

Разработка модели дозатора для сыпучих продуктов

О. Р. Кирищев, Д.Н. Савенков, А.В. Малеев, К.В. Федосеева

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Наиболее простым, надёжным и обладающим достаточной точностью способом дозирования сыпучих продуктов является порционное дозирование по объёму с использованием мерных ёмкостей. В статье рассмотрена математическая модель объёмного дозатора. Комбинирование нескольких методов регулирования подачи сыпучих материалов при порционном дозировании обеспечивается построением точной модели барабанного дозатора.

Ключевые слова: Математическая модель барабанного дозатора, процесс дозирования, трение, динамический коэффициент трения, статический коэффициент трения, сыпучий материал.

Введение

Дозирование, как процесс отмеривания заданного количества материала с требуемой точностью, широко применяется в различных отраслях производства, включая производство продуктов питания и кормов, где используется большое количество разнообразных сыпучих материалов. Степень точности дозирования определяется технологическими требованиями, а также обосновываются экономическими соображениями [1-3].

Особым технологическим этапом производств, где применяются сыпучие материалы, является многокомпонентное дозирование - одновременная подача разных материалов на совместную обработку, например, в комбикормовом производстве. В этом случае обычно применяется соответствующее числу материалов количество дозаторов, каждый из которых является самостоятельной машиной со своим приводом. Регулировка компонентного состава комбикорма усложняется, что негативно влияет на производство в целом [4-6].

Цель и задачи исследований

На основе вышеизложенного сформулирована цель исследования - разработать математическую модель дозатора с общим приводом и на ее базе изготовить экспериментальный прототип.

За основу разработки принята схема барабанного дозатора, основным рабочим органом которого является ячеистый барабан, принцип работы которого понятен из рисунка 1. Подаваемый самотёком дозируемый материал заполняет ячейки барабана 2. При вращении барабана порция материала фиксируется в его ячейках за счёт взаимодействия с корпусом 1 и подаётся на выход.

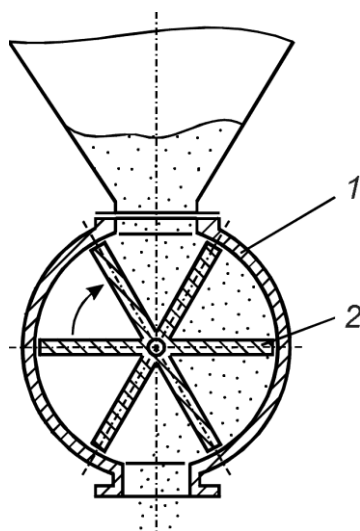


Рис. 1. – Схема барабанного дозатора:

1 - корпус, 2 - ячеистый барабан.

Использование такого барабана позволяет добиться высокой точности дозирования. Обычно регулирование подачи барабанного дозатора устройстве осуществляется путём изменения скорости вращения барабана. Поэтому при применении нескольких дозаторов с единым приводом

возможно только изменения общей подачи без возможности регулирования соотношения подаваемых материалов [7,8].

Основной задачей исследования была проверка гипотезы о возможности регулирования подачи барабанного дозатора за счёт изменения площади сечения отверстия, через которое происходит загрузка ячеек. Для этого разработана лабораторная установка, в конструкции которой заложена такая возможность. Схема установки и общий вид представлены на рисунке 2. Рабочим органом установки является приводной барабан шириной 50, имеющий 4 ячейки, размещённый в цилиндрическом корпусе диаметром 85. На перегородках ячеек закреплены резиновые лопасти, прилегающие к внутренней поверхности корпуса и обеспечивающие точность дозирования.

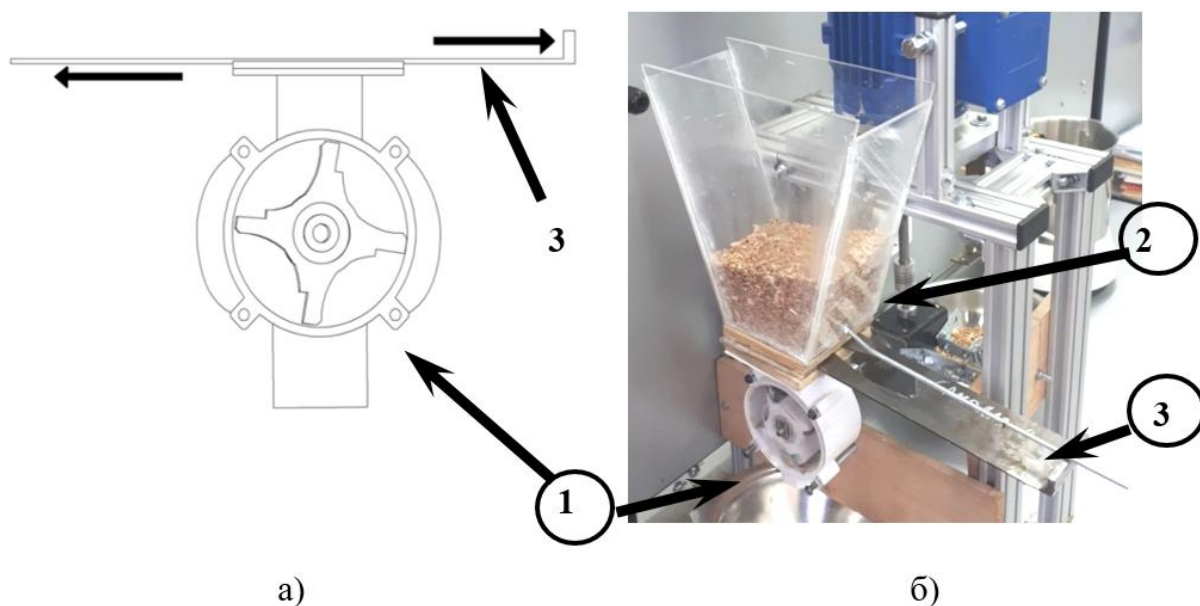


Рис. 2. – Лабораторная установка барабанного дозирования

а) схема (бункер не показан), б) общий вид.

1 –дозатор; 2 – бункер; 3 – задвижка

Для обеспечения непрерывной подачи исходного материала имеется бункер. Между бункером, в его основании, и корпусом дозатора установлена

регулируемая по положению задвижка с окном треугольной формы, рисунок 3. Привод барабана осуществляется от электродвигателя с управляемой частотой вращения через червячный редуктор [9-11].

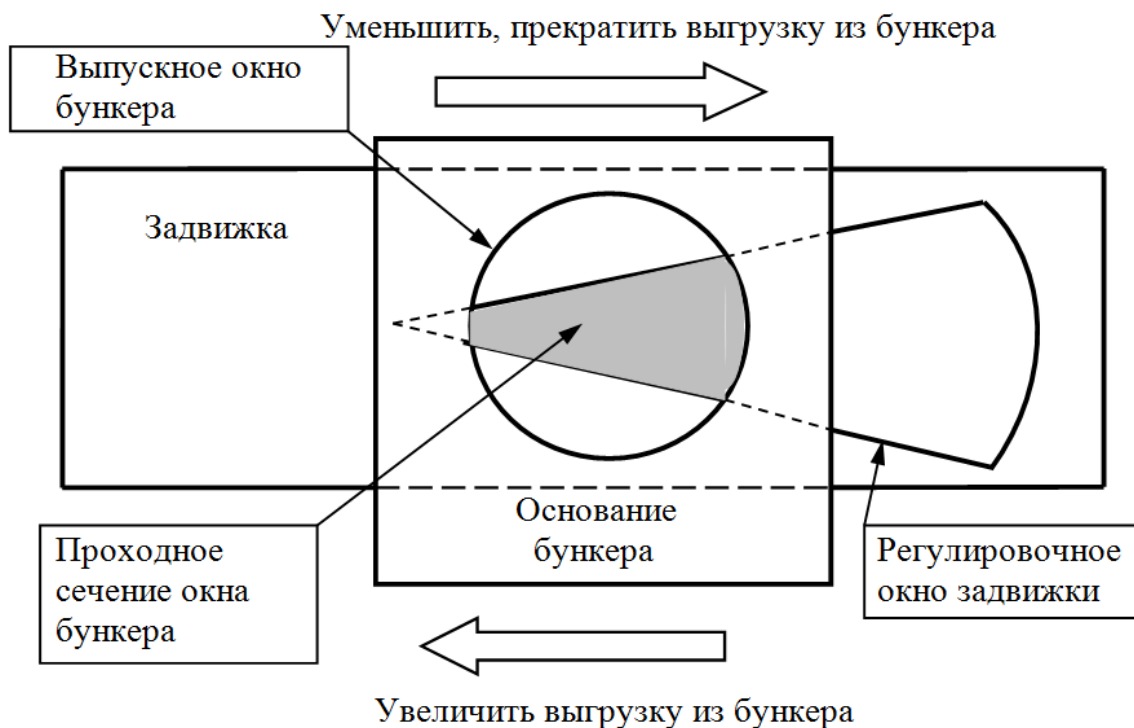


Рис. 3. - Схема регулировки подачи из бункера

Конструкция установки позволяет осуществлять дозированную выгрузку сыпучих материалов из бункера за счёт изменения частоты вращения барабана, а также при изменении размера проходного сечения окна бункера за счёт регулирования положения задвижки. Задвижка оборудована регулируемым упором, обеспечивающим возможность предварительной установки заданной площади сечения выгрузного отверстия бункера [12].

Программа исследований

Для оценки работоспособности установки проведены поисковые эксперименты, в ходе которых в качестве сырья для дозирования применялись типичные зерновые материалы в состоянии равновесной влажности: пшеница, ячмень, сорго.

Эксперименты показали, что в диапазоне частот вращения от 20 до 46 об/мин при величине площади сечения выгрузного отверстия бункера от 4,8 до 8,8 см² (определяется расчётным путём) проявляется влияние указанных параметров на производительность дозатора. На этом основании разработана программа исследований в виде реализации схемы полного двухфакторного эксперимента для каждого сыпучего продукта. Матрица планирования представлена в таблице 1.

Таблица № 1

Матрица полного двухфакторного эксперимента

№ эксперимент а	Фактор №1: частота вращения		Фактор №2: Площадь сечения	
	Номинальное значение, об/мин	Кодированное значение, X ₁	Номинальное значение, см ²	Кодированное значение, X ₂
1	20	-1	4,8	-1
2	46	+1	4,8	-1
3	20	-1	8,8	+1
4	46	+1	8,8	+1

Методика исследований

1. Для каждого эксперимента производится настройка установки:

а) на холостом ходу устанавливается заданная программой исследований частота вращения барабана посредством регулируемого частотного привода. Привод выключается;

б) упор задвижки устанавливается в положение, при котором достигается необходимая по программе исследований площадь сечения выходного отверстия бункера. Задвижка закрывается.

2. В бункер засыпается мерная порция исследуемого материала массой 0,5 кг.

3. Включается привод вращения барабана и после выхода на предварительно заданный стабильный режим вращения открывается задвижка.

4. Замеряется время выгрузки материала из бункера.

5. Результаты замера записываются в журнал наблюдений.

6. Каждый опыт повторяется 3 раза.

Результаты исследований

По результатам исследований для каждого опыта произведены расчёты производительности при различных режимах работы установки, а также вычислены усреднённые значения для каждого эксперимента. Оценка однородности результатов выполнена на основе коэффициента вариации, v . Точность дозирования рассчитана по формуле:

$$\Delta = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{cp}}, \quad (1)$$

где Q_{max} , Q_{min} , Q_{cp} – соответственно максимальная, минимальная и средняя производительность дозатора, г/с.

Результаты проведенных экспериментов по дозированию пшеницы, ячменя и сорго представлены в таблицах 2-4.

Таблица № 2

Результаты опытов по дозированию пшеницы

№ эксперимента	Частота вращения, X_1 , об/мин	Площадь отверстия, X_2 , см ²	Производительность в повторности, г/с			Производительность средняя, Y , г/с	v , %	Δ
			1	2	3			
1	20(-1)	4,8 (-1)	48,54	48,26	43,44	46,75	6	0,11
2	46 (+1)	4,8 (-1)	53,99	53,19	52,52	53,23	1	0,03
3	20 (-1)	8,8 (+1)	47,39	42,62	46,47	45,49	5	0,10
4	46 (+1)	8,8 (+1)	88,49	90,25	96,34	91,69	4	0,09

Таблица № 3

Результаты опытов по дозированию ячменя

№ Опыта	Частота вращения, X_1 , об/мин	Площадь отверстия, X_2 , см ²	Производительность в повторности, г/с			Производительность средняя, Y , г/с	v , %	Δ
			1	2	3			
1	20(-1)	4,8 (-1)	11,09	13,16	13,36	12,54	10	0,18
2	46 (+1)	4,8 (-1)	13,18	16,17	18,66	15,99	17	0,34
3	20 (-1)	8,8 (+1)	42,62	42,66	43,33	42,87	0,9	0,02
4	46 (+1)	8,8 (+1)	97,28	90,58	98,42	95,43	4	0,08

Таблица № 4

Результаты опытов по дозированию сорго

№ эксперимен-та	Частота вращения, X_1 , об/мин	Площадь отверстия, X_2 , см ²	Производительность в повторности, г/с			Производительность средняя, Y , г/с	v , %	Δ
			1	2	3			
1	20 (-1)	4,8 (-1)	44,6	47,75	41,22	44,52	7	0,15
2	46 (+1)	4,8 (-1)	56,95	57,87	70,42	61,75	12	0,22
3	20 (-1)	8,8 (+1)	44,64	43,82	45,62	44,69	2	0,04
4	46 (+1)	8,8 (+1)	102,88	99,8	105,04	102,57	3	0,05

Полученные значения v показывают, что вариативность результатов преимущественно незначительная. Это позволяет использовать их для построения эмпирических математических моделей зависимости производительности от выбранных факторов вида:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_1 X_2$$

Для пшеницы:

$$Y = 59,29 + 13,17 \cdot X_1 + 9,3 \cdot X_2 + 9,93 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Для ячменя:

$$Y = 41,71 + 14 \cdot X_1 + 27,44 \cdot X_2 + 12,28 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Для сорго:

$$Y = 63,38 + 18,78 \cdot X_1 + 10,25 \cdot X_2 + 10,16 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Проверка значимости коэффициентов уравнений регрессии выполнена по критерию Стьюдента, табличное значение которого при числе степеней свободы $f = 4 - 1 = 3$ и доверительной вероятности $P = 0,95$ составляет $t_T = 3,18$.

Данный коэффициент сравнивают с табличным значением t_T , определяемое по доверительной вероятности P числу степеней свободы $f = n - 1$. Если $t_{ip} > t_T$, то коэффициент значим.

$$f = 4 - 1 = 3 \text{ при доверительной вероятности } P=0,95, \text{ т. е. } t_T = 3,18$$

Результаты проверки представлены в таблице 5.

Таблица № 5

Проверка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента при табличном значении $t_T = 3,18$

Коэффициент	Расчётное значение критерия Стьюдента для материала:		
	Пшеница	Ячмень	Сорго
X_1	16,06	18,54	15,02
X_2	11,34	36,34	8,20
$X_1 X_2$	12,11	16,26	8,13

Из данной таблицы видно, что все коэффициенты значимы, следовательно, полученные модели адекватно соответствуют процессу дозирования исследованных материалов на дозаторе, предложенной конструкции.

Полученные модели приведены к виду с натуральными значениями факторов:

Для пшеницы:

$$\Pi = 59,29 + 13,17 \cdot \frac{Ч - 33}{13} + 9,3 \cdot \frac{О - 6,8}{2} + 9,93 \cdot \frac{Ч - 33}{13} \cdot \frac{О - 6,8}{2}$$

где Π - производительность, г/с, $Ч$ - частота вращения барабана, $О$ - площадь сечения выгрузного отверстия бункера.

Для ячменя:

$$\Pi = 41,71 + 14 \cdot \frac{Ч - 33}{13} + 27,44 \cdot \frac{О - 6,8}{2} + 12,28 \cdot \frac{Ч - 33}{13} \cdot \frac{О - 6,8}{2}$$

Для сорго:

$$\Pi = 63,38 + 18,78 \cdot \frac{Ч - 33}{13} + 20,25 \cdot \frac{О - 6,8}{2} + 10,16 \cdot \frac{Ч - 33}{13} \cdot \frac{О - 6,8}{2}$$

Выводы

1. Барабанный дозатор с размерами: диаметр корпуса - 85, ширина корпуса – 50 позволяет обеспечить подачу сыпучих продуктов сельскохозяйственного производства - пшеницы, ячменя, сорго в диапазонах производительности:

по пшенице от 46,75 до 91,69 г/с при средней точности 0,08;

по ячменю от 12,54 до 95,43 г/с с при средней точности 0,16;

по сорго от 44,52 до 102,57 г/с при средней точности 0,11.

2. Регулирование размера выпускного отверстия бункера в диапазоне от 4,8 до 8,8 см² в барабанном дозаторе позволяет гарантированно изменять производительность при фиксированной частоте вращения барабана в диапазоне частот вращения от 20 до 46 м⁻¹.

3. Полученные математические модели (1), (2), (3), описывающие зависимость производительности от частоты вращения барабана и размера выпускного отверстия бункера позволяют производить настройку дозатора на заданную производительность без применения контрольных замеров.

4. Реализация регулировки производительности барабанного дозатора посредством изменения размера выпускного отверстия бункера позволяет формировать системы многокомпонентных дозаторов с единым приводом, что обеспечивает простоту и компактность.

Литература

1. Хамитова Е.К. Оборудование пищевых производств: учеб. пособие Минск: РИПО, 2018. 231 с.
2. Глобин А.Н., Краснов И.Н. Дозаторы: монография // М.: Директ-Медиа, 2016. 384 с.
3. Ведищев С.М., Капустин В.П., Глазков Ю.Е. и др. Механизация приготовления кормов: учебное пособие: в 2 ч. Ч. 2 // Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. 128 с.
4. Омаров Р.С., Сычева О.В. Пищевые и биологически активные добавки в производстве продуктов питания: учебное пособие // Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2015. 64 с.
5. Александровский С.А. Материально-сырьевые расчеты пищевых производств учебное пособие // М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. 132 с.
6. Медведева З.М., Шипилин Н.Н., Бабарыкина С.А. Технология хранения и переработки продукции растениеводства: учеб. пособие // Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2015. 340 с.
7. Дресвянников А.Ф. Оценка качества материалов: учебное пособие // Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. 117 с.
8. Спиридонов А.М. Производство высококачественных кормов: монография // СПб. СПбГАУ, 2014. 130 с.
9. Скурятин Н.Ф., Мерецкий С.В. Совершенствование процесса посева зерновых на склоновых почвах // Инженерный вестник Дона, 2012, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/662.

10. Рылякин Е.Г. Обзор технических средств приготовления плющеного зерна, представленных на российском рынке сельхозтехники // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1954.

11. Karayel D., Barut Z.B., Özmerzi A. Mathematical Modelling of Vacuum Pressure on a Precision Feeder // Biosystems Engineering. – 2004. – №87 (4). – pp. 437–444.

12. Singh, R. C., Singh G., Saraswat D. C. Optimization of design an operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds // Biosystems Engineering. – 2005. – №92 (4). – pp. 429–438.

References

1. Khamitova E.K. Oborudovaniye pishchevykh proizvodstv. [Food production equipment: studies. manual]. Minsk: RIPO, 2018. 231 p.

2. Globin A.N., Krasnov I.N. Dozatory: monografiya. [Dispensers: monograph]. M.: 2016. 384 p.

3. Vedishchev S.M., Kapustin V.P., Glazkov U.E. i dr. Mekhanizatsiya prigotovleniya kormov [Mechanization of feed preparation]: uchebnoye posobiye: v 2 ch. CH. 2. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2015. 128 p.

4. Omarov R.S., Sycheva O.V. Pishchevye i biologicheski aktivnyye dobavki v proizvodstve produktov pitaniya [Food and biologically active additives in food production]: uchebnoye posobiye. Stavropol': AGRUS Stavropol'skogo gos. agrarnogo un-ta, 2015. 64 p.

5. Aleksandrovskiy S.A. Material'no-syr'yevyye raschety pishchevykh proizvodstv uchebnoye posobiye [Material and raw materials calculations of food production textbook]. M-vo obraz. i nauki Rossii, Kazan. nats. issled. tekhnol. un-t. Kazan': Izd-vo KNITU, 2012. 132 p.



6. Medvedeva Z.M., Shipilin N.N., Babarykina S.A. Tekhnologiya khraneniya i pererabotki produktsii rasteniyevodstva [Technology of storage and processing of crop production]: ucheb.posobiye. Novosib. gos. agrar. un-t. Novosibirsk: ITS NGAU «Zolotoy kolos», 2015. 340 p.
7. Dresvyannikov A.F. Otsenka kachestva materialov [Evaluation of the quality of materials]: uchebnoye posobiye. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhnol. un-ta, 2008. 117 p.
8. Skuryatin N.F., Meretsky S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/662.
9. Rylyakin E.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1954.
10. Spiridonov A.M. Proizvodstvo vkusnykh kormov [Production of high-quality feed]: monografiya. SPb.: SPbGAU, 2014. 130 p.
11. Karayel D., Barut Z.B., Özmerzi A. Mathematical Modelling of Vacuum Pressure on a Precision Feeder Biosystems Engineering. 2004. №87 (4). pp. 437–444.
12. Singh, R. C., Singh G., Saraswat D. C. Biosystems Engineering. 2005. №92 (4). pp. 429–438.