

УДК 62-50: 62-525: 628

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСФАСОВКИ СИРОПОВ

В.С. Безменов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: v.bezmenov48@yandex.ru

Ключевые слова: сиропы, система расфасовки, диафрагменный насос, барботажная трубка, дозирование по уровню, алгоритм управления.

Аннотация: Рассмотрены особенности технологического процесса расфасовки сиропов. Проанализированы недостатки кондуктометрических датчиков уровня наполнения тары. Разработан и испытан в производственных условиях экспериментальный образец системы расфасовки однокомпонентных сиропов с пневматическим датчиком уровня барботажного типа. Сформулированы предложения по развитию автоматизированных систем расфасовки сиропной продукции на базе средств пневмоавтоматики.

1. Введение

В связи с развитием в России упаковочной отрасли и, в частности, в связи с образованием предприятий малого и среднего бизнеса, занимающихся производством и упаковкой безалкогольных напитков, возникает потребность в недорогом и компактном импортозамещающем оборудовании для расфасовки выпускаемой продукции в потребительскую тару. В последние годы особую нишу в ассортименте безалкогольных напитков занимают сиропы – концентрированные растворы одного или нескольких видов сахаров (сахарозы, глюкозы, фруктозы, мальтозы) в воде или натуральном соке.

Ведущую роль на рынке сиропной продукции занимает российская компания «ProffSyrup», специализирующаяся на выпуске широкого ассортиментного перечня из более 250 наименований концентрированных однокомпонентных сиропов и так называемых основ – многокомпонентных фруктовых концентратов.

Разработанная специалистами компании технология приготовления сиропов включает их варку в реакторах при температуре $\sim 95^{\circ}\text{C}$ и последующую расфасовку в горячем виде из вспомогательной транспортировочной тары большой емкости.

Горячие как одно-, так и многокомпонентные сиропы (основы) представляют собой слабо пенящиеся маловязкие жидкости. Однако имеется различие в их консистенции: основы содержат твердые мелкие нерастворимые взвеси (косточки ягод), что влияет на выбор исполнительных устройств для их транспортировки к узлу залива.

Компанией «ProffSyrup» разработана автоматическая линия расфасовки и укупорки однокомпонентных сиропов в стеклянные бутылки емкостью 250 и 1000 мл. Основой данной линии является линейная конвейерная машина с электронной системой управления (СУ), обеспечивающая одновременное перемещение от 4-х до 6-ти бутылок на позиции налива и их наполнение с контролем окончания операции отмеривания дозы по уровню жидкости в таре. Для транспортировки сиропа к узлам залива используются диафрагменные электронасосы китайского производства, которые,

однако, неработоспособны на многокомпонентных сиропах. Для реализации операции отмеривания дозы используются кондуктометрические датчики уровня. Их основным недостатком является зависимость электропроводности сиропа от его физико-химического состава, что приводит к необходимости достаточно трудоемкой перенастройки СУ на различные виды сиропной продукции.

Указанные недостатки используемого фасовочного оборудования и необходимость повышения его производительности привели специалистов компании «ProffSygur» к поиску альтернативных технических решений по выбору средств автоматизации процессов расфасовки сиропной продукции.

В результате сотрудничества со специалистами компании «ProffSygur» в качестве альтернативных технических решений, направленных на развитие производства, нами было предложено использовать разработанные в ИПУ РАН пневматические средства управления процессами расфасовки жидких продуктов, в частности, – рассматриваемый в разделе «2» доклада и описанный в [1] пневматический дозатор с контролем отмеривания дозы по уровню в таре, реализуемый посредством пневматического датчика уровня барботажного типа.

Дозатор [1] был взят за основу при разработке описанного в разделе «3» доклада экспериментального образца (ЭО) системы расфасовки однокомпонентных сиропов в бутылочную стеклянную тару емкостью 1000 мл.

2. Пневматический дозатор с отмериванием дозы по уровню

Функциональная схема дозатора по уровню [1] показана на рис. 1 Дозатор содержит узел залива тары (УЗ) 1 и пневматическое управляющее устройство (УУ) 2.

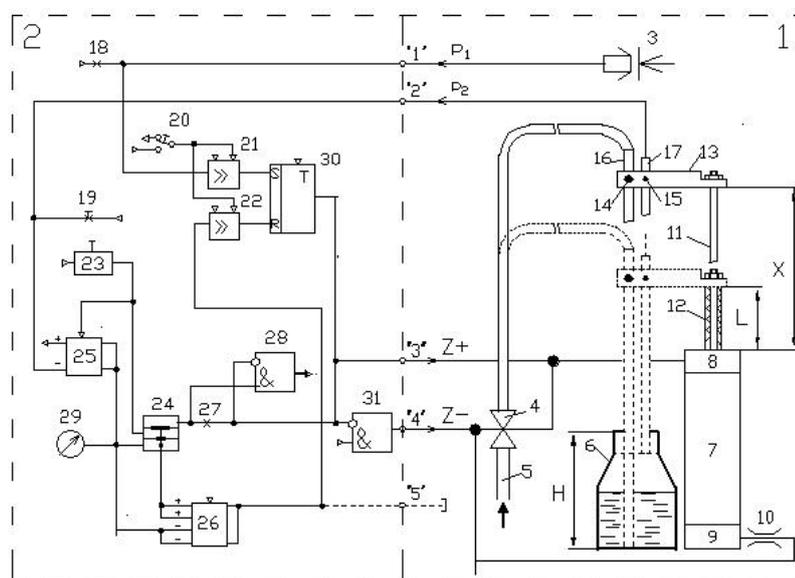


Рис. 1. Функциональная схема дозатора с отмериванием дозы по уровню.

УЗ 1 содержит следующее технологическое оборудование:

- сенсорную пусковую пневмокнопку 3 операции «Дозирование»;
- пневмоклапан 4 в виде шарового крана с двухсторонним пневмоприводом в качестве запорного устройства на линии 5 подачи жидкости в тару 6;
- смонтированный в вертикальном положении двухходовый пневмоцилиндр 7 с верхней (8) и нижней (9) камерами управления;

- установленный на входе в камеру 9 стеклянный капилляр 10, обеспечивающий плавность хода штока 11 пневмоцилиндра;
- установленный на штоке 11 пневмоцилиндра 7 ограничитель его хода 12 в виде толстостенного дюритового шланга-амортизатора, длина L которого рассчитывается по формуле: $L = X - H$, где X – полный ход пневмоцилиндра, H – высота тары;
- жестко закрепленная гайкой на штоке пневмоцилиндра монтажная пластина 13 с отверстиями для установки и фиксации стопорными винтами 14 и 15 положений сливной (16) и воздушной (17) трубок.

УУ 2 построено на элементной базе Универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭПА) [2]. Питание пневмоэлементов УУ производится от пневмосети через понижающий стабилизатор, настраиваемый на выходное давление, равное $1,4 \text{ кгс/см}^2$. (Стабилизатор на рис.1 не показан).

В состав УУ входят пневмоэлементы следующего функционального назначения:

- первый постоянный (18) и регулируемый (19) дроссели, предназначенные для ограничения расхода воздуха в канале пусковой пневмокнопки 3 и воздушной трубки 17, соответственно;
- пневмотумблер 20 питания вторых каскадов первого (21) и второго (22) двухкаскадных пороговых усилителей давления и мощности;
- датчик 23 давления подпора нормально открытого пневмоклапана 24 и давления питания трехмембранного элемента сравнения 25, выполняющего функцию первого каскада усиления выходного сигнала (давления p_2) воздушной трубки 17;
- пятимембранный элемент сравнения 26 в качестве второго каскада усиления выходного сигнала воздушной трубки 17;
- второй постоянный дроссель 27 на входе в командную камеру нормально открытого пневмоклапана 24 с логическим элементом «Запрет» 28 для стравливания воздуха за дросселем 27 в атмосферу;
- технический манометр 29 для настройки и контроля выходного давления трехмембранного элемента сравнения 25;
- триггер с отдельными входами 30 с логическим элементом «НЕ» 31 для включения в работу элементов датчика уровня и управления работой пневмоклапана 4 и пневмоцилиндра 7 на операции «Дозирование».

Связи между элементами УУ и УЗ осуществляются импульсными трубками из ПВХ через штуцеры «1»-«4» внешних соединений УУ. Дополнительный штуцер внешних соединений «5» заглушен и используется для настройки выходного давления пятимембранного элемента сравнения 26. (Линия подсоединения пятимембранного элемента сравнения 26 к штуцеру «5» показана на чертеже пунктиром).

Настройка пневмоэлементов УУ2 осуществляется при включенном давлении питания. Датчик 23 настраивается на выходное давление питания элемента сравнения 25, равное $0,8 \text{ кгс/см}^2$. Выходные давления элементов сравнения 25 и 26 настраиваются посредством специальной регулировки пневмоконтактов элементов - положений их сопл питания и сопл стравливания воздуха в атмосферу относительно заслонок. Для элемента сравнения 25 номинальное значение выходного давления, контролируемого по манометру 29, составляет $0,4 \text{ кгс/см}^2$. Начальное давление на выходе элемента сравнения 26 должно составлять порядка 10-20 мм.вод.ст. ($0,001-0,002 \text{ кгс/см}^2$) и может быть проконтролировано по образцовому манометру (на чертеже не показан), подключаемому к штуцеру «5» внешних соединений УУ. Настройка проводимости регулируемого дросселя 19 настраивается посредством ввода воздушной трубки 17 в вспомогательную емкость с водой и визуального контроля частоты (1-2 гц) отделения пузырьков воздуха от торца трубки.

Дозатор работает следующим образом.

При подаче давления питания на УУ пневмоклапан 4 закрывается ($Z+=0$, $Z-=1$), и шток 11 пневмоцилиндра 7 перемещается в исходное верхнее положение.

Налив жидкости в тару производится автоматически при касании оператором отверстия сенсорной пусковой пневмокнопки 3. При касании отверстия кнопки повышается избыточное давление p_1 , срабатывает двухкаскадный усилитель 21 и взводится триггер 30; при этом открывается пневмоклапан 4 ($Z+=1$, $Z-=0$), и шток пневмоцилиндра 7 перемещается в нижнее положение, обеспечивая плавное (без вспенивания и образования пузырьков воздуха на поверхности жидкости) наполнение тары 6 дозируемой жидкостью.

При достижении уровнем жидкости в таре торцевой кромки воздушной трубки 17, из-за образования пузырька воздуха на границе раздела «газ-жидкость» происходит скачкообразное повышение давления p_2 и, соответственно, – усиленное по амплитуде скачкообразное уменьшение давления на выходе элемента сравнения 25. Уменьшение давления на выходе элемента сравнения 25, ввиду наличия в схеме датчика уровня нормально открытого пневмоклапана 24, плавно замыкаемого после включения подачи жидкости в тару, вызывает скачкообразное повышение давления на выходе элемента сравнения 25, переключение с «0» на «1» усилителя 22 и сброс на «0» триггера 30. При этом закрывается пневмоклапан 4 и прекращается подачи жидкости в тару ($Z+=0$, $Z-=1$). Элементы УЗ1 и УУ2 переходят в исходное состояние. Цикл операций наполнения тары повторяется при очередной подаче команды от кнопки 3.

3. Разработка ЭО системы расфасовки сиропов

При разработке ЭО схема рассмотренного в предыдущем разделе дозатора [1] (**базовая** схема) была доработана с учетом физических свойств сиропов и типоразмеров тары. При этом учитывались следующие факторы.

1. Ввиду слабого вспенивания сиропа, оказалось возможным исключить перемещение заливной трубки в полость тары, что позволило существенно упростить конструкцию узла залива, заменив заливную трубку неподвижным стальным сливным наконечником (СН) с внутренним диаметром 8 мм, располагаемым на расстоянии 5 - 10 мм над горловиной тары. При этом при использовании электрического диафрагменного насоса (ДН) для транспортирования сиропа к СН, ввиду наличия в конструкции ДН обратного клапана, исключается межоперационное каплеобразование на торце СН.

2. При остывании сиропа до комнатной температуры ее уровень в наполненной таре понижается и должен занимать номинальное положение, которому соответствует положение уровня по окончании операции налива всего лишь на 20 мм ниже кромки заливной горловины. Кроме того, при общей длине горловины, равной 75 мм и заданной номинальной величине времени налива, равной 20 с, имеет место достаточно высокая скорость наполнения горловины, которая при ее внутреннем диаметре, равном 22 мм, составляет 13,2 см/с. Поэтому, для исключения перелива тары, датчик уровня должен быть настроен на максимальную чувствительность.

3. При лабораторных испытаниях доработанной с учетом вышеперечисленных факторов базовой схемы дозатора на воде был выявлен ее существенный недостаток для работы с сиропами, который заключался в преждевременном («ложном») срабатывании датчика уровня в начальной стадии наполнения тары. «Ложное» срабатывание датчика объясняется его высокой чувствительностью и реагированием на перекрытие выходного канала воздушной (далее «**барботажной**») трубки (БТ) стекающими по ее внешней поверхности каплями жидкости, образовавшимися по окончании предыдущей операции дозирования. Для исключения этого недостатка был

разработан специальный **эмпирический** алгоритм управления дозированием, обеспечивающий продувку БТ сжатым воздухом в начальной стадии наполнения тары и была снята внутренняя фаска с выходной торцевой кромки БТ.

Функциональная схема разработанного ЭО системы расфасовки сиропов приведена на рис. 2. Система содержит узел залива тары (УЗ) - объект управления и пневматическое управляющее устройство (УУ).

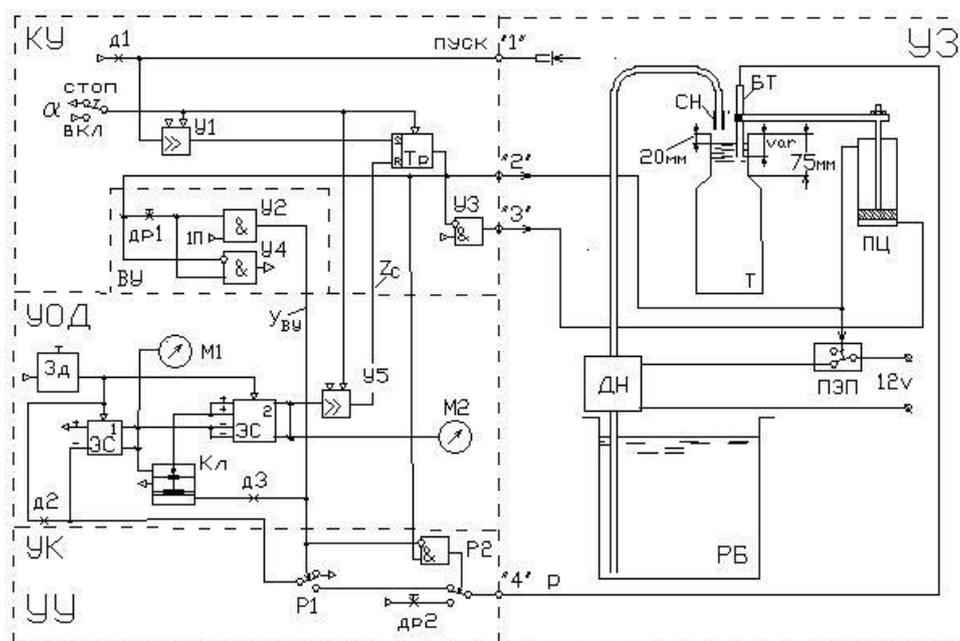


Рис. 2. Функциональная схема ЭО системы расфасовки однокомпонентных сиропов.

В состав УЗ входят БТ с внутренним диаметром 4 мм и наружным диаметром 6 мм с приводом от пневмоцилиндра (ПЦ) и линия налива (ЛН) сиропа в тару (Т), содержащая расходный бак с сиропом (РБ), ДН с пневмоэлектропреобразователем (ПЭП) в цепи его электропитания и СН.

В состав УУ входят командный узел (КУ), узел отмеривания дозы (УОД) и узел коммутации (УК).

КУ содержит тумблер α «вкл/стоп», обеспечивающий подачу пневмопитания на вторые каскады усилителей У1 и У5 (при включенном положении тумблера), а также экстренное отключение подачи сиропа в тару (при выключенном положении тумблера); триггер Тр с инверсным усилителем У3 на его выходе; постоянный дроссель д1 в цепи питания сенсорной пневмокнопки «пуск», выходной канал которого через усилитель У1 подключен к взводящему входу триггера Тр; устройство выдержки времени τ (ВУ), содержащее регулируемый дроссель др1, л.э. «ДА» – усилитель У2 и л.э. «ЗАПРЕТ» – инверсный усилитель У4.

Узел УОД содержит: трехмембранный элемент сравнения ЭС1 с контрольным манометром М1; пятимембранный элемент сравнения ЭС2 с контрольным манометром М2 и с пороговым двухкаскадным усилителем давления и мощности У5 на выходе; клапан Кл в линии связи ЭС1 с ЭС2 с дросселем д3 на входе в его камеру управления; задатчик Зд давления питания элементов сравнения ЭС1 и ЭС2;

Узел УК содержит реле-коммутаторы Р1 и Р2 выходного сигнала БТ – давления p .

Для подготовки системы к работе необходимо подать давление питания на пневмоэлементы УУ, включить электропитание насоса и включить тумблер α .

При подаче давления питания на УУ ПЦ и БТ занимают исходное верхнее положение.

Залив жидкости в тару производится по команде оператора от кнопки «пуск». При касании кнопки срабатывает усилитель У1 и взводится триггер Тр, обеспечивая включение в работу ДН и ВУ, а также ввод БТ в полость тары и коммутацию БТ через дроссель др2 и реле Р2 с источником продувки в течение времени $\tau \approx 10$ с (при общем времени налива ~ 20 с), исключающей преждевременное срабатывание датчика.

По окончании выдержки времени τ на выходе ВУ формируется сигнал $u_{\text{ВУ}}=1$. По этой команде БТ через н.з. контакт реле Р1 и н.о. контакт реле Р2 коммутируется с выходным каналом дросселя питания БТ д2 и с «отрицательной» камерой элемента сравнения ЭС1, обеспечивая подготовку к срабатыванию датчика уровня наполнения тары, а также подготовку к срабатыванию элемента сравнения ЭС2.

При достижении уровнем жидкости в таре торцевой кромки БТ на выходе усилителя У5 формируется сигнал $Z_c=1$ сброса на «0» триггера Тр. При Тр=0 отключается электропитание насоса, прекращая наполнение тары. При этом ПЦ и БТ занимают исходное верхнее положение.

Таким образом, элементы сравнения ЭС1 и ЭС2 выполняют функцию двухкаскадного аналогового усилителя выходного сигнала (давления p) на выходе БТ. Благодаря высокому коэффициенту усиления (≈ 1600) и низкому ($\approx 160 - 240$ мм.вод.ст.) порогу срабатывания усилителя У5 достигается высокая чувствительность датчика уровня. При этом регулировка дозы осуществляется путем изменения положения БТ вдоль вертикальной оси. Экстренное отключение подачи жидкости в тару производится выключением тумблера α . При этом триггер Тр сбрасывается на «0», и операции наполнения тары прерывается.

3. Заключение

Основным преимуществом предложенного принципа отмеривания дозы с помощью пневматического датчика уровня барботажного тапа является независимость его настроечных параметров от физико-химических свойств жидкости и, как следствие, – возможность его настройки на максимальную (во избежание перелива тары) чувствительность не на горячем сиропе, а на водопроводной воде при комнатной температуре.

Успешная апробация в производственных условиях на различных видах однокомпонентных сиропов ЭО системы расфасовки позволяет сформулировать направления развития производства сиропной продукции посредством разработки:

- многоканальных автоматизированных пневматических систем расфасовки многокомпонентных сиропов с ручной установкой тары на позицию налива;
- комбинированных пневмоэлектронных конвейерных линий расфасовки основ многокомпонентных сиропных композиций.

Список литературы

1. Безменов В.С. Пат. 2754139 РФ. Пневматический дозатор с отмериванием дозы по уровню жидкости в таре // БИ. 2021. № 25.
2. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации ГСП. Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики УСЭППА. Каталог. 1975. Т. 5, Вып. 1. 1975. 44 с.