

Научная статья

УДК 631.363.7

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-3-60-69

## К ОБОСНОВАНИЮ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛЕНТОЧНОГО ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Антон Алексеевич Попков<sup>1</sup>, Владимир Викторович Коновалов<sup>2✉</sup>, Владимир Юрьевич Зайцев<sup>3</sup>, Марина Владимировна Донцова<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup> antonio91014@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0007-6835-9836>

<sup>2</sup> konovalov-penza@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5011-5354>

<sup>3</sup> vluzai@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6230-0856>

<sup>4</sup> dontmv@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2915-0881>

**Резюме.** Цель исследований – снижение погрешности дозирования ленточных дозаторов сыпучих материалов. Методика теоретических исследований предусматривала исследования численными методами закономерности изменения погрешности дозирования при варьировании конструктивными параметрами дозатора и показателями его рабочего процесса. Приготовление композитов и смесей требует обеспечения пропорций между их компонентами. Нарушение пропорций вызывает изменение свойств композита и/или снижение качества смеси. Наиболее точно выдерживают массу порции компонентов весовые дозаторы периодического действия. Однако в данном случае высоки затраты энергии на равномерное распределение компонентов по всему объему приготавливаемой смеси. Непрерывное весовое дозирование позволяет снизить энергозатраты смесеобразования за счет применения смесителей непрерывного действия. Применение весовых дозаторов непрерывного действия требует проведения комплекса мероприятий по повышению их точности настройки на заданную производительность. Повышение точности дозирования в случае погрешностей настройки дозатора требует совершенствования конструкции дозаторов непрерывного действия ленточного типа в направлении повышения скорости движения ленты и уплотнения материала в зоне дозирования. Увеличение активной площади выгрузного отверстия способствует возможности роста скорости движения ленты. Рост высоты дозируемого слоя на ленте способствует уменьшению погрешности дозирования. При соотношении ширины отверстия к ее высоте равному 4 – погрешность производительности составляет 0,2 (20%) при регулировке производительности высотой окна с ошибкой 1 мм; при указанном соотношении равному 1 – погрешность производительности – 0,1; при указанном соотношении равному 0,5 – погрешность производительности 0,05. Дополнительные активные рабочие органы в зоне дозирования позволяют увеличить высоту дозируемого слоя материала.

**Ключевые слова:** ленточный дозатор, дозирование, погрешность дозирования, скорость ленты, выгрузное отверстие

**Для цитирования:** Попков А. А., Коновалов В. В., Зайцев В. Ю., Донцова М. В. К обоснованию направления совершенствования конструкции ленточного дозатора сыпучих материалов // Известия Самарского государственного сельскохозяйственной академии. 2024. № 3. С. 60-69. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-3-60-69

Original article

### TO THE JUSTIFICATION OF THE DIRECTION FOR IMPROVING THE DESIGN OF A BULK MATERIAL BELT DISPENSER

Anton A. Popkov <sup>1</sup>, Vladimir V. Konovalov <sup>2✉</sup>, Vladimir Yu. Zaitsev <sup>3</sup>, Marina V. Dontsova <sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Penza State Technological University, Penza, Russia

<sup>1</sup> antonio91014@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0007-6835-9836>

<sup>2</sup> konovalov-penza@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5011-5354>

<sup>3</sup> vluzai@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6230-0856>

<sup>4</sup> dontmv@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2915-0881>

**Abstract.** The purpose of the research is to reduce the dosing error of belt dispensers of bulk materials. The theoretical research methodology involved studying, using numerical methods, the pattern of changes in the dosing error when varying the design parameters of the dispenser and the indicators of its operating process. The preparation of composites and mixtures requires ensuring proportions between their components. Violation of proportions causes a change in the properties of the composite and/or a decrease in the quality of the mixture. The most accurate way to maintain the weight of a portion of components is with batch scale batchers. However, in this case, the energy costs for distributing the components throughout the entire volume of the prepared mixture are high. Continuous weight dosing allows you to reduce the energy consumption of mixture formation through the use of continuous mixers. The use of continuous weighing feeders requires a set of measures to improve their accuracy of adjustment to a given performance. Increasing the dosing accuracy in the event of dispenser setting errors requires improving the design of continuous belt-type dispensers in the direction of increasing the speed of the belt and compacting the material in the dosing zone. Increasing the active area of the unloading opening contributes to the possibility of increasing the speed of the belt. An increase in the height of the dosed layer on the tape helps to reduce the dosing error. When the ratio of the opening width to its height is 4, the performance error is 0.2 (20%) when adjusting the performance by window height with an error of 1 mm; with the specified ratio equal to 1, the performance error is 0.1; with the specified ratio equal to 0.5, the performance error is 0.05. Additional active working elements in the dosing zone will allow you to increase the height of the dosed layer of material.

**Key words:** belt dispenser, dosing, dosing error, belt speed, discharge opening.

**For citation:** Popkov, A. A., Konovalov, V. V., Zaitsev, V. Yu. & Dontsova, M. V. (2024). To the justification of the direction for improving the design of a bulk material belt dispenser. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 3, 60-69 (in Russ.). doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-3-60-69

В народном хозяйстве широко используются различные композиты [1-3] и смеси [4-6]. Для их производства сырье подлежит измельчению [7, 8], а затем смешиванию в пропорциях рецептуры [9, 10]. Точность настройки дозаторов обеспечивает соблюдение рецептов. В зависимости от непрерывности процесса приготовления конечного продукта применяют дозаторы непрерывного или порционного действия [11, 12]. Для обеспечения приготовления порции смеси чаще используют смесители периодического действия, в которые засыпают необходимые порции материала. В данном случае преимущественно используют порционные смесители [11, 12]. Чаще всего применяются весовые устройства, во встроенную (или установленную) чашу которых засыпается материал до достижения массы порции. Использование весов позволяет точнее производить учет загружаемого компонента [13]. Недостатком данной технологии производства смесей является завышенные энергозатраты на перемешивание порции до достижения технологических требований на однородность конечного продукта [9]. Снизить энергозатраты возможно за счет использования смесителей непрерывного действия, где одновременно перемешивается меньшая масса продукта [13-15]. В данном случае имеется потребность использования дозаторов непрерывного действия.

Среди конструкций дозаторов непрерывного действия широко используют дозаторы шнековые [8, 16], барабанные [17, 18], тарельчатые [19], ленточные [20-22] и другие [10]. При работе шнековых и барабанных дозаторов наблюдаются пульсации мгновенной подачи материала, что приводит к колебаниям рецептуры в процессе производства и требует дополнительного усреднения содержания компонентов. Тарельчатые и ленточные дозаторы обеспечивают существенно более равномерную мгновенную подачу компонентов. Однако, ленточные дозаторы проще оборудовать весовым регулятором. Поэтому ленточные весовые дозаторы более актуальны и перспективны для применения в современном производстве.

**Цель исследований** – определение направления совершенствования конструкции ленточных дозаторов, обеспечивающее возможность снижения погрешности дозирования.

**Методика исследований** предусматривала теоретические исследования численными методами в программе MathCAD по установлению тенденций изменения погрешности дозирования в случае наличия ошибок при фиксации параметров рабочего процесса и конструкции дозатора.

Основой ленточного дозатора (рис. 1) является бункер для сыпучего материала, под которым располагается ленточный транспортер в составе ленты 4 с опорными роликами 1. Над лентой располагаются борта 2, предотвращающие рассыпание материала. У весовых дозаторов под лентой 4 располагается измерительное устройство 3. Для регулирования производительности в боковой поверхности бункера над лентой 4 имеется выгрузное окно 8, перекрытое заслонкой 5, обладающей приводом 6.

Производительность ленточного дозатора определяется формулой [23], кг/с

$$Q = S \cdot v \cdot \rho \cdot \phi = (a \cdot h) \cdot v \cdot \rho \cdot \phi, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь выгрузного окна, м<sup>2</sup>;  $a$  – ширина выгрузного окна, м;  $h$  – высота выгрузного окна, м;  $v$  – скорость движения ленты, м/с;  $\rho$  – насыпная плотность вороха дозируемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\phi$  – степень заполнения материалом пространства выгрузного окна.

В процессе изготовления и настройки дозатора возможно наличие погрешности и изменение исходно заданных размеров выгрузного окна, скорости ленты в силу различного ее натяжения и вытягивания, плотности вороха материала при изменении влажности и т.п. Все это приведет к расхождению расчетных и заданных значений ленточного дозатора.

Рассмотрим влияние указанных погрешностей на точность обеспечения производительности. Для этого рассмотрим влияние изменения показателей в ф.1 на фактически используемые единицы измерения. В процессе изготовления дозатора и регулировании положения заслонки настройка производится с точностью до одного миллиметра. Соответственно и используем при численных исследованиях данный показатель. При этом при сохранении заданной площади выгрузного отверстия возможно изменение пропорций между шириной и высотой выгрузного отверстия (рис. 2. а, b, с). Погрешности размеров ширины  $\Delta a$  и высоты  $\Delta h$  выгрузного отверстия одинаковые (1 мм), однако в зависимости от пропорций выгрузного окна (рис. 2) погрешности производительности будут различными.

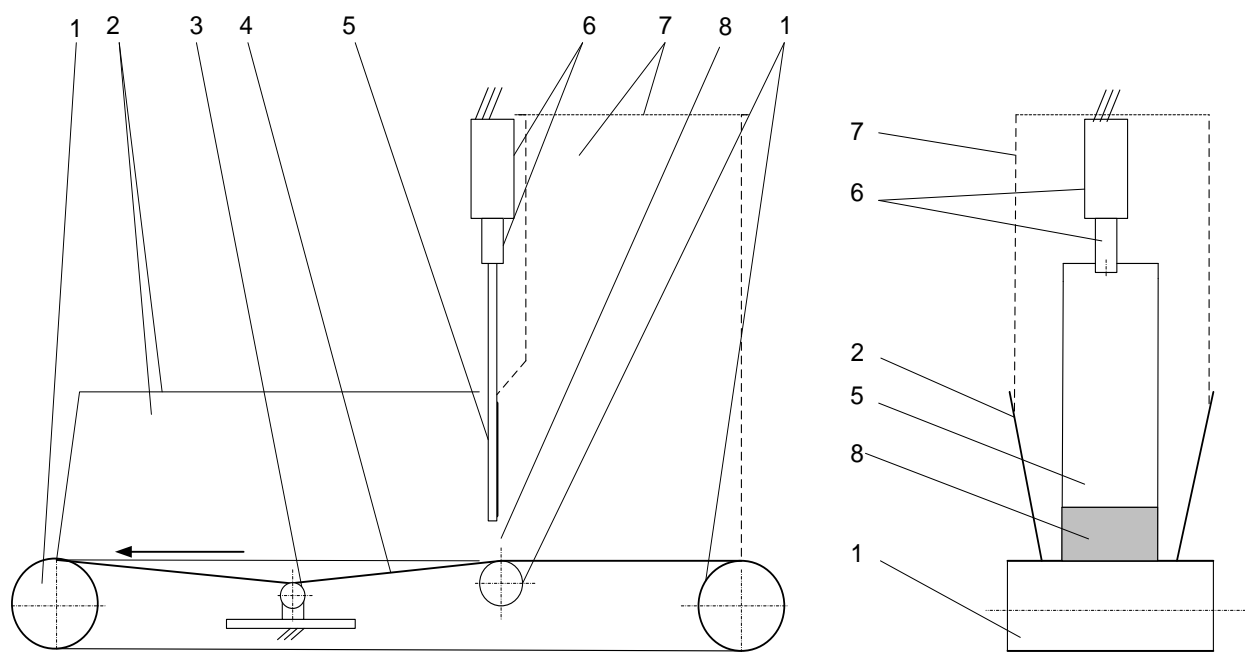


Рис. 1. Схема ленточного дозатора [23]:

1 – опорный ролик; 2 – борт; 3 – измерительное устройство;  
4 – лента; 5 – заслонка; 6 – привод; 7 – бункер сыпучего материала; 8 – выгрузное окно

Скорость измеряется в метрах в секунду, поэтому используем значения скорости с точностью десятой доли метра в секунду. Плотность изменится в процессе уплотнения, роста высоты материала

в бункере и повышения влажности, поэтому используем данный показатель (единица изменения –  $3 \text{ кг/м}^3$ ). Степень заполнения – безразмерный показатель, отражающий долю объема материала дозируемого продукта в объеме дозируемого вороха продукта, зависит от заполнения бункера (высоты слоя продукта) и конструктивных особенностей дозирующего устройства. Фактически изменяется в процессе работы дозатора на малые величины значения. Применяем значения с точностью одной сотой безразмерной единицы.

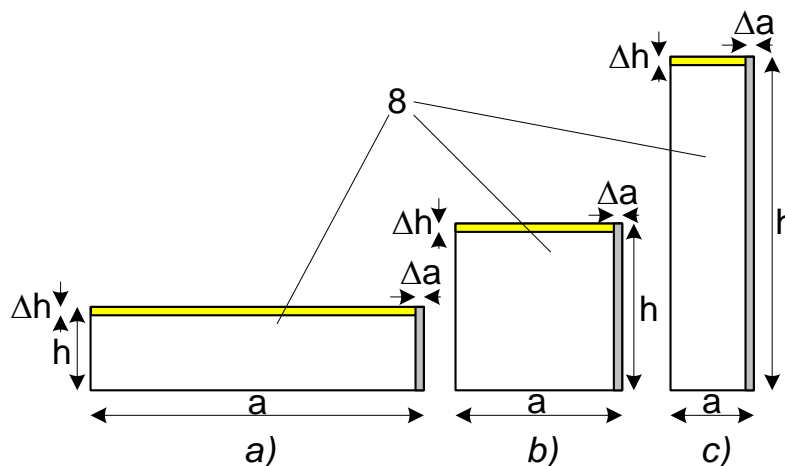


Рис. 2. Расчетная схема размеров выгрузного окна 8

Используя численные методы исследований, рассмотрим влияние каждого из указанных параметров на показатель изменения производительности дозатора.

Для примера рассмотрим влияние погрешности (1 мм) размера выгрузного окна при различной настройке положения заслонки при постоянстве остальных показателей. Площадь выгрузного отверстия  $S$  в численном опыте постоянна и составляет  $10000 \text{ мм}^2$ . Изменяется высота отверстия  $h$  в интервале от 32 до 316 мм. Из условия ширины отверстия, мм:  $a = S/h$ , найдем соответствующий интервал изменения ширины (в порядке уменьшения для опыта): от 316 до 32 мм.

Изменение производительности  $Q_{\Delta}$  при погрешности текущих значений высоты выгрузного отверстия  $h_i$  на 1 мм, составит, кг/с:

$$Q_{\Delta} = \left[ \frac{S}{h} \cdot h \right] \cdot (\vartheta \cdot \rho \cdot \phi) - \left[ \frac{S}{h - 0,001} \cdot (h - 0,001) \right] \cdot (\vartheta \cdot \rho \cdot \phi);$$

$$Q_{\Delta i} = \left[ \frac{S}{h_i} \cdot h_i - \frac{S}{h_i - 0,001} \cdot (h_i - 0,001) \right] \cdot (\vartheta \cdot \rho \cdot \phi). \quad (2)$$

Аналогичная функция наблюдается при выражении ширины отверстия через его высоту.

Изменение производительности  $Q_{\Delta}$  при погрешности текущих значений скорости ленты (на ее примере), плотности или степени заполнения будут относительно похожи приведенному выражению, кг/с:

$$Q_{\Delta i} = (\vartheta_i - \vartheta_{i-1}) \cdot (a \cdot h \cdot \rho \cdot \phi). \quad (3)$$

Здесь исследуемый параметр используется в исходном и уменьшенном значении. Скорость исследуется на интервале скоростей  $0,6 \div 2,0 \text{ м/с}$ , степень заполнения –  $0,55 \div 1,00$ , плотность –  $300 \div 1200 \text{ кг/м}^3$ .

**Результаты исследований.** На основе выше указанных формул произведем численное моделирование программой MathCAD на основе однофакторных зависимостей по выявлению влияния изменения производительности  $Q_{\Delta}$  в долях от самой производительности  $Q$  при наличии погрешности текущих значений у всех указанных параметров (рис. 3-7).

$$\begin{aligned}
 i &:= 0..300 & S &:= 10000 \cdot 10^{-6} & v &:= 1 & \sqrt{S} &= 0.1 \\
 h_i &:= (31 + i \cdot 1) \cdot 10^{-3} & a_i &:= \frac{S}{h_i} & \rho &:= 714.3 & \phi &:= 0.7 & \rho \cdot \phi &= 500.01 \\
 i &:= 1..300 \\
 Q_i &:= h_i \cdot a_i \cdot v \cdot \rho \cdot \phi & Q_0 &:= Q_1 & Q'_i &:= h_{i-1} \cdot a_{i-1} \cdot v \cdot \rho \cdot \phi & Q\Delta_i &:= Q_i - Q'_i
 \end{aligned}$$

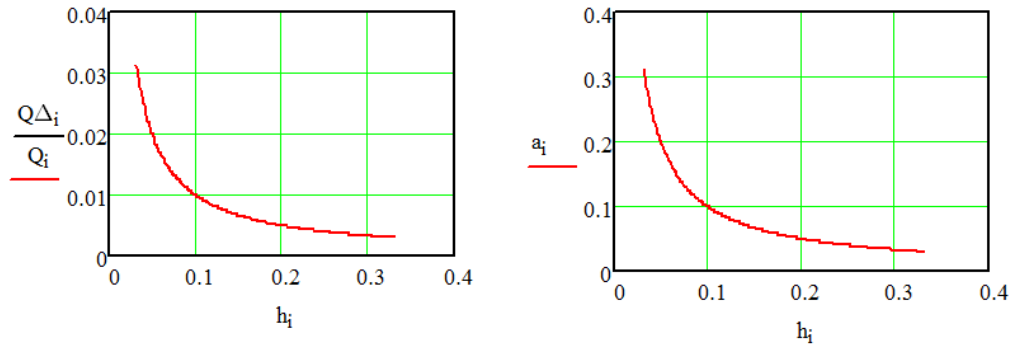


Рис. 3. Результаты моделирования показателя соотношения прироста производительности к производительности дозатора ( $Q_{\Delta i}/Q_i$ , доля) и выгрузного отверстия  $a_i$  (м) в зависимости от высоты выгрузного отверстия  $h_i$  (м) при постоянной площади выгрузного окна  $S$

$$\begin{aligned}
 i &:= 0..300 & S &:= 10000 \cdot 10^{-6} & v &:= 1 & \sqrt{S} &= 0.1 \\
 a_i &:= (31 + i \cdot 1) \cdot 10^{-3} & h_i &:= \frac{S}{a_i} & \rho &:= 714.3 & \phi &:= 0.7 & \rho \cdot \phi &= 500.01 \\
 i &:= 1..300 \\
 Q_i &:= h_i \cdot a_i \cdot v \cdot \rho \cdot \phi & Q_0 &:= Q_1 & Q'_i &:= h_{i-1} \cdot a_{i-1} \cdot v \cdot \rho \cdot \phi & Q\Delta_i &:= Q_i - Q'_i
 \end{aligned}$$

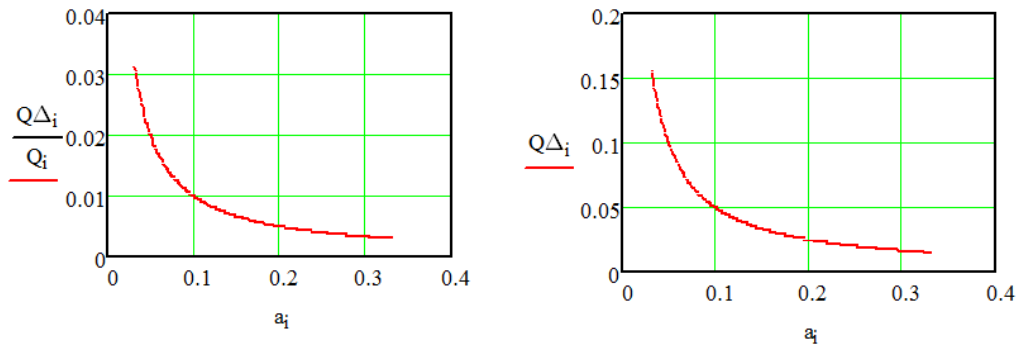


Рис. 4. Результаты моделирования показателя соотношения прироста производительности к производительности дозатора ( $Q_{\Delta i}/Q_i$ , доля) и прироста производительности дозатора ( $Q_{\Delta i}$ , кг/с) в зависимости от ширины выгрузного отверстия  $a_i$  (м) при постоянной площади выгрузного окна  $S$

Учитывая, что численный эксперимент закладывается из условия постоянства площади ( $S = \text{const}$ ) выгрузного отверстия, соответственно при изменении ширины выгрузного отверстия, пропорционально меняется высота выгрузного отверстия (см. график зависимости  $a_i$  от  $h_i$  на рис.3). По мере роста ширины выгрузного отверстия величина абсолютного значения изменения производительности ( $Q_{\Delta}$ , кг/с) снижается по гиперболической зависимости (см. график зависимости  $Q_{\Delta i}$  от  $a_i$  на рис. 4). Однако, для объективной оценки по каждому фактору используется относительный показатель, выражающийся в соотношении изменения производительности  $Q_{\Delta}$  в долях от самой производительности  $Q$ , далее называемый как погрешность дозирования.

Несмотря на асинхронность значений высоты и ширины выгрузного отверстия (прирост одного ведет к убыванию другого), влияние их числовых значений на изменение производительности аналогичны (рис. 3, 4). При числовом значении любого из них равном 0,2 м, относительное изменение погрешности составляет около 0,05 долей производительности дозатора (5%). При значении факторов порядка 0,1 м, погрешность составит – около 0,1. С дальнейшим уменьшением любого фактора погрешность резко возрастает. Это функциональное свойство. Однако, в силу конструктивно-технологических условий изготовления и работы дозатора наблюдается следующее. Ширина окна задается конструктивно, как правило, и она постоянна при изготовлении, а производительность регулируется высотой окна посредством положения заслонки. Тем самым, фактически основное влияние на погрешность дозирования оказывает точность установки заслонки. Тогда получается, что для уменьшения погрешности дозирования, ширина окна должна быть менее высоты выгрузного отверстия. При соотношении ширины отверстия к ее высоте равном 4 погрешность производительности – 0,2 при регулировке производительности высотой окна; при указанном соотношении равном 1 погрешность производительности – 0,1; при указанном соотношении равном 0,5 погрешность производительности – 0,05. То есть, рост высоты дозируемого слоя способствует уменьшению погрешности дозирования.

Однако, в практической реализации это не наблюдается, а используется прямо противоположный подход. Это связано с тем, что для дозирования материала требуется обеспечить для частиц из состояния покоя передачу кинетической энергии от активного рабочего органа (ленты) посредством силы трения их о рабочую поверхность. Так как активной поверхностью является лента, то требуется увеличение площади их контакта. Поэтому традиционно используется пропорция, когда ширина выгрузного окна больше его высоты. Изменить пропорции рабочего соотношения ширина / высота выгрузного отверстия возможно только за счет совершенствования рабочих органов, увеличивающих активную часть периметра выгрузного окна. С ростом скорости ленты равно проскальзывание материала (в абсолютных значениях) ведет к уменьшению погрешности производительности (рис. 5). Однако в силу увеличения прироста скорости частиц массой  $m$  у днища бункера от нуля до  $v$ , а также роста потребного значения кинетической энергии ( $m \cdot v^2/2$ ), требует тоже роста активной площади контакта материала с активными рабочими органами. Это можно обеспечить только за счет совершенствования конструкции дозатора.

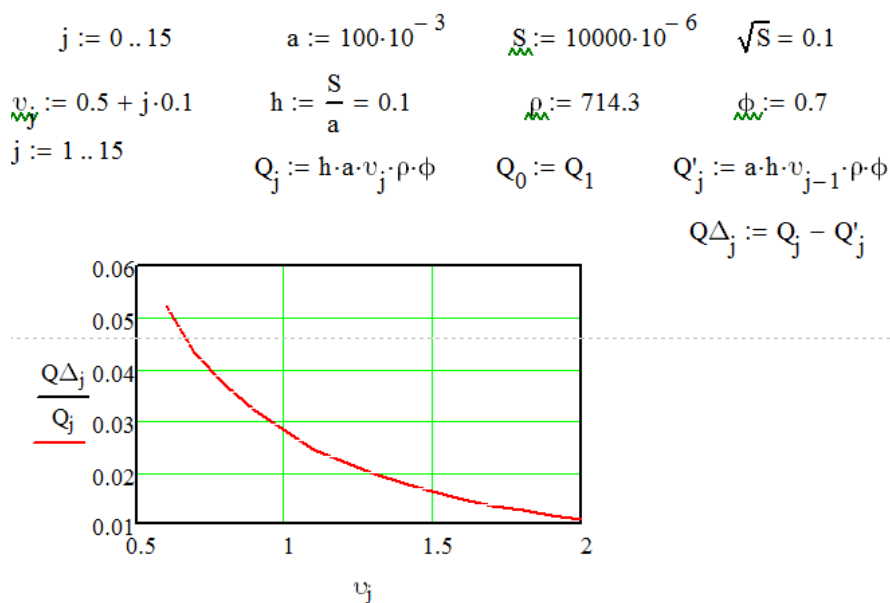


Рис. 5. Результаты моделирования показателя соотношения прироста производительности к производительности дозатора ( $Q\Delta_j/Q_j$ , доля) в зависимости от скорости ленты  $v_j$  (м)



$$\begin{aligned}
 j &:= 0 \dots 500 & a &:= 100 \cdot 10^{-3} & S &:= 10000 \cdot 10^{-6} & \sqrt{S} &:= 0.1 \\
 \rho_j &:= 200 + j \cdot 3 & h &:= \frac{S}{a} = 0.1 & v &:= 1 & \phi &:= 0.7 \\
 j &:= 1 \dots 500 & Q_j &:= h \cdot a \cdot v \cdot \rho_j \cdot \phi & Q_0 &:= Q_1 & Q'_j &:= a \cdot h \cdot v \cdot \rho_{j-1} \cdot \phi \\
 & & & & & & Q\Delta_j &:= Q_j - Q'_j
 \end{aligned}$$

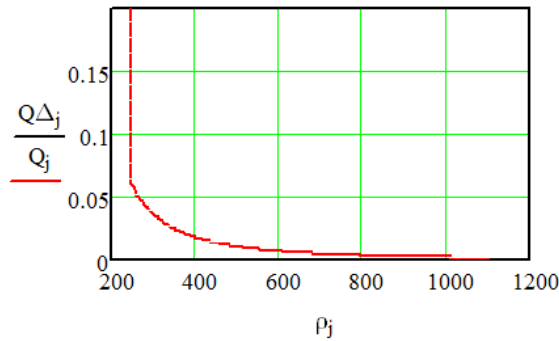


Рис. 6. Результаты моделирования соотношения прироста производительности к производительности дозатора ( $Q_{\Delta j}/Q_j$ , доля) в зависимости от плотности вороха материала ( $\rho_j$ , кг/м<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned}
 j &:= 0 \dots 50 & a &:= 100 \cdot 10^{-3} & S &:= 10000 \cdot 10^{-6} & \sqrt{S} &:= 0.1 \\
 \phi_j &:= 0.5 + j \cdot 0.01 & h &:= \frac{S}{a} = 0.1 & \rho &:= 500 & v &:= 1 \\
 j &:= 1 \dots 50 & Q_j &:= h \cdot a \cdot v \cdot \rho \cdot \phi_j & Q_0 &:= Q_1 & Q'_j &:= a \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot \phi_{j-1} \\
 & & & & & & Q\Delta_j &:= Q_j - Q'_j
 \end{aligned}$$

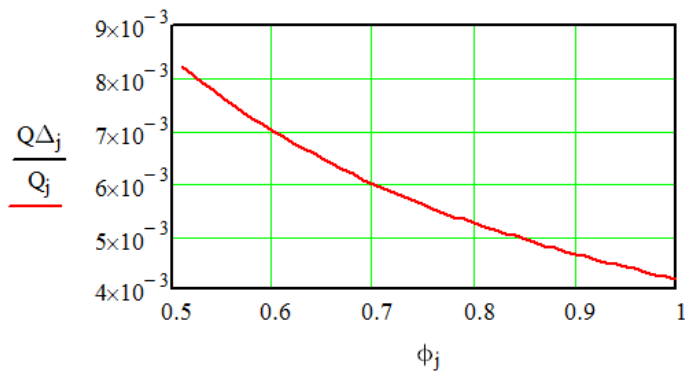


Рис. 7. Результаты моделирования соотношения прироста производительности к производительности дозатора ( $Q_{\Delta j}/Q_j$ , доля) в зависимости от степени заполнения выгрузного отверстия ( $\phi_j$ , доля)

Анализ влияния увеличения плотности материала и степени заполнения пространства выгрузного окна (рис. 6, 7), как и их произведения, показывает снижение величины погрешности дозирования от увеличения значений данных показателей. Соответственно, при совершенствовании конструкции дозатора, следует предусматривать возможность повышения значений плотности материала и степени заполнения пространства выгрузного окна.

**Закключение.** Повышение точности дозирования в случае погрешностей настройки дозатора требует совершенствования конструкции дозаторов непрерывного действия ленточного типа в направлении повышения скорости движения ленты и уплотнения материала в зоне дозирования. Увеличение активной площади выгрузного отверстия способствует возможности роста скорости движения ленты. Дополнительные активные рабочие органы в зоне дозирования позволяют увеличить

высоту дозируемого слоя материала, что снизит погрешность дозирования. Рост высоты дозируемого слоя на ленте способствует уменьшению погрешности дозирования. При соотношении ширины отверстия к ее высоте равном 4 погрешность производительности – 0,2 при регулировке производительности высотой окна; при указанном соотношении равном 1 погрешность производительности – 0,1; при указанном соотношении равном 0,5 погрешность производительности – 0,05.

#### Список источников

1. Бормотов А. Н., Горохова А. А. Моделирование влияния модифицирующих добавок на реологические показатели композитов // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4-1 (106). С. 51-56.
2. Зубрев Н. И., Матвеева Т. В., Панфилова М. И., Устинова М. В., Коростелева А. В. Технология приготовления композитных растворов, применяемых в строительстве тоннелей для закрепления грунтов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2019. Т. 8. № 2 (46). С. 244-247.
3. Панфилова М. И., Зубрев Н. И., Новоселова О. В., Панфилова И. С. Влияние добавок жидкого стекла на структурообразование инъекционных растворов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2018. Т. 7. № 1 (41). С. 57-60.
4. Шуйский А. И., Щербань Е. М., Стельмах С. А., Доценко Н. А., Ельшаева Д. М., Самофалова М. С., Жеребцов Ю. В. Влияние характера движения потоков смеси в объеме смесителя на однородность приготавливаемой смеси // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4 (35). С. 618-627.
5. Капранова А. Б., Верлока И. И., Яковлев П. А., Бахаева Д. Д. О влиянии комплексного параметра гравитационного аппарата на качество смеси после первой стадии смешивания // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 1. С. 92-97.
6. Гусева Т. И. Изучение влияния плодоовощной смеси на качество хлебобулочных изделий // Агропромышленные технологии Центральной России. 2023. № 3 (29). С. 25-32.
7. Бормотов А. Н. Оптимизация гранулометрического состава композиционных материалов // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 5-1 (119). С. 17-22.
8. Брусенков А. В., Ильина И. Е. Повышение эффективности приготовления корнеклубнеплодов // Наука в центральной России. 2019. № 2 (38). С. 91-97.
9. Чупшев А. В. Обоснование перспективной операционной схемы приготовления комбикормов-концентратов в условиях животноводческих предприятий // Нива Поволжья. 2021. № 3 (60). С. 135-141.
10. Старшов Д. Г., Седелкин В. М., Старшов Г. И., Никитин А. И. Исследование и разработка автоматизированного устройства для дозирования и смешивания сыпучих компонентов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2017. № 2-3 (36-37). С. 58-63.
11. Пронин А. Н. Классификация дозирующих устройств и их ключевая роль в производстве // Вестник НГИЭИ. 2023. № 9 (148). С. 43-50.
12. Вторый С. В. Алгоритм процесса автоматического приготовления смеси жидкого ЗЦМ молодняку КРС // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 1 (106). С. 118-127.
13. Ведищев С. М., Хольшев Н. В., Прохоров А. В., Глазков А. Ю., Выгузов М. Е. Отбор проб при оценке качества смешивания // Наука в центральной России. 2023. № 3 (63). С. 48-56.
14. Хлыстунов В. Ф., Брагинцев С. В., Алфёров А. С., Чернуцкий М. В. Влияние конструктивных и кинематических параметров на энергоёмкость процесса в наклонном шнековом смесителе // Вестник Донского государственного технического университета. 2018. Т. 18. № 4. С. 408-413.
15. Ведищев С. М., Завражнов А. И., Прохоров А. В., Ложкина Е. Б. Обзор и анализ конструкций смесительных устройств // Наука в центральной России. 2022. № 4 (58). С. 91-101.
16. Синенков Д. В. Лабораторные исследования шнекового дозатора для посева семян зерновых культур // Нива Поволжья. 2019. № 2 (51). С. 128-134.
17. Ведищев С. М., Завражнов А. И., Прохоров А. В., Бралиев М. К. Обоснование параметров выгрузного окна барабанного дозатора // Наука в центральной России. 2019. № 5 (41). С. 16-26.
18. Al-Maidi A. A. H., Himoud M. S., Kaliganov A. C., Teryushkov V. P., Chupschev A. V., Konovalov V. V., Rodionov Y. V. Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer // International Journal of Agricultural and Statistical Sciences. 2021. Т. 16. С. 1769-1774.
19. Мачнев А. В., Кухарев О. Н., Мачнева О. Ю., Мачнев В. А., Хорев П. Н., Яшин А. В. Исследования протравливателя Mobitox Super, оснащенного двухдисковым распределяющим устройством и двухуровневым отражающим устройством // Нива Поволжья. 2019. № 4 (53). С. 129-133.



20. Павлов П. И., Дзюбан И. Л., Везиринов А. О. Обоснование параметров шнекового погрузчика-смесителя органоминерального компоста //Агроинженерия. 2019. № 6 (94). С. 4-9.

21. Мансур В., Першин В. Ф. Агрегаты для приготовления смеси из компонентов, склонных к сегрегации: современное состояние и перспективы. Часть II // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2023. Т. 29. № 1. С. 139-152.

22. Абдурахмонов, С. М., Сайитов, Ш. С. У., Угли, С. А. А., & Абдумуталов, Д. А. У. Автоматические ленточные дозаторы для производства цемента. *Universum: технические науки*, 1021. № 10-1 (91). С. 80-82.

23. Коновалов В. В. Расчет оборудования и технологических линий приготовления кормов (Примеры расчетов на ЭВМ). Пенза, 2002.

### References

1. Bormotov, A. N., & Gorokhova, A. A. (2021). Modeling of the influence of modifying additives on rheological parameters of composites. *International Scientific Research Journal*, (4-1 (106)), 51-56. (in Russ.).

2. Zubrev, N. I., Matveeva, T. V., Panfilova, M. I., Ustinova, M. V., & Korosteleva, A.V. (2019). Technology of preparation of composite solutions used in the construction of tunnels for fixing soils. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*, 8(2), 244-247. (in Russ.).

3. Panfilova, M. I., Zubrev, N. I., Novoselova, O. V., & Panfilova, I. S. (2018). Effect of liquid glass additives on the structure formation of injection solutions. *XXI Century: Results of the past and Problems of the present plus*, 7(1), 57-60. (in Russ.).

4. Shuisky, A. I., Shcherban, E. M., Stelmakh, S. A., Dotsenko, N. A., Elshaeva, D. M., Samofalova, M. S., & Zherebtsov, Yu. V. (2020). Influence of the flow pattern of the mixture in the mixer volume on the homogeneity of the prepared mixture. *Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Real Estate*, 10 (4 (35)), 618-627. (in Russ.).

5. Kapranova, A. B., Verloc, I. I., Yakovlev, P. A., & Bakhaeva, D. D. (2019). On the influence of the complex parameter of the gravitational apparatus on the quality of the mixture after the first stage of mixing. *Bulletin of Tambov State Technical University*, 25(1), 92-97. (in Russ.).

6. Guseva, T. I. (2023). Study of the effect of fruit and vegetable mixture on the quality of bakery products. *Agricultural Technologies of Central Russia*. 3 (29). 25-32. (in Russ.).

7. Bormotov, A. N. (2022). Optimization of the particle size distribution of composite materials. *International Scientific Research Journal*, (5-1 (119)), 17-22. (in Russ.).

8. Brusenkov, A. V., & Ilyina, I. E. (2019). Improving the efficiency of cooking root vegetables. *Nauka v tsentralnoi Rossii [Science in Central Russia]*, (2), 91-97. (in Russ.).

9. Chupshev, A. V. (2021). Substantiation of a promising operational scheme for the preparation of mixed feed concentrates in the conditions of livestock enterprises. *Niva of the Volga region*, (3 (60)), 135-141. (in Russ.).

10. Starshov, D. G., Sedelkin, V. M., Starshov, G. I., & Nikitin, A. I. (2017). Research and development of an automated device for dosing and mixing bulk components. *XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus*. 58-63. (in Russ.).

11. Pronin, A. N. (2023). Classification of metering devices and their key role in production. *Bulletin of NGIEI*. (9 (148)), 43-50. (in Russ.).

12. Vtoryi, S. V. (2021). Algorithm of the process of automatic preparation of a mixture of liquid ZTSM for young cattle. *Agroecoengineering*, (1 (106)). 118-126. (in Russ.).

13. Vedishchev, S., Holshev, N., Prokhorov, A., Glazkov, A. & Vyguzov M. (2023). Sampling when assessing the quality of mixing. *Science in the Central Russia*, 3 (63), С. 48-56. (in Russ.).

14. Khlystunov, V. F., Braginets, S. V., Alferov, A. S., & Chernutsky, M. V. (2018). Influence of structural and kinematic parameters on the energy intensity of the process in an inclined screw mixer. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*, 18(4),. 408-413. (in Russ.).

15. Vedishchev, S., Zavrazhnov, A., Prokhorov, A. & Lozhkina E. (2022). Overview and analysis of mixing device designs. *Science in the Central Russia*, 4 (58), С. 91-101. (in Russ.).

16. Sinenkov, D. V. (2019). Laboratory research into screw feeder for sowing grain seeds. *Volga Region Farmland*, 2, 83-87. (in Russ.).

17. Vedishchev, S., Zavrazhnov, A., Prokhorov, A. & Braliev, M. (2019). Justification of the parameters of the discharge window of the drum dispenser. *Science in the Central Russia*, 5 (41), 16-26. (in Russ.).

18. Al-Maidi, A. A. H., Himoud, M. S., Kaliganov, A. C., Teryushkov, V. P., Chupshev, A. V., Konovalov, V. V. & Rodionov, Y. V. (2021). Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*, 16, 1769-1774.

19. Machnev, A. V., Kukharev, O. N., Machneva, O. Yu., Machnev, V. A., Horev, P. N. & Yashin, A. V. (2019). Research of mobitox super seed dressing machine, fitted with a two disc distributor and a two-level reflective device. *Volga Region Farmland*, 4 (4), 90-93. (in Russ.).

20. Pavlov, P. I., Dzyuban, I. L., & Vezirov, A. O. (2019). Justification of parameters of the auger loader-mixer of organomineral compost. *Agroengineering*, (6 (94)), 4-9. (in Russ.).

21. Mansur, V. & Pershin, V. F. (2023). Apparatus for preparing a mixture from components prone to segregation: current status and prospects. Part II. *Transactions TSTU*, 29, 1, 139-152. (in Russ.).

22. Abdurakhmonov, S. M., Sayitov, Sh. S. U., Ugli, S. A. A., & Abdumutalov, D. A. U. (2021). Automatic belt dispensers for cement production. *Universum: Technical Sciences*, (10-1 (91)), 80-82. (in Russ.).

23. Konovalov, V. V. (2002). Calculation of equipment and technological lines for feed preparation (examples of computer calculations). (in Russ.).

**Информация об авторах:**

А. А. Попков – аспирант;

В. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор;

В. Ю. Зайцев – кандидат технических наук, доцент;

М. В. Донцова – кандидат технических наук, доцент.

**Information about the authors:**

A. A. Popkov – postgraduate student;

V. V. Konovalov – Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Yu. Zaitsev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

M. V. Dontsova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 6.03.2024; одобрена после рецензирования 4.07.2024; принята к публикации 9.07.2024.  
The article was submitted 6.03.2024; approved after reviewing 4.07.2024; accepted for publication 9.07.2024.