

УДК 664.8.022.6

Разработка тестоделителя с уточненным отмериванием дозы

Канд. воен. наук **Пальчиков А.Н., Копилец В.И.** dekanatpp@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Современное оборудование для хлебопекарной промышленности в числе прочих машин обязательно использует тестоделители, от которых зачастую зависят качественные и другие потребительские свойства пищевой продукции. Специфическими эксплуатационными показателями таких машин является дозирование неньютоновских жидкостей, которые обладают особенностями при течении в каналах и малых зазорах. Вытеснение продукта в тару происходит обычно через выходной канал, образованный выходными цилиндрическими каналами в мерном цилиндре и золотнике. Однако при этом может наблюдаться и некоторое просачивание продукта через канал, образованный впускными отверстиями в мерном цилиндре и золотнике, и частью кольцевой щели между ними при «передавливании», то есть при превышении необходимого давления. В статье показано, что отсутствие «застойных» зон и щадящее воздействие на пищевую среду позволяют обеспечить необходимую точность дозирования, исключая нежелательные изменения структурно-механических свойств дозируемого материала. Для обеспечения такого эффекта предложено специальное устройство для дозирования.

Ключевые слова: хлебопечение, машины для дозирования теста, течение в каналах, неньютоновские жидкости.

Development testodelitelya with elaborated otmerivaniem dose

Ph.D. **Palchikov A.N., Kopilec V.I.** dekanatpp@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Modern equipment for baker of industry in coun calculate list other machines without fall uses the dough, from which often hang qualitative and other consumer characteristic to food product. The Specific working factor such mabuses is dosage of the liquids, which possess the particularity at current in channel and small clearance. Displacing that in tare occurs through output channel usually formed output cylindrical channel in measured cylinder and goldenrod. However herewith can exist and a certain infiltration of the product through channel, formed inlet hole in measured cylinder andgoldenrod, and a part to working factor such mabuses is dosage of the liquids, which possess the particularity at current recirculating slot between them under that is to say at excess of the necessary pressure. In article is shown that "stagnant" zones and sparing influence on food ambience allow to provide necessary accuracy dosage, exclusive of undesirable change structured-mechanical characteristic dosage material. Special device is offered For provision of such effect for dosage.

Keywords: baker, machines for dosage test, flow in channel, unobservant to liquids.

Исследование дозирующих машин, применяемых для фасования вязких жидких продуктов в тару, показало, что для подобного вида продуктов необходимо использовать дозаторы, работающие по объемному принципу, способные осуществлять принудительный набор продукта в мерную емкость дозатора, т.е. всасывание, и также принудительное выдавливание продукта из мерной емкости в тару.

В пищевой промышленности широкое распространение получили плунжерные, поршневые и шнековые дозаторы, но для фасования вязких продуктов, таких как тесто, обычно применяются шнековые дозаторы, как наиболее отвечающие требованиям, предъявляемым к фасованию вязких пищевых продуктов.

Вытеснение продукта в тару происходит обычно через выходной канал, образованный выходными цилиндрическими каналами в мерном цилиндре и золотнике. Однако при этом может наблюдаться и некоторое просачивание продукта через канал, образованный впускными отверстиями в мерном цилиндре и золотнике, и частью кольцевой щели между ними при «передавливании», то есть при превышении необходимого давления.

Подобное явление напрямую отразится на точности наполнения тары, поскольку весь продукт, уходящий через впускной канал обратно в бункер, не попадет в нее. Таким образом, недостаток продукта в таре будет выражаться тем его количеством, которое проникнет через впускной канал обратно в бункер.

Если рассматривать движение поршня во время выдавливания как установившееся, то количество продукта, ушедшего из мерного цилиндра через впускной канал, будет определяться выражением:

$$Q_{\text{ВЫТ}} = Q_{\text{ВХЩ}} t_{\text{ВЫТ}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ВХЩ}}$ - расход продукта через впускной канал,
 $t_{\text{ВЫТ}}$ - время выталкивания продукта из мерного цилиндра.

Следовательно, основной задачей является отыскание расхода продукта через впускной канал дозатора. Расход продукта через щель:

$$Q_{\text{ВХЩ}} = \frac{h_{\text{ВХЩ}}^3 d_{\text{ВХЗ}}}{12\mu B_{\text{ВХЩ}}} (P_{\text{ВХЩ}} - P_{\text{ВЫХЩ}}), \quad (2)$$

где $B_{\text{ВХЩ}}$ - длина щели между впускными отверстиями в мерном цилиндре и золотнике,
 $h_{\text{ВХЩ}}$ - высота щели, (предполагается что $h_{\text{ВХЩ}} = \text{const}$)
 $P_{\text{ВХЩ}}$ - давление на входе в щель (т.е. давление со стороны мерного цилиндра),
 $P_{\text{ВЫХЩ}}$ - давление на выходе из щели (со стороны бункера).

При расчете полагаем, что ширина потока продукта в щели равна диаметру впускных отверстий в цилиндре и золотнике.

Давление на входе в щель $P_{\text{ВХЩ}}$ будет определяться выражением:

$$P_{\text{ВХЩ}} = \Delta p_{\text{ТПОР}} - \Delta p_{\text{IВЫХ}} - \Delta p_{\text{МВЫХ}}, \quad (3)$$

где $\Delta p_{\text{ТПОР}}$ – давление, создаваемое поршнем дозатора,
 $\Delta p_{\text{IВЫХ}}$ - падение давления создаваемое каналом подачи в золотнике,
 $\Delta p_{\text{ТПОР}}$ – давление, создаваемое поршнем.

Избыточное давление $\Delta p_{\text{ТПОР}}$, создаваемое поршнем при выталкивании продукта из мерного цилиндра, определяется толкающим усилием поршня $P_{\text{ПОР}}$ и его площадью $F_{\text{ПОР}}$:

$$\Delta p_{\text{ТПОР}} = \frac{P_{\text{ПОР}}}{F_{\text{ПОР}}}$$

Падение давления по длине в выходном канале может достигать значительной величины описывается уравнением Пуазейля:

$$\Delta p_{\text{IВЫХ}} = 32\nu_{\text{ПР}}\rho_{\text{ПР}} \frac{l_{\text{ВЫХ}} v_{\text{ВЫХ}}}{d_{\text{ВЫХ}}^2}, \quad (4)$$

где $v_{\text{ВЫХ}}$ – скорость течения продукта в выпускном канале золотника,
 $d_{\text{ВЫХ}}$ – диаметр отверстия в выпускном канале,
 $\nu_{\text{ПР}}$ и $\rho_{\text{ПР}}$ – соответственно вязкость и плотность продукта,
 $l_{\text{ВЫХ}}$ – длина выпускного канала.

Падение давления при переходе из мерной емкости в выходной канал можно найти по формуле, описывающей снижение давления при внезапном сужении:

$$\Delta p_{M \text{ Вых}} = \zeta_{M \text{ Вых}} \rho_{\text{ПР}} \frac{v_{\text{Вых}}^2}{2},$$

Где $\zeta_{M \text{ Вых}}$ – коэффициент местного сопротивления.

Давление на выходе из щели, определяется избыточным давлением, создаваемым столбом продукта в бункере P_P и падением давления при движении жидкой среды по трубопроводу от бункера к дозатору $\Delta p_{I \text{ Вых}}$:

$$p_{\text{ВыхЩ}} = P_P - \Delta p_{I \text{ Вых}}.$$

Падение давления в входном трубопроводе может быть найдено по формуле Пуазейля:

$$\Delta p_{I \text{ Вых}} = 32 \nu_{\text{ПР}} \rho_{\text{ПР}} \frac{l_{\text{ВХ}} v_{\text{ВХ}}}{d_{\text{ВХ}}^2},$$

где $\nu_{\text{ПР}}$ – кинематическая вязкость продукта,

$v_{\text{ПР}}$ – скорость течения продукта.

Отсюда можно выразить скорость течения в канале подачи:

$$v_{\text{ВХ}} = (p_P - p_{\text{ВыхЩ}}) \frac{d_{\text{ВХ}}^2}{32 \nu_{\text{ПР}} l_{\text{ВХ}} \rho_{\text{ПР}}}$$

После этого можно найти расход продукта в канале полагая, что площадь поперечного сечения канала $F_{\text{ВХ}}$:

$$Q_{\text{ВХЗ}} = F_{\text{ВХ}} v_{\text{ВХ}} = (p_{\text{ВыхЩ}} - p_P) \frac{d_{\text{ВХ}}^2}{32 \nu_{\text{ПР}} l_{\text{ВХ}} \rho_{\text{ПР}}} F_{\text{ВХ}} \quad (5)$$

Отсюда, перепад давлений на участке золотника:

$$p_{\text{ВыхЩ}} - p_P = Q_{\text{ВХЗ}} \frac{32 \nu_{\text{ПР}} l_{\text{ВХ}} \rho_{\text{ПР}}}{d_{\text{ВХ}}^2 F_{\text{ВХ}}} \quad (6)$$

В силу неразрывности потока расход продукта в канале золотника равен расходу в щели $Q_{\text{ВХЗ}} = Q_{\text{ВХЩ}}$. Таким образом, подставляя выражение расхода в щели (3.10) в уравнение (3.14) и сделав несложные упрощения, получим:

$$p_{\text{ВыхЩ}} - p_P = \frac{8 \nu_{\text{ПР}} l_{\text{ВХ}} \rho_{\text{ПР}}}{d_{\text{ВХ}} F_{\text{ВХ}}} \frac{h_{\text{ВХЩ}}^3}{3 \mu B_{\text{ВХЩ}}} (p_{\text{ВХЩ}} - p_{\text{ВыхЩ}})$$

Отсюда давление на выходе из щели:

$$p_{\text{ВыхЩ}} = \frac{p_P + \frac{8 \nu_{\text{ПР}} l_{\text{ВХ}} \rho_{\text{ПР}}}{d_{\text{ВХ}} F_{\text{ВХ}}} \frac{h_{\text{ВХЩ}}^3}{3 \mu B_{\text{ВХЩ}}} p_{\text{ВХЩ}}}{\frac{8 \nu_{\text{ПР}} l_{\text{ВХ}} \rho_{\text{ПР}}}{d_{\text{ВХ}} F_{\text{ВХ}}} \frac{h_{\text{ВХЩ}}^3}{3 \mu B_{\text{ВХЩ}}} - 1} \quad (7)$$

Зная давление на выходе из щели можно найти расход через впускной канал дозатора в процессе выталкивания продукта. Зная время опорожнения мерного цилиндра $t_{\text{выт}}$ и расход продукта через впускной канал $Q_{\text{пот}} = Q_{\text{вх щ}} = Q_{\text{вх з}}$, можно найти величину полного расхода за это время.

Понятно, что весь продукт, выдавленный в процессе выталкивания из полости мерного цилиндра во впускной канал, а не в тару, составит недолив в величине порции. Таким образом, чем меньше будет этот недолив, или, что тоже самое, чем меньше будет расход через впускной канал, тем точнее будет отмерена порция. При щелевом зазоре более 125 мкм величина погрешности может составлять 2 и более процентов.

Подобная погрешность отмеривания порции относится к разряду систематических и может быть устранена путем внесения поправки к размеру порции в сторону ее увеличения, либо изменением конструктивных параметров дозатора, влияющих на величину расхода во впускном канале (поперечное сечение щели, сечение канала в золотнике, а также обеспечение нормированного давления в канале дозатора).

Конструктивно избежать таких негативных последствий превышения необходимого давления в канале дозатора позволяет предлагаемая конструкция.

Предлагаемое техническое решение относится к пищевой промышленности и может быть использовано при дозировании неньютоновских пищевых сред таких, например, как тесто, различные виды фаршей, а также пюре из фруктов и овощей.

Известны устройства для дозирования таких сред содержащие нагнетательные камеры, делительные головки, приспособления для стабилизации давления и приводы.

Такие устройства обеспечивают повышенную точность дозирования за счет поддержания постоянства давления в нагнетательной камере, однако сложны в кинематическом отношении и имеют достаточно высокую энергоемкость.

Наиболее близким по технической сущности и получаемому положительному эффекту является дозатор для пищевых сред, содержащий приемный бункер, нагнетательную камеру, делительную головку и приспособление для поддержания постоянного давления в нагнетательной камере, встроенное непосредственно перед делительной головкой.

Такое устройство по сравнению с известными дозаторами позволяет повысить точность отмеривания дозы, поскольку приспособление для поддержания постоянного давления встроено в нагнетательную камеру непосредственно перед делительной головкой и выполнено в виде сообщающегося с камерой цилиндра с подпружиненным поршнем.

Вместе с тем, пищевая среда, заполнив полость цилиндра при повышении давления, с очень большими сложностями попадает назад в полость нагнетательной камеры при наборе очередной дозы из-за наличия застойных зон при сопряжении цилиндра с камерой. Кроме того, преодолевая эти застойные зоны, пищевые среды испытывают воздействие повышенных касательных напряжений, что неблагоприятно сказывается на их структурно-механических характеристиках, приводя к выдавливанию жидкой фракции или нарушению связи между отдельными слоями.

Для преодоления указанных недостатков в дозаторе для пищевых сред, содержащем приемный бункер, нагнетательную камеру, делительную головку и приспособление для поддержания постоянного давления в нагнетательной камере, встроенное непосредственно перед делительной головкой, приспособление для поддержания постоянного давления выполнено в виде сообщающегося с нагнетательной камерой плоского щелевого кармана, ограниченного дугой окружности и плоской поверхностью, причем внутри этого кармана, со стороны делительной головки, на корпусе нагнетательной камеры установлена пластинчатая пружина с возможностью перемещения в кармане.

Технический эффект в предлагаемом дозаторе для пищевых сред обеспечивается за счет выполнения приспособления для поддержания постоянного давления в виде плоского щелевого кармана, внутри которого под действием избыточного давления перемещается пластинчатая пружина. Пищевая среда изгибает ее, заставляя перемещаться свободный конец по дуге окружности до упора в ограничивающую плоскую поверхность. Эта плоская поверхность устанавливается из расчета воздействия возможного избыточного давления. При возвращении пищевой среды в нагнетательную камеру обеспечивается щадящее воздействие на нее действием этой же пружины, закрепленной со стороны делительной головки, что исключает появление «застойных» зон.

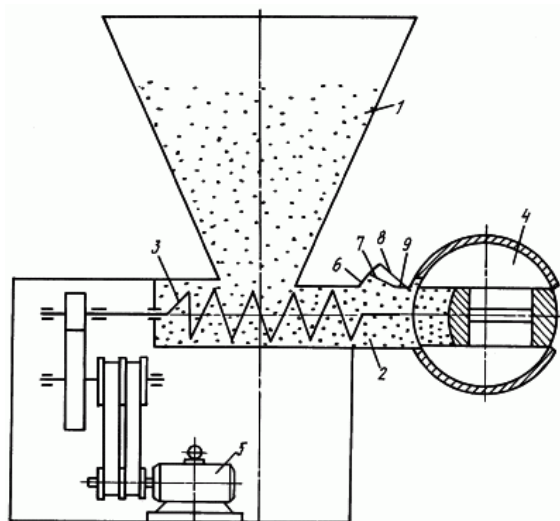


Рис. Принципиальная схема предлагаемого тестоделителя

На рисунке дана общая схема предложенного дозатора для пищевых сред.

Дозатор для пищевых сред имеет приемный бункер 1, нагнетательную камеру 2 с размещенным в ней шнеком 3, приспособление для поддержания постоянного давления в нагнетательной камере, встроенное непосредственно перед делительной головкой 4, и привод 5.

Приспособление для поддержания постоянного давления в нагнетательной камере выполнено в виде сообщающегося с нагнетательной камерой плоского щелевого кармана, ограниченного дугой окружности 6 и плоской поверхностью 8, причем внутри этого кармана, со стороны делительной головки, на корпусе нагнетательной камеры установлена с помощью винта (или заклепки) 9 пластинчатая пружина 7 с возможностью перемещения в плоском щелевом канале.

Работает дозатор для пищевых сред следующим образом.

Шнековый нагнетатель непрерывно подает пищевую среду к делительной головке 4, которая периодически замыкает нагнетательную камеру 2. Возникающее при этом повышенное давление пищевой среды снижается благодаря тому, что пластинчатая пружина 7, деформируясь, перемещается по траектории ограниченной дугой окружности 6 вплоть до плоской поверхности 8, будучи закрепленной винтом 9.

При снижении давления в нагнетательной камере 2 пластинчатая пружина 7 выталкивает пищевой продукт в нагнетательную камеру 2, чем поддерживает в ней постоянное давление. При полностью загруженном бункере 1 колебания пластинчатой пружины 7 будут максимальными. По мере расхода пищевой среды колебания пружины 7 будут уменьшаться.

Отсутствие «застойных» зон и щадящее воздействие на пищевую среду позволяют обеспечить необходимую точность дозирования, исключая нежелательные изменения структурно-механических свойств дозируемого материала.

Список литературы

1. Пальчиков А.Н., Алексеев Г.В. Технологические машины и оборудование / учебник. СПб., ГИОРД, 2015, 608 с.
2. Зуев Н.А., Савельева О.В., Пальчиков А.Н., Андросук В.О. Зависимость качества измельчения от площадей полезных сечений механизма экструдирования и резания волчка // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 2. С. 26-28
3. Верболоз Е.И., Пальчиков А.Н., Антуфьев В.Т. Исследование разбухания макаронных прядей в процессе прессования в поле ультразвука // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 2. С. 15-17
4. Алексеев Г.В., Дмитриченко М.И., Гончаров М.В. Ресурсосберегающие направления развития абразивной обработки пищевых материалов // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2013. № 4 (26). С. 57-61.

5. Алексеев Г.В., Грекова И.В. Возможный подход к решению тепловой задачи и повышение эффективности использования абразивного оборудования // *Машиностроитель*. 2000. № 8. С. 32.
6. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Головацкий В.А. Аналитическое исследование процесса импульсного (дискретного) теплового воздействия на перерабатываемое пищевое сырье // *Новые технологии*. 2012. № 2. С. 11-15.
7. Алексеев Г.В., Мосина Н.А. Абразивная обработка картофеля и овощей с дискретным энергоподводом. Монография / Саратов, 2013.
8. Алексеев Г.В., Лагунов В.С. Изготовление абразивных покрытий на неметаллических подложках для обработки продуктов питания // *Техника машиностроения*. 2002. № 4. С. 28.
9. Алексеев Г.В., Грекова И.В. Абразивные покрытия рабочих органов пищевой промышленности. // *Изобретатели - машиностроению*. 1997. № 1. С. 23.
10. Алексеев Г.В. Основы теории решения изобретательских задач. учеб. пособие. Санкт-Петербург, 2004.
11. Алексеев Г.В., Кондратов А.В. Перспективы применения кавитационного воздействия для измельчения пищевых продуктов. Монография / Саратов, 2013.
12. Алексеев Г.В., Иванова А.С. Моделирование процесса натекания неньютоновской жидкости на жесткую преграду // *Вестник Международной академии холода*. 2012. № 1. С. 34.
13. Алексеев Г.В., Кондратов А.В. О модели развития кавитационной полости при измельчении пищевого сырья // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2008. № 2. С. 38.
14. Алексеев Г.В., Гришианова Е.А., Кондратов А.В., Гончаров М.В. Возможности реализации эффектов кавитации для измельчения пищевого сырья // *Вестник Международной академии холода*. 2012. № 3. С. 45-47.

References

1. Pal'chikov A.N., Alekseev G.V. *Tekhnologicheskie mashiny i oborudovanie / uchebnyk*. SPb., GIORD, 2015, 608 s.
2. Zuev N.A., Savel'eva O.V., Pal'chikov A.N., Androshchuk V.O. Zavisimost' kachestva izmel'cheniya ot ploshchadei poleznykh sechenii mekhanizma ekstrudirovaniya i rezaniya volchka. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2014. № 2. S. 26-28
3. Verboloz E.I., Pal'chikov A.N., Antuf'ev V.T. Issledovanie razbukhaniya makaronnykh pryadei v protsesse pressovaniya v pole ul'trazvuka. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2014. № 2. S. 15-17
4. Alekseev G.V., Dmitrichenko M.I., Goncharov M.V. Resursosberegayushchie napravleniya razvitiya abrazivnoi obrabotki pishchevykh materialov. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*. 2013. № 4 (26). S. 57-61.
5. Alekseev G.V., Grekova I.V. Vozmozhnyi podkhod k resheniyu teplovoi zadachi i povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya abrazivnogo oborudovaniya. *Mashinostroitel'*. 2000. № 8. S. 32.
6. Alekseev G.V., Voronenko B.A., Golovatskii V.A. Analiticheskoe issledovanie protsessa impul'snogo (diskretnogo) teplovogo vozdeistviya na pererabatyvaemoe pishchevoe syr'e. *Novye tekhnologii*. 2012. № 2. S. 11-15.
7. Alekseev G.V., Mosina N.A. Abrazivnaya obrabotka kartofelya i ovoshchei s diskretnym energopodvodom. *Monografiya / Saratov*, 2013.
8. Alekseev G.V., Lagunov V.S. Izgotovlenie abrazivnykh pokrytii na nemetallicheskih podlozhkakh dlya obrabotki produktov pitaniya. *Tekhnika mashinostroeniya*. 2002. № 4. S. 28.
9. Alekseev G.V., Grekova I.V. Abrazivnye pokrytiya rabochikh organov pishchevoi promyshlennosti. *Izobretateli - mashinostroeniya*. 1997. № 1. S. 23.
10. Alekseev G.V. *Osnovy teorii resheniya izobretatel'skikh zadach ucheb. posobie*. Sankt-Peterburg, 2004.
11. Alekseev G.V., Kondratov A.V. *Perspektivy primeneniya kavitatsionnogo vozdeistviya dlya izmel'cheniya pishchevykh produktov*. *Monografiya / Saratov*, 2013.
12. Alekseev G.V., Ivanova A.S. *Modelirovanie protsessa natekaniya nen'yutonovskoi zhidkosti na zhestkuyu pregradu*. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. № 1. S. 34.
13. Alekseev G.V., Kondratov A.V. *O modeli razvitiya kavitatsionnoi polosti pri izmel'chenii pishchevogo syr'ya*. *Xranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2008. № 2. S. 38.
14. Alekseev G.V., Grishanova E.A., Kondratov A.V., Goncharov M.V. *Vozmozhnosti realizatsii effektivov kavitatsii dlya izmel'cheniya pishchevogo syr'ya*. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. № 3. S. 45-47.