

УДК 621.86.067.2

## Пути повышения точности работы дозаторов для сыпучих пищевых продуктов

Канд. техн. наук **В.А. Демченко**, dem8484@gmail.comаспирант **Ю.Р. Казаков**, kazakyu75@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Предложены теоретические и экспериментальные исследования повышения точности работы дозаторов для сыпучих пищевых продуктов путем применения питателя-бункера с ультразвуковой стабилизацией потока. Подача потока крупы из ультразвукового питателя-бункера через выпускное отверстие представлено в виде стабильного движения псевдооживленных вибрацией частиц с сопротивлением пропорциональным амплитуде ультразвука. Обращено внимание на малую зависимость точности дозирования от плавающей высоты продукта в питателе, но достаточно заметно от неравномерности подачи сыпучего продукта в механизм дозирования, вздрагивания механизма дозирования и фундаментов, вариативности продукта (удельный вес, размер, неоднородность, насыпная плотность, гигроскопичность, текучесть, способность к гранулированию). В целях исследования путей снижения шума на рабочем месте и повышения сыпучести продуктов на кафедре технологии машин и оборудования Института холода и биотехнологий собрана лабораторная установка ультразвукового питателя, на которой отрабатывается методика снятия показателей эффективности процесса. Выявлено, что особенностью работы ультразвукового питателя является некоторая электризация крупы, практически не влияющая на сыпучесть зернистого материала, но почти на 100% исключая пыление в процессе упаковки. Таким образом, применение данной технологии позволит не только обеспечить устойчивую подачу сыпучих материалов с минимальными удельными энергозатратами, но и создать приемлемые условия для работы операторов и собственно системы сварки пакетов с дозируемым продуктом. Подача высокочастотных колебаний амплитудой 10 мкм позволила повысить производительность питателя на предельно влажной гороховой крупе на 60%.*

**Ключевые слова:** сыпучий материал; истечение из питателя; ультразвуковое побуждение; стабилизация потока; точность дозы; повышение производительности.

---

## Ways to improve the accuracy of dispensers for bulk foods

Ph.D. **V.A. Demchenko**, dem8484@gmail.com**Y.R. Kazakov**, kazakyu75@yandex.ru

ITMO University

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

*Theoretical and experimental research are improving the accuracy of dispensers for loose food products through the application of feeder-hopper with ultrasonic flow stabilization. Feed stream of groats ultrasonic-feeder hopper through the outlet provided in the form of stable motion of particles fluidized vibration amplitude proportional to the impedance of ultrasound. Drawing attention to a small dependence of the dosing accuracy of floating height of the product in the feeder, but quite noticeably from non-uniformity of loose product in a dosage, dosing mechanism and startle the foundations, the variability of the product (weight, size, heterogeneity, bulk bulk density, water absorption, fluidity, ability to granulation process). In order to study ways to reduce noise in the workplace and anti products at department of technology of cars and the equipment of Institute of cold and biotechnologies gathered ultrasonic laboratory plant feeder, which is working on a method of removal of process indicators. The peculiarity of the ultrasonic power supply is some electrization cereals, hardly affects the flowability of granular material, but nearly 100% exclusive dusting in the packaging process. Thus, use of this technology will not only ensure a steady flow of granular materials with minimal energy consumption, but also to create a suitable working environment for operators and system proper welding package fertilisers product. Supply of high-frequency oscillation amplitude 10µm has improved the performance of the feeder on the peas with the maximum permissible humidity at 60%.*

**Keywords:** bulk material; end of the bunker; ultrasonic impulse; stabilization of the stream; the increase in performance.

---

Большая часть пищевых сыпучих продуктов плохо выгружаются, из-за статических электрических сил, межатомного сцепления и т.д. Многие материалы легко впитывают влагу, что обуславливает дополнительные адгезионные силы, существенно влияющие на стабилизацию потока. При этом наблюдаются кластерообразование частиц, сводо- и воронкообразование в бункерах и питателях [1, 2]. Это отрицательно влияет на производительность и нарушает равномерность истечения. При этом качественные дозаторы непредсказуемо изменяют точность доз, и даже с выходом за пределы, указанные в технической характеристике машины.

Дозаторы – это достаточно сложные физико-механические системы, контролируемые сложными электронными и микропроцессорными блоками управления.

Известно, что сейчас существует возможность автоматического дозирования практически любого продукта с высокой точностью. Дозатор служит для получения порций (доз) продукта необходимой величины. Питатель также может выполнять функции дозатора, и он проще его.

Питатель создает упорядоченный поток сыпучего продукта по определенному закону. Это может быть стабилизированный и пульсирующий потоки продукта или дискретные дозы продукта. Однако дозаторы имеют дополнительные опции и устройства, еще более сглаживающие пульсации питателя.



Рис. 1. Структура упаковочной машины

Дозаторы, разработанные для упаковки сыпучих пищевых продуктов, имеют несколько основных механизмов:

1. бункер с продуктом, подлежащим дозированию;
2. питатель для создания равномерного потока продукта к механизму дозирования;
3. механизм дозирования;
4. устройство вывода для подачи дозированного продукта в тару.

Чаще питатель объединяют с бункером и дозирующим механизмом. Но, несомненно, питатель в составе дозатора повышает точность работы. Вообще, в процессе дозирования основной целью является точность дозы. Для каждого продукта точность дозирования – величина, установленная действующим стандартом. Причем с повышением точности дозатора производительность может снижаться.

Точность дозирования зависит от многих факторов:

- плавающей высоты продукта в питателе;
- неравномерности подачи сыпучего продукта в механизм дозирования;

- вздрагивания механизма дозирования и фундаментов;
- вариативности продукта (удельный вес, размер, неоднородность, насыпная плотность, гигроскопичность, текучесть, способность к комкообразованию);
- непериодически изменяющиеся свойства сыпучести продукта, его электризация и слипание в слишком сухом воздухе.

Погрешность дозирования определяют по взвешиванию контрольных проб (более 20) при установившемся режиме работы дозатора [3]. При этом вычисляется среднее квадратическое отклонение величины дозы от заданного значения. Практически все дозаторы укладываются в диапазон 1–3%, а дозаторы ценных добавок при использовании качественных питателей 0,1–0,5%.

При высокой точности работы современных дозаторов в нормальных условиях и со стандартным сырьем, в производственных условиях, особенно на малых предприятиях, они работают недостаточно устойчиво, и в первую очередь именно питатели и бункеры не дают равномерного потока продукта. Поэтому, основные погрешности дозирования определяются в значительной степени особенностями конструкции питателей и бункеров, обеспечивающими стабильность потока сыпучих пищевых продуктов. Пока для уменьшения нестабильности их работы используют не всегда эффективные низкочастотные вибрационные и другие механические устройства, усложняющие конструкцию, стоимость и шумность дозаторов (до 80 Дб). В тоже время, питатели и бункеры используются практически во всех дозаторах. Поэтому в диссертационной работе уделено особое внимание исследованию путей повышения эффективности питателей самых различных типов дозаторов, используемых для дозирования сыпучих пищевых продуктов. Обзор литературных источников показал, что имеются отдельные данные исследований и патенты, в которых указывается, что для повышения равномерности сыпучести зернистых материалов используется механическая энергия затухания ультразвука в частицах материала [2, 3, 10, 11].

На кафедре Технологических машин и оборудования Университета ИТМО проводятся исследования по повышению точности и производительности дозатора сыпучих продуктов, например, круп с применением в качестве стабилизатора потока частиц механическую энергию ультразвука.

Авторы считают, что основные погрешности дозирования определяются в значительной степени особенностями конструкции питателей и бункеров, обеспечивающими стабильность потока сыпучих пищевых продуктов. Многие материалы склонны образовывать своды, т. е. зависать над выпускным отверстием при истечении из бункера, воронок и т. п., как это показано на рис. 2.

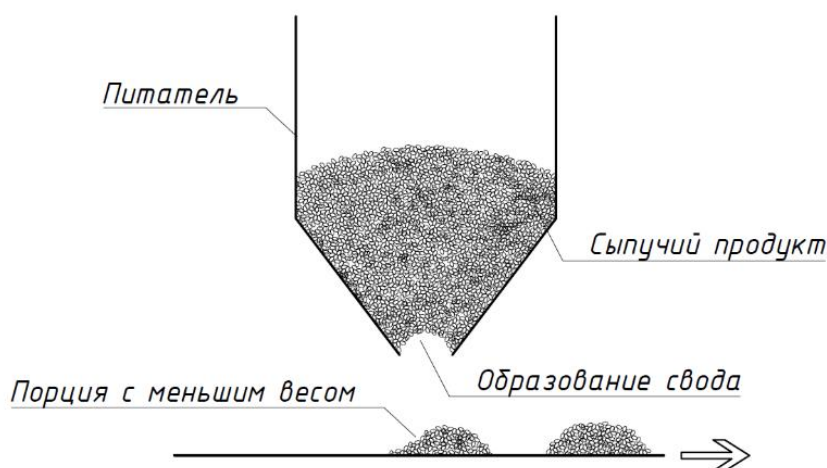


Рис. 2. Образование свода в бункере

Образование свода изменяет дальнейшее истечение сыпучего материала и даже прекращает его поступление через выпускное отверстие до разрушения свода [5, 6]. Установка пневматических и механических побудителей усложняет конструкцию питателей. В целях исследования путей снижения шума на рабочем месте и повышения сыпучести продуктов на кафедре ТМиО ИХБТ Университета ИТМО собрана

лабораторная установка ультразвукового питателя (рис. 3), на которой отрабатывается методика снятия показателей эффективности процесса.

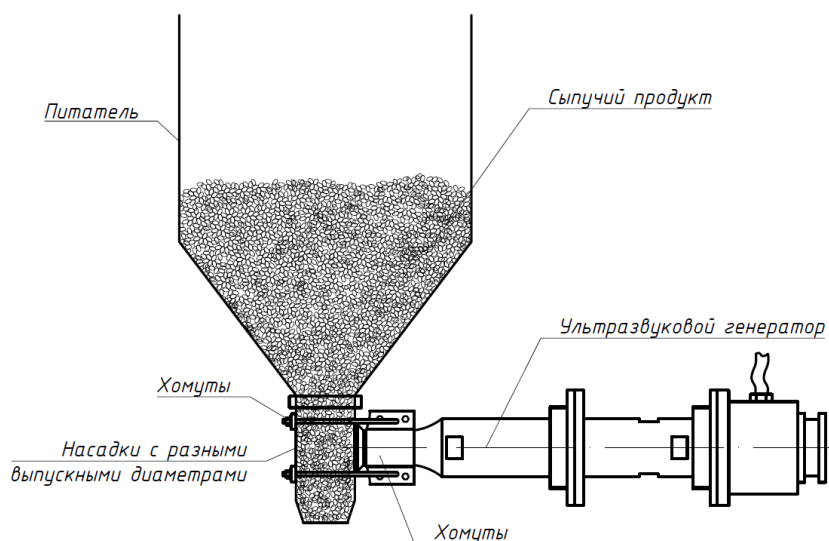


Рис. 3. Лабораторная установка ультразвукового питателя

Задачами исследования являются:

- разработка математической модели процесса подачи сыпучего пищевого продукта, подвергнутого ультразвуковому воздействию, из выпускного клапана питателя дозатора;
- теоретическое исследование процесса ультравибрационного перемещения слоя сыпучего продукта при высокой частоте вибрации и обоснование режимов работы ультразвукового питателя;
- получение расчетных зависимостей производительности ультразвукового питателя от параметров генератора и некоторых физико-механических свойств продукта на основе теории размерностей;
- экспериментальное подтверждение основных теоретических положений;
- разработка методики расчета ультразвукового питателя дозатора, позволяющего совершенствовать технологический процесс дозирования сыпучих пищевых продуктов.

Сыпучие продукты, при воздействии ультразвука, представляют своего рода псевдожидкость, так как частицы от механических воздействий звуковых волн подвижны относительно друг друга (колеблются около 20 000 раз/секунду).

При этом нами определено, что истечение псевдооживленной ультразвуком крупы (перловой, горох шлифованный) за счет существенного снижения межчастичного трения становится более равномерным и ускоренным (в 1,09–1,33 раза), дозатор можно будет перенастроить на большую производительность [2]. Так, например, при этом шлюзовой дозатор будет полнее и равномернее по объему заполняться крупой, что исключит поступление на упаковку неполных порций и брак, что нередко бывает на производстве. Предприятие для исключения недовеса вынуждено настраивать дозаторы на некоторый избыток порции, что убыточно, но исключает претензии потребителей.

Применение ультразвукового излучателя позволит снизить энергетические затраты из-за уменьшения массы колеблющихся элементов питателя, которые практически всю энергию отдают поглощающему зернистому продукту. Это существенно снижает шум работы такого вибрационного устройства. Особенностью ультразвукового питателя является некоторая электризация крупы, практически не влияющая на сыпучесть зернистого материала, но почти на 100% исключая пыление в процессе упаковки. Для мелкой пыли электростатических сил, возникающих при виброоживлении от соударений больших частиц, вполне достаточно для ее прилипания к ним на некоторое время. Известно, что мелкая пыль сильно вредит качественной сварке синтетических пакетов и этот брак планируется, как неустраняемый. Таким образом, применение данной технологии позволит не только обеспечить устойчивую подачу сыпучих материалов с минимальными удельными энергетическими затратами, но и создать приемлемые условия для работы операторов и собственно системы сварки пакетов с дозируемым продуктом. Использование более точного типа дозатора с меньшей дисперсией существенно

снизит годовой перерасход продукта. Совершенно очевидно, что при дозировании продукта высокого качества дорогостоящее и точное дозирующее устройство быстро себя окупит. Как показали эксперименты, ожидаемый экономический эффект от снижения затрат на электроэнергию и повышения качества продукции составил около 12–15% при стоимости модернизации любого дозатора 5–8%. Без снижения точности дозирования могут быть смягчены требования к равновесной влажности круп. Известно, что продукт даже одной партии может иметь колебания влажности до 1–2% за счет конденсации атмосферной влаги и влаги от жизнедеятельности обрубленного зерна. Обычно питатели в этом случае снижают производительность и равномерность подачи продукта на дозирование. На рис. 4 показано, что незначительно увлажненный горох (до 17,5%) снизил паспортную производительность питателя по сухому гороху (15%) с 0,198 до 0,151 кг/с (амплитуда ультразвукового генератора  $A = 0$ ). Подача высокочастотных колебаний даже амплитудой 10 мкм позволила повысить производительность питателя на увлажненном горохе на 60%. И только при амплитуде 40 мкм наблюдается незначительное снижение подачи продукта.

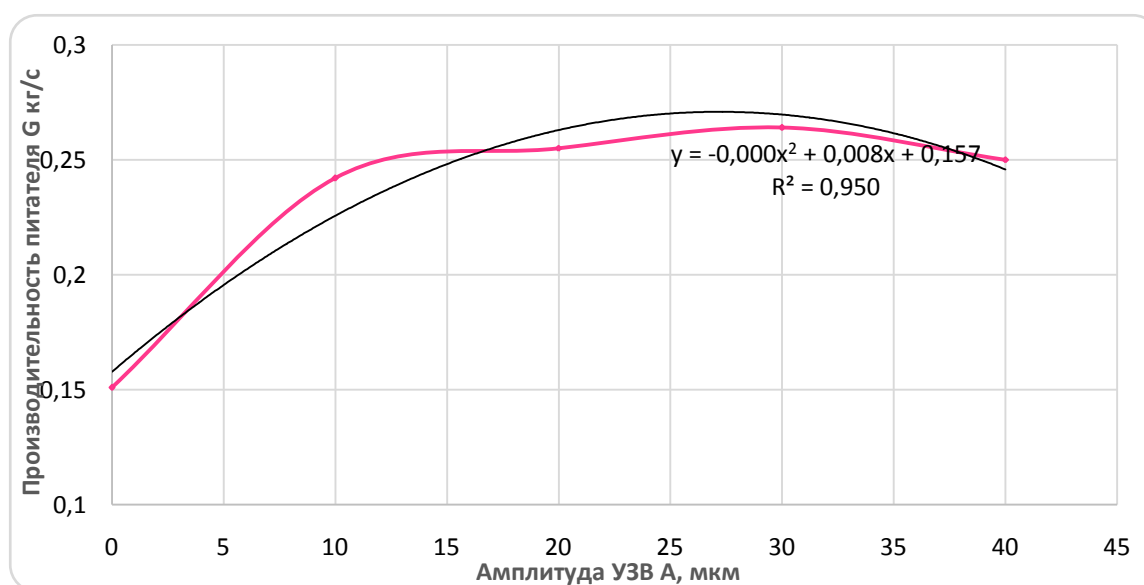


Рис. 4. Зависимость производительности питателя от амплитуды ультразвука (гороховая крупа с влажностью 17,5%)

Таким образом, можно регулировать и поддерживать скорость подачи зернистых материалов на дозирование изменением режимов ультразвукового излучателя.

### Литература

1. Арет В.А., Николаев Б.Л., Николаев Л.К. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции: учебное пособие. СПб.: ГИОРД, 2009. 448 с.
2. Казаков Ю.Р., Антуфьев В.Т. Возможные пути совершенствования питателей для высокоточного дозирования сыпучих зерновых продуктов // Вестник Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2014. № 4. С. 19–20.
3. Воронкин П.А., Тарасов В.П. Влияние ультразвукового воздействия на скорость трогания сыпучих материалов // Хранение и переработка зерна. 2009. № 7. С. 39–40.
4. Воронкин П.А., Тарасов В.П. Методика исследований ультразвукового воздействия на процесс пневмотранспортирования // Материалы XII международной научно-практической конференции «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств» (Барнаул, 17 ноября 2009 г.). Барнаул, 2009. С. 76–81.
5. Варсанюфьев В.Д., Кальман-Иванов Э.Э. Вибрационная техника в химической промышленности. М.: Химия, 1985. 240 с.
6. Косой В.Д., Виноградов Я.И., Мальшиев А.Д. Инженерная реология биотехнологических сред. СПб.: ГИОРД, 2005. 648 с.
7. Першин В.Ф., Капитонов Е.Н., Деревякин Н.А. К расчету точности дозирования // Каучук и резина. 2003. № 10. С. 44–45.

8. *Рогинский Г. А.* Дозирование сыпучих материалов. М.: Химия. 2008. 176 с.
9. *М. П. Макевнин* и др. Свойства сыпучих материалов и термины // *Механика сыпучих материалов: тез. докл.* Одесса, 2007. С. 6–7.
10. *Сорокин С.А., Гнездилов А.А., Пехтерев К.А.* Изменение эффективной вязкости дисперсных сыпучих материалов под воздействием вибрации дозатора // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* Барнаул, 2006. № 4. С. 24–29.
11. *Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Хмелев С.С., Лебедев А.Н.* Ультразвуковой аппарат для интенсификации процесса прессования волокнистых материалов // *Материалы X Международной конференции-семинара по микро/нанотехнологиям и электронным приборам EDM'2009* (Новосибирск, 1–6 июля 2009 г.). Новосибирск: НГТУ, 2009. С. 285–288.
12. *Хмелев В.Н., Попова О.В.* Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. 160 с.

### *References*

1. Aret V.A., Nikolaev B.L., Nikolaev L.K. Physical and mechanical properties of raw materials and finished products. Tutorial. St. Petersburg, GIORД, 2009, 448 p.
2. Cossacks Yu.R., Antufiev V.T. Possible ways to improve dispensing for high-precision feeders for bulk grain products. *Bulletin of the St.Petersburg State Agrarian University.* 2014, no. 4, pp. 19-20.
3. Voronkin, P.A., Tarasov V.P. Effect of ultrasonic treatment on the breakaway speed of bulk materials. *Grain storage and processing.* 2009, no. 7, pp. 39–40.
4. Voronkin F.P. Technique research of ultrasound exposure on pnevмотransportированиâ. Proceedings of the Twelfth International Conference “Contemporary problems of technique and technology of food production” (Barnaul, November 17, 2009). Barnaul, 2009. pp. 76-81.
5. Varsanof'ev V.D., Kalman-Ivanov E.E. *Vibration technique in chemical industry.* Moscow, Chemistry Publ., 1985. 240 p.
6. Kosoj V.D., Vinogradov Ja.I., Malyshev A.D. *Engineering rheology biotech environments.* St. Petersburg, GIORД Publ., 2005, 648 p.
7. Pershin V.F., Kapitonov E.N., Derevjakin N.A. On the calculation accuracy of dosing. *Rubber and rubber.* 2003, no. 10. pp. 44–45.
8. Sorokin S.A. of dispersed loose materials under the influence of vibration feeder. *Bulletin of the Altay State Agrarian University.* 2006, no. 4, pp. 24-29.
9. Roginsky G.A. Dosing of bulk materials. Moscow, Chemistry Publ., 2008, 176 p.
10. Makevnin M.P. Properties of bulk materials and terms. *Mechanics of granular materials: Abstracts of papers.* Odessa, 2007, pp. 6–7.
11. Hmelev V.N., Cyganok S.N., Hmelev S.S., Lebedev A.N. Ultrasonic intensification of the process of pressing the fibrous materials. Tenth international conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices. Novosibirsk, NGTU, 2009, pp. 285–288.
12. Hmel'jov V.N., Popova O.V. *Multifunctional ultrasonic devices and their application in small industries, agriculture and at home.* Barnaul, AltGTU Publ., 1997, 160 p.