. При проведении исследований работы LR, в большинстве задач, сам сервораспределитель достаточно воспринимать как «чёрный ящик»: для тестирования необходимо подвести к нему питание и подать на вход аналоговый сигнал. В результате – для воспроизведения реакции на входное воздействие LR требуется несколько миллисекунд, в отличие от стандартных широко эксплуатируемых систем управления дозирующим оборудованием.

Переходный процесс в экспериментальной установке - завершился за 0,56 секунды при перемещении на 550 мм инерционной нагрузки в 70 кг. Погрешность позиционирования (при многократном тестировании) не превышает 0,1 мм. Серворегулятор LR сжатым воздухом создает постоянное давление на поверхность жидкости независимо от степени наполненности резервуара. В системах дозирования с помощью серворегуляторов возможно прецизионное управление подачей ньютоновских жидкостей и газов.

В отличие от традиционных решений, где управление положением подвижного элемента происходит с помощью пропорциональных магнитов и обеспечивается частота среза 5–10 Гц, сервораспределители серии LR имеют частоту среза более 100 Гц. При проведении эксперимента система показала: динамическую точность сервоэлектрического привода и высокую удельную мощность сжатого воздуха. LR модули органично вписываются в состав электропневматических систем управления с замкнутыми и разомкнутыми внешними контурами регулирования и позволяют получать результаты с малыми допустимыми погрешностями общего технологического процесса .

Література

1. Технічні інформаційні ресурси. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ :CAMOZZI. - Режим доступу до каталогу.: <http://catalog.camozzi.ua> — Назва з екрану.
2. Черкашенко М.В. Автоматизація проектування систем гідро- і пневмо-приводів з дискретним управлінням / Навч. посібник.-2-е вид., перероб.-Харків: НТУ"ХПІ", - 2001.- 182с.
3. Аверьянов А.А., Дьяченко В.Ю., Клюкин В.Ю. Разработка программного пакета для исследования процесса функционирования мультидозатора. / XXXI Неделя науки СПбГПУ 4.III. Материалы межвузовской конференции. -СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. -С. 3-4.
4. Антипов, С. Т. Системное развитие техники пищевых технологий / С. Т. Антипов, В. А. Панфилов, О. А. Ураков [и др.] ; под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. — М. : КолосС, 2010. — 762 с.