

УДК 621.798.37

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДОЗАТОРА “DIRECT FILLING” С СЕНСОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

© Феликс Иванович Батырь, Борис Львович Саламандра, Галина Николаевна Орлова
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия
salamandra@imash.ru

Аннотация. В дозаторах “Direct filling” объем дозы определяется перемещением свободно плавающего бесштокового поршня между двумя механическими упорами. Одним из путей совершенствования таких дозаторов является замена механических упоров электронными сигналами на закрытие клапанов, получаемыми от датчиков, регистрирующих положение поршня в мерной гильзе. В статье описываются преимущества и недостатки этого нового технического решения, а также анализируются факторы, наиболее сильно влияющие на погрешности дозирования. Приводятся результаты экспериментального исследования точности дозирования в зависимости от давления в продуктоном тракте и алгоритма управления дозатором.

Ключевые слова: дозатор, Direct Filling, погрешность дозы, датчики положения поршня, механический упор, автоматическое дозирование, напорный продуктопровод, алгоритм управления.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DIRECT FILLING DISPENSER WITH SENSOR CONTROL

© Felix Batyr, Boris Salamandra, Galina Orlova
IMASH RAN, Moscow, Russia
salamandra@imash.ru

Abstract. The volume of the dose is determined by the movement of a freely floating rodless piston between two mechanical stops in the “Direct filling” dispensers. One way to improve these dispenser is to replace the mechanical stops with electronic signals to close the valves, obtained from sensors that register the position of the piston in the measuring cylinder. The article describes the advantages and disadvantages of this new technical solution, as well as the factors that most strongly influence the dosing errors. The results of an experimental study of the accuracy of dosing as a function of the pressure in the food tract and the control algorithm for the dispenser are presented.

Keywords: dispenser, Direct Filling, dose error, piston position sensors, mechanical stop, automatic dosing, pressure product pipeline, control algorithm.

В ИМАШ РАН разработан новый принцип дозирования жидкостей различной вязкости, получивший название “Direct filling” (прямой впрыск) [1]. Он заключается в создании некоторой “насадки” на напорный продуктопровод, в которой размещен разделитель потока, как правило, плавающий бесштоковый поршень, перемещение которого между двумя упорами под действием давления жидкости в продуктопроводе позволяет сформировать и выдать требуемую дозу. К настоящему времени созданы и внедрены на серийных автоматических линиях мод. АЛБ 165 производства фирмы “Рекупер” модульные линейные [2] и роторные [3] дозаторы для фасовки широкого спектра продуктов, начиная от

супержидких (соевый соус, спирт, растительное масло) и кончая высоковязкими (сливочное масло, крем–мед, творог, тяжелые сырные соусы).

Опыт разработки и эксплуатации дозаторов, построенных по принципу “Direct filling”, показал, что по сравнению с традиционными конструкциями [1] они отличаются существенно меньшими погрешностями дозирования (не превышают $0,80 \div 0,90$ для доз $10 \div 30 \text{ см}^3$), лучшим быстродействием (одна порционная доза менее, чем за 1 с) и, что особенно важно при производстве продуктов питания, высокой гигиеной разлива и возможностью автоматической безразборной мойки. Все эти качества обусловлены следующими особенностями технологии “Direct filling”:

- 1) отсутствием приводных цилиндров и, как следствие, полной герметичностью дозатора; нет подсоса воздуха и утечек через уплотнения подвижных соединений; в жидкость не заносятся продукты износа трущихся пар и вредная микрофлора из внешней среды;

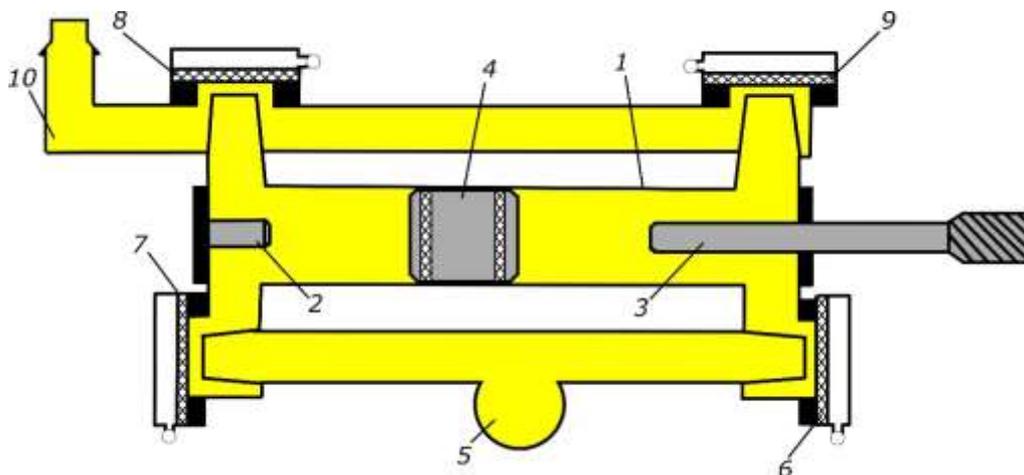


Рис. 1

- 2) нет необходимости в промежуточном баке, из которого засасывается очередная доза продукта; отсутствуют окислительные процессы, поскольку продукт нигде не контактирует с внешней средой;
- 3) не тратится время на этап всасывания, поскольку выдача дозы сопровождается накоплением продукта для следующей дозы.

Все эти особенности следуют из рассмотрения принципиальной схемы дозатора “Direct filling” (рис. 1). Здесь в гильзе 1 между упорами 2 и 3 перемещается бесштоковый поршень 4. Продукт под давлением поступает в полость 5. В исходном положении нагнетающие (6, 7) и выпускные (8, 9) пневмоклапаны закрыты, а поршень 4 находится на одном из упоров, например, 2. При необходимости выдачи дозы по сигналу от контроллера открываются клапаны 7 и 9, и поршень 4, перемещаясь под давлением продукта от упора 2 к упору 3, выдает в выпускной клапан 10 требуемую дозу продукта, после чего пневмоклапаны 7 и 9 закрываются. На следующем цикле открывается другая диагональ клапанов – 6 и 8, и поршень 4, перемещаясь от упора 3 к упору 2, выдает очередную дозу продукта.

Дальнейшее совершенствование дозаторов “Direct filling” связано с отказом от механических упоров и их заменой электронными сигналами на закрытие клапанов, получаемыми от датчиков (например, герконов), установленных снаружи мерной гильзы и регистрирующих положение поршня в гильзе (например, при установке в поршне магнитного кольца) [4]. Наряду с упрощением конструкции, такое техническое решение существенно облегчит отладку дозы и может увеличить быстродействие дозатора.

Дело в том, что при механических упорах заранее неизвестно, когда на очередном цикле дозирования поршень достигнет крайнего положения – выйдет на упор. Время перемещения поршня зависит от вязкости продукта, давления в продуктопроводе и проходных сечений. Поэтому время, отводимое контроллером на процесс дозирования, приходится завышать для

обеспечения гарантированного выхода поршня на упор. Только в этом случае обеспечивается стабильность дозы.

Как правило, на автоматических линиях дозирование является лимитирующей технологической операцией, поэтому сокращение времени ее выполнения позволяет уменьшить время цикла работы линии и, соответственно, увеличить ее производительность.

Существенный резерв по времени имеется и в организации наладки дозатора на требуемую дозу продукта. Максимальный диапазон доз, который может выдать дозатор, определяется диаметром и длиной гильзы *1*. С целью упрощения конструкции для линии АЛБ 165 созданы дозаторы с гильзами одинаковой длины (150 мм), но диаметром от $\varnothing 25$ мм (для мелкой фасовки – $5 \div 70$ см³) до $\varnothing 63$ мм (дозы до 420 см³). При этом упор *3* для всех дозаторов выполнен составным, состоящим из резьбовой части – для бесступенчатого регулирования объема дозы, и навинчиваемых вставок – удлинителей – для ступенчатой разбивки максимального диапазона дозы на поддиапазоны. Диапазон доз для дозаторов линии АЛБ 165 с различными диаметрами гильз, разбивка на поддиапазоны для каждого набора вставок и чувствительность регулировки дозы приведены в таблице.

Таблица

Диаметр гильзы, мм	Усилие на поршне при 1 мг/см.кв, кгс	Мах/мин объем дозы, см.куб.	Чувствительность регулировки, см.куб/об.	Диапазон плавного изменения дозы в см.куб. при установке вставок в количестве			
				0	1	2	3
$\varnothing 25$	4,909	71,18/3,9	0,49	71,18÷54,0	54,5÷37,32	37,8÷20,62	21,11÷3,93
$\varnothing 32$	8,042	116,61/6,4	0,8	116,61÷88,46	89,27÷61,12	61,92÷33,77	34,58÷6,43
$\varnothing 40$	12,566	182,21/10	1,26	182,21÷138,23	139,48÷95,5	96,76÷52,78	54,03÷10,05
$\varnothing 50$	19,635	265,07/0	1,96	265,07÷196,35	198,31÷129,59	131,55÷62,83	64,8÷0
$\varnothing 63$	31,172	420,82/0	3,12	420,82÷311,72	314,84÷205,74	208,85÷99,75	102,87÷0

Наладка дозатора осуществляется в два этапа. Сначала по величине требуемой дозы определяется поддиапазон и устанавливается соответствующее количество вставок, затем, уже на работающей линии, добиваются требуемой дозы вращением микрометрического винта. Важно отметить, что такая двухэтапная наладка требует достаточно большого времени и сопряжена с частичной разборкой дозатора для установки или снятия вставок. Данная процедура приводит к ухудшению гигиенических показателей и попаданию воздуха в каналы дозатора, что устраняется последующей мойкой всего продуктового тракта. Таким образом, отказ от механических упоров и их замена сенсорными устройствами позволит упростить отладку дозы и в перспективе увеличит быстродействие автоматического оборудования. Однако такая замена не может не сказаться на точности и стабильности выдаваемой дозы. Ниже излагаются результаты экспериментального исследования стабильности дозатора “Direct filling” с сенсорным управлением, общий вид которого представлен на рис. 2, а принципиальная схема - на рис. 3.

Дозатор выполнен на базе мерной гильзы *1* диаметром $\varnothing 50$ мм и длиной 650 мм, что позволяет получать дозы продукта до 1,2 л. В гильзе *1* может перемещаться поршень *2* со встроенным магнитным кольцом. Снаружи на внешней поверхности гильзы *1* с помощью хомутов установлены два датчика – геркона *3* и *4*, которые можно смещать вдоль оси гильзы *1* для регулировки дозы. На концах гильзы *1* крепятся тройники, в которых на выходы, перпендикулярные оси гильзы, устанавливаются управляемые пневмоклапаны *5*, *6*, *7* и *8*. Клапаны *6* и *7* – нагнетающие, они соединяют гильзу с напорным трубопроводом *9*, а клапаны *5* и *8* – выпускные, соединяющие гильзу *1* с выходными соплами *10* и *11*.

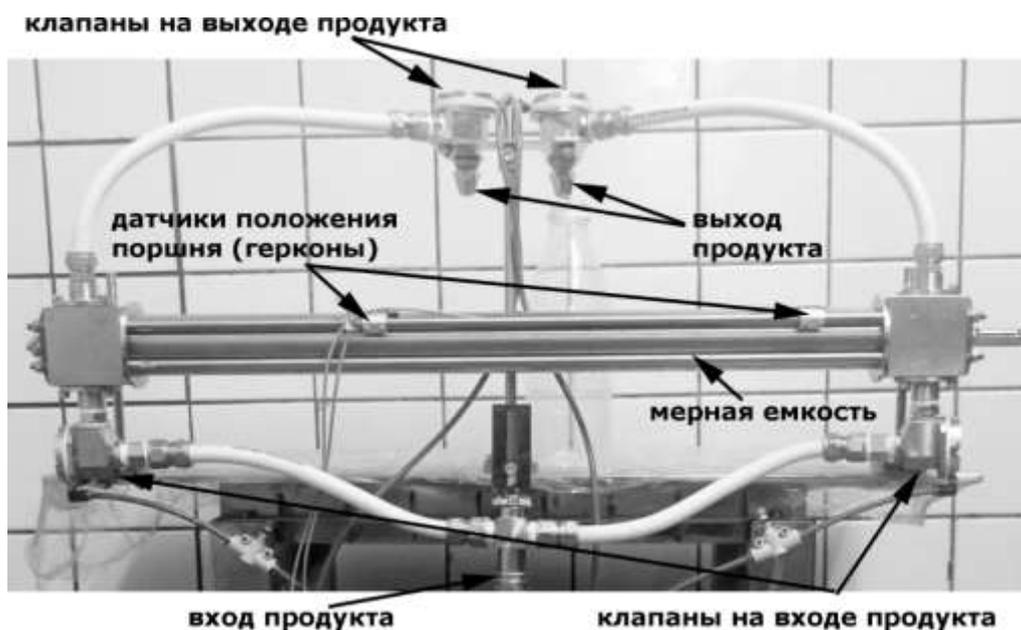


Рис. 2

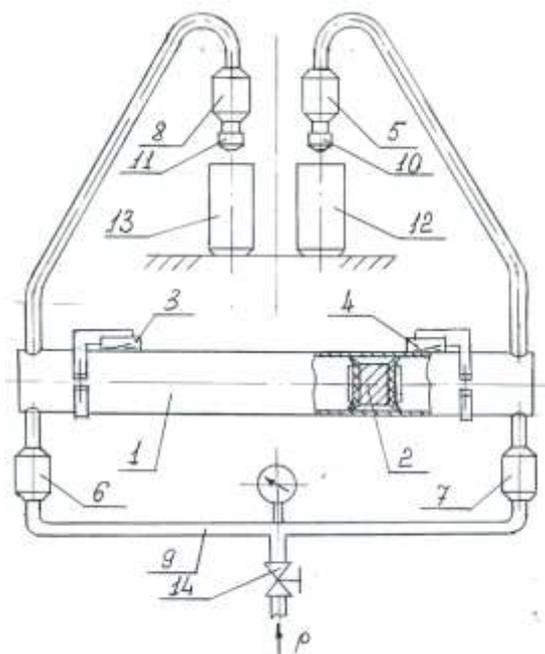


Рис. 3

В исходном положении вся система заполнена продуктом (исследования проводились на воде), а клапаны 5, 6, 7 и 8 перекрыты. По сигналу от контроллера открывается одна пара диагональных клапанов, например, 5 и 6. Продукт от напорного трубопровода 9 через открытый клапан 6 поступает в гильзу 1 и перемещает поршень 2 вправо, выдавливая дозу через открытый клапан 5 и сопло 10 в правую мерную емкость 12. Движение поршня 2 со встроенным магнитом будет происходить до тех пор, пока под действием магнитного поля не замкнутся контакты геркона 4. По этому сигналу контроллер перекрывает клапаны 5 и 6; дозирование завершено, поршень находится в крайнем правом положении, все клапаны перекрыты. На следующем цикле открываются клапаны 8 и 7 другой диагонали. Поршень 2 будет перемещаться влево до момента срабатывания геркона 3, выдавливая дозу продукта

через открытый клапан 8 и сопло 11 в левую емкость 13. На входе в дозатор – в напорном продуктопроводе 9 установлен шаровой кран 14, используемый при испытаниях как дроссель – для регулировки скорости поршня 2 в гильзе 1 и, соответственно, скорости истечения продукта из сопел 10 и 11. Давление в продуктопроводе обеспечивалось мембранным насосом мод. DM 15/55 PTT фирмы “Dellmeco” (Англия) с демпфером, сглаживающим колебания давления на выходе насоса.

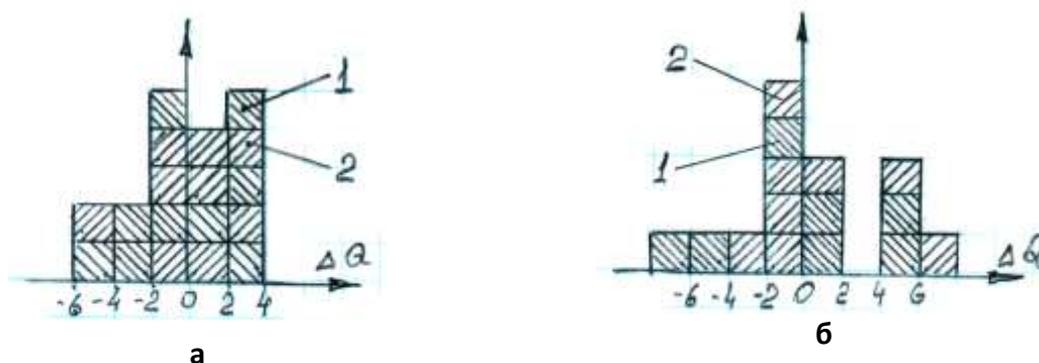


Рис. 4. Гистограммы распределения погрешностей дозирования при одновременной подаче сигналов на срабатывание нагнетающего и выпускного клапанов и давления на входе: *а* – $p = 2,5 \text{ кг/см}^2$; *б* – $p = 3,5 \text{ кг/см}^2$; 1 – погрешность дозы из левого сопла; 2 – из правого сопла

Исследования проводили на воде в литровом диапазоне доз, т.е. расстояние между датчиками 3 и 4 устанавливали так, чтобы получать на выходе дозы от 0,7 до 1 л. Получаемые дозы регистрировали на электронных весах с погрешностью не хуже 0,02 г. Регистрировали также время дозирования. Было установлено, что погрешности дозирования, т.е. стабильность дозы, практически не зависят от установленного номинала в указанном диапазоне доз. Поэтому далее приведем только гистограммы распределения погрешностей дозирования, полученные при различных условиях функционирования дозатора. Во всех экспериментах одну пару крайних значений доз отбрасывали.

На рис. 4 представлены гистограммы распределения погрешностей ΔQ дозирования при давлении p на входе, равном 2,5 (*а*) и 3,5 (*б*) кг/см^2 . Дозирование происходило соответственно за $t_1 = 6,1 \text{ с}$ (скорость истечения $V_1 = 147 \text{ см}^3/\text{с}$) и $t_2 = 5,1 \text{ с}$ ($V_2 = 175 \text{ см}^3/\text{с}$).

Разброс доз в первом случае составил $9,58 \text{ см}^3$ (1,07), а во втором увеличился до $14,64 \text{ см}^3$ (1,8). Предполагая, что пульсация входного давления от насоса “Dellmeco” увеличивает погрешность дозирования, был проведен эксперимент с использованием городской водопроводной сети ($p = 3,5 \text{ кг/см}^2$). Действительно, погрешность дозирования уменьшилась до $11,8 \text{ см}^3$ (1,33). Таким образом, на этапе предварительных испытаний было установлено сильное влияние величины входного давления и его пульсаций на погрешность дозирования. При дальнейших исследованиях были проанализированы все элементы дозатора, которые могут влиять на погрешность дозирования.

Влияние “паразитного” объема клапанов. Во всех предшествующих экспериментах использовали клапаны “Stop and Go” фирмы АКО [5], конструкция которых показана на рис. 5, *а*. Продукт под давлением проходит через мягкую упругую трубку 1, закрепленную в торцах обоймы 2. При подаче воздуха в обойму трубка пережимается, закрывая продуктовый канал. В исследуемом дозаторе использовали клапаны мод. VMO15.02, имеющие трубку длиной $\approx 60 \text{ мм}$ с проходным сечением $\varnothing 15 \text{ мм}$. Расчеты показали, что из-за пережима трубки при закрытии клапана в измеряемый объем может выдавиться до $3,5 \text{ см}^3$ продукта.

Этот объем нестабилен, зависит от состояния второго клапана и изменения давления в продуктивном тракте. Колебания этого “паразитного” объема от цикла к циклу входят, как составная часть, в погрешность дозы.

На рис. 5, б показана конструкция клапана, специально разработанного для дозатора “Direct filling” и имеющего существенно меньший “паразитный” объем. Здесь при подаче воздуха в надмембранное пространство мембрана 1 перекрывает входное отверстие ниппеля 2 –

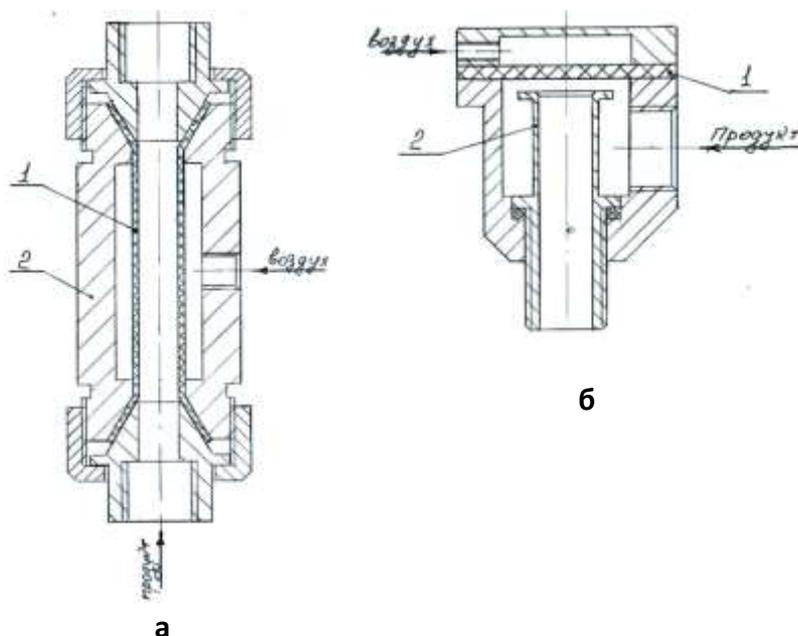


Рис. 5. Конструкция клапанов: а – “Stop and Go” фирмы АКО; б – фирмы “Рекупер” с малым “паразитным” объемом

продуктовый тракт закрыт. В таком клапане при достаточно большом проходном сечении “паразитный” объем определяется только величиной вдавливания мембраны в отверстие ниппеля и, как показывают расчеты, не превышает $0,1 \div 0,2 \text{ см}^3$.

Алгоритм управления дозатором на предшествующих экспериментах был очень прост и заключался в одновременной выдаче сигналов на срабатывание нагнетающего и выпускного клапанов, находящихся на одной диагонали дозатора. На самом деле, как показали исследования, это далеко не лучший алгоритм управления. На рис. 6 показаны диаграммы изменения давления в мерной гильзе при всех возможных вариантах смещения на $\Delta t = 0,3 \div 0,4 \text{ с}$ сигналов управления нагнетающим и выпускным клапанами. Видно, что при вариантах управления а и б еще до начала истечения дозы в зоне мерной гильзы (точнее, в объеме между нагнетающим и выпускным клапанами) наблюдаются скачки давления, которые могут приводить к смещению поршня вследствие упругости системы и, следовательно, к увеличению погрешности дозы. Более “спокойное” дозирование наблюдается при вариантах управления в и г. Отметим, что при варианте рис. 6, в мерная гильза при закрытых клапанах находится под высоким входным давлением p . Поэтому из-за упругости системы в начале истечения дозы наблюдается резкий выплеск продукта, а в конце истечения имеет место гидравлический удар, последствия которого сглаживаются упругостью мембран клапанов.

Наиболее благоприятным для дозирования является вариант управления рис. 6, г, когда выпускной клапан открывается раньше и закрывается позже нагнетающего клапана. В этом случае давление в мерном цилиндре равно либо 0, когда оба клапана закрыты, либо равно давлению истечения $p_{\text{доз}} < p$ продукта, когда оба клапана открыты.

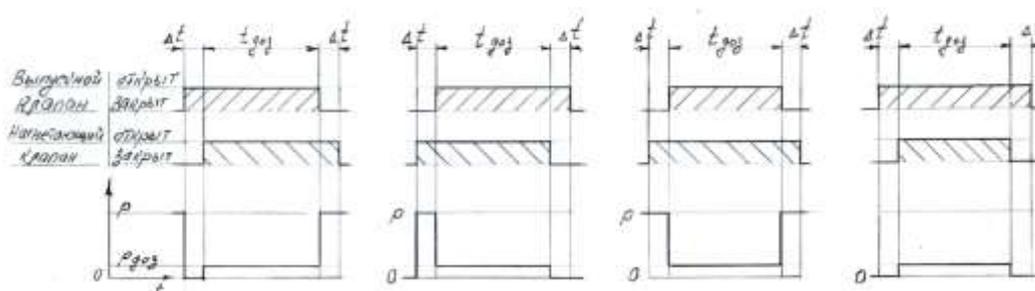


Рис. 6. Диаграммы изменения давления в мерной емкости при различных алгоритмах управления: *a* – когда выпускной клапан открывается и закрывается раньше нагнетающего; *b* – то же, но позже; *v* – когда выпускной клапан открывается позже и закрывается раньше нагнетающего; *z* – когда выпускной клапан открывается раньше и закрывается позже нагнетающего; Δt – период задержки сигнала; $t_{\text{доз}}$ – время истечения дозы; $p_{\text{доз}}$ – давление при истечении дозы; p – давление в напорном продуктопроводе

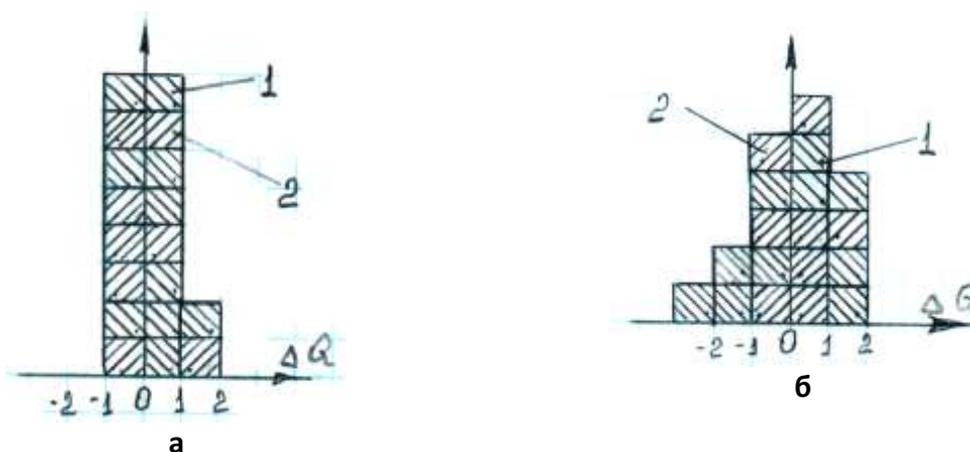


Рис. 7. Гистограммы распределения погрешностей дозирования: *a* – при управлении по алгоритму рис. 6, *v*: $\Delta t = 0,4$ с; *b* – при управлении по алгоритму рис. 6, *z*: $\Delta t = 0,3$ с; 1 – погрешность дозы из левого сопла; 2 – из правого сопла

Зона перемещения поршня, определяющая величину дозы, может быть расположена в любом месте мерного цилиндра. Для повышения точности дозирования представляется целесообразным сместить эту зону к одному из концов мерного цилиндра, например, к левому, разместив там жесткий упор. Левый датчик следует установить так, чтобы он выдавал сигнал, когда поршень гарантированно “сядет” на упор, тогда доза будет определяться только положением правого датчика: при его смещении влево доза будет уменьшаться, а при смещении вправо – увеличиваться. Очевидно, погрешности дозирования должны уменьшиться, поскольку левое положение поршня будет постоянным, и погрешности будут определяться только флуктуациями правого положения поршня. Кроме того, две последовательные дозы, начиная от левого упора, должны быть одинаковыми, что также должно повысить точность дозирования.

Исходя из изложенного, экспериментальный стенд (рис. 2) был модернизирован: установлены клапаны с малым “паразитным” объемом (рис. 5, б), в левом конце мерного цилиндра установлен жесткий упор, определяющий крайнее положение поршня при дозировании, а алгоритм управления был принят в соответствии с рис. 6, *v* и *z*.

Многочисленные эксперименты показали, что при таких усовершенствованиях погрешности дозирования существенно снизились и в диапазоне $0,7 \div 1$ л не превышают $4,5 \div 5$ см³, т.е.

составляют $\pm 0,32$. В качестве примера на рис. 7 представлены гистограммы распределения погрешностей дозирования при управлении по алгоритмам рис. 6, в и г. Полученные результаты позволяют рекомендовать дозаторы “Direct filling” с сенсорным управлением для внедрения.

Список литературы

1. Саламандра Б.Л., Тывес Л.И., Саламандра К.Б., Корендясев Г.К. DIRECT FILLING – технология порционного дозирования вязких продуктов от напорного продуктопровода // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2013. - № 6. - С. 71–78.
2. Саламандра Б.Л. Устройство для дозирования жидких и полужидких продуктов // Патент РФ № 2285246. Б.И. 2006. № 28.
3. Саламандра Б.Л., Батырь Ф.И. и др. Роторный многоканальный дозатор жидких и полужидких продуктов // Патент РФ № 2474521. Б.И. 2013. № 4.
4. Саламандра Б.Л., Батырь Ф.И. и др. Устройство для дозирования жидких и полужидких продуктов. Патент РФ № 133099 U1. Б.И. 2013. № 28.
5. <http://www.akoarmaturen.de/>, дата обращения 12.08.2016.