

11. Hashimi S., Komatineni S., Maklin D. Razrabotka prilozhenij dlja Android. – SPb.: Piter, 2011. – 738 s.
12. Varakin M. Razrabotka mobil'nyh prilozhenij pod Android. – M.: Izd-vo MGTU, 2012. – 128 s.
13. Sajt po prakticheskim primeram. – URL: <http://developer.alexanderklimov.ru/android> (data obrashhenija: 10.11.2015).
14. Martin R. Chistyj kod: sozdanie, analiz i refaktoring. – SPb.: Piter, 2013. – 464 s.
15. Fauler M. Refaktoring. Uluchshenie sushhestvujushhego koda. – M.: Simvol-Pljus, 2008. – 432 s.

УДК 631.363

А.В. Алексеев

АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЗАТАРОЧНОГО УСТРОЙСТВА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ ЛОПАСТНОГО РОТОРА

А.В. Алексеев

ANALYSIS OF WORKFLOW PACKAGING DEVICE WITH A HORIZONTAL ROTATION AXIS OF BLADED ROTOR

А.В. Алексеев – канд. техн. наук, доц. каф. механики и инженерной графики Самарского государственного университета путей сообщения, г. Самара. E-mail: antonvladim@mail.ru

A.V. Alekseev – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Mechanics and Engineering Drawing, Samara State University of Means of Communication, Samara. E-mail: antonvladim@mail.ru

Затарочные устройства относятся к подъемно-транспортным машинам, предназначенным для перегрузки бестарно хранящегося сыпучего груза в малую по объему тару. Проведенный автором анализ рабочего процесса затарочных устройств по ряду комбикормовых предприятий Самарской, Оренбургской и Ульяновской областей выявил ряд проблем, снижающих их эффективность. Основные из них: закупорка дозирующих патрубков, наличие застойных зон сыпучего груза в полости накопительного бункера, образование статических сводов над транспортирующим органом, колебание производительности и чрезмерное энергопотребление. Наибольшие перспективы для совершенствования имеют затарочные устройства с лопастным питателем. Указанный тип затарочных устройств имеет самую простую конструкцию, достаточно высокую производительность и низкую стоимость. Целью настоящих исследований является повышение эффективности процесса загрузки в тару комбикормов и их компонентов за счет совершенствования конструкции затарочного устройства. В статье приводятся теоретические исследования характера выпуска сыпучего груза при эксплуата-

ции разработанного автором затарочного устройства с горизонтальной осью вращения лопастного ротора. По результатам теоретических исследований получены аналитические выражения, описывающие характер поступления сыпучего груза к транспортирующему органу. Разработаны неравенства, представляющие достаточное условие отсутствия застойных зон в полости накопительного бункера, а также отсутствия закупорки дозирующего патрубка. Обоснована методика выбора основных параметров предлагаемого затарочного устройства. Экспериментальная проверка, а также производственные испытания предлагаемого затарочного устройства подтверждают основные результаты теоретических исследований. Истечение сыпучего груза из бункера при работе затарочного устройства происходит подобно жидкости – без формирования сводов и застойных зон. Расхождение расчетных и опытных значений производительности затарочного устройства не превышает 4 %.

Ключевые слова: подъемно-транспортные машины, сыпучие грузы, затарочное устройство, лопастной ротор, выпуск сыпучих грузов.

Packaging devices belong to the lifting and transport machineries intended for overload of bulk storage of granular cargo in a small volume container. Conducted by the author workflow analyzes of packaging devices for a number of feed enterprises in Samara, Orenburg and Ulyanovsk regions revealed a number of problems that reduce their effectiveness. The main ones are: obstruction of the dosing nozzles, the presence of stagnant zones in the cavity of a granular cargo storage bin, static formation arches over the transporting body, the fickleness of productivity and excessive energy consumption. The greatest prospects for improvement are packaging devices with bladed feeder. This type of packaging devices has the most simple construction, fairly high productivity and low cost. The aim of this study was to improve the efficiency of loading in a container of mixed fodders and their components at the expense of improving the construction of the packaging devices. In the article the theoretical studies of character of release of granular cargo during operation developed by the author packaging device with a horizontal rotation axis of bladed rotor were carried out. The analytical expressions describing nature of feed of granular cargo into the transportation organ were received according to the results of theoretical research. Inequalities, representing a sufficient condition for the absence of stagnant zones in the cavity of the storage bin and the absence of the dosing nozzle obstruction were developed. The technique of selecting the basic parameters of the intended packaging device was worked out. Experimental verification and production testing of the proposed packaging device confirm the main results of theoretical research. Unloading of granular cargo from the bunker, during the operation of the packaging device resembles liquid without formation of the arches and stagnant zones. Calculated discrepancies and experimental values of the packaging device performance do not exceed 4 %.

Keywords: *lifting and transport machinery, granular cargos, packaging device, blade rotor, issue granular cargos.*

Введение. Лидирующее место в технологическом оборудовании любого комбикормового завода или предприятия-поставщика сырья для него принадлежит подъемно-транспортным машинам для выполнения гру-

зовых операций с сыпучими грузами – комбикормами и их компонентами, находящимися в рассыпном или гранулированном виде [1].

Важной разновидностью указанного типа подъемно-транспортных машин являются затарочные устройства – технологические машины периодического действия, предназначенные для перегрузки бестарно хранящегося сыпучего груза в малую по объему тару. Затаривание сыпучих грузов может осуществляться как непосредственно на складе готовой продукции предприятия-изготовителя, так и на перегрузочном складе (элеваторе) [2, 3].

Опыт применения известных типов затарочных устройств выявил ряд проблем, снижающих их эффективность. Основные из них: закупорка дозирующих патрубков, наличие застойных зон сыпучего груза в полости накопительного бункера, образования статических сводов над транспортирующим органом, колебание производительности и чрезмерное энергопотребление [4–6].

Наиболее перспективными являются затарочные устройства с лопастным питателем. Указанный тип затарочных устройств, будучи оборудован механическими сводообрушителями, имеет самую простую конструкцию, низкую стоимость и большой нереализованный потенциал для совершенствования.

Цель исследования: повышение эффективности процесса загрузки в тару комбикормов и их компонентов за счет совершенствования конструкции затарочного устройства.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- 1) разработать конструктивно-технологическую схему усовершенствованного затарочного устройства;
- 2) провести теоретические исследования процесса выпуска сыпучего груза при работе предлагаемого затарочного устройства;
- 3) разработать неравенства, представляющие достаточное условие отсутствия застойных зон в полости накопительного бункера, а также отсутствия закупорки дозирующего патрубка.

Методы исследования. Анализ исследований в области хранения, погрузки-выгрузки и транспортировки сыпучих грузов, а также классификация и анализ работы существующих затарочных устройств послужили основой для

разработки конструктивно-технологической схемы усовершенствованного затарочного устройства с горизонтальной осью вращения лопастного ротора (рис. 1) [7–9].

Затарочное устройство состоит из емкости 1, содержащей выпускную воронку 2, лопастного ротора 3 и рыхлителя 4, выполняющего функции сводообрушителя и очищающего одну из стенок выпускной воронки 2. Емкость 1 и выпускная воронка 2 образуют в целом накопительный бункер.

Лопастной ротор 3 зафиксирован на валу 6, который соединен с приводом вращения. В отличие от известных конструкций, в предлагаемом затарочном устройстве лопастной ротор 3 смещен относительно середины длины l_n (центра) выпускного отверстия к его краю.

Это исключает необоснованные энергозатраты, а также торможение потока груза при повороте (подъеме) каждой лопасти ротора из горизонтального положения в вертикальное.

Лопастной ротор 3 и вал размещены в корпусе 5, на который сверху устанавливается выпускная воронка 2 и емкость 1. Для дозированного выпуска сыпучего груза из накопительного бункера служит патрубок 7.

Рыхлитель 4 размещен в полости выпускной воронки 2 параллельно одной из ее боковых стенок и допускает движение относительно указанной стенки. Это способствует эффективной зачистке ее внутренней поверхности, включая периферийные участки, находящиеся в области ребер. В результате исключается образование застойных зон и статических сводов, а подача сыпучего груза к транспортирующему органу (лопастному ротору) происходит равномерно и непрерывно.

Движение рыхлителя 4 за один проход в полости выпускной воронки 2 можно условно разделить на три фазы: фаза подъема, фаза прямолинейного движения, фаза опускания.

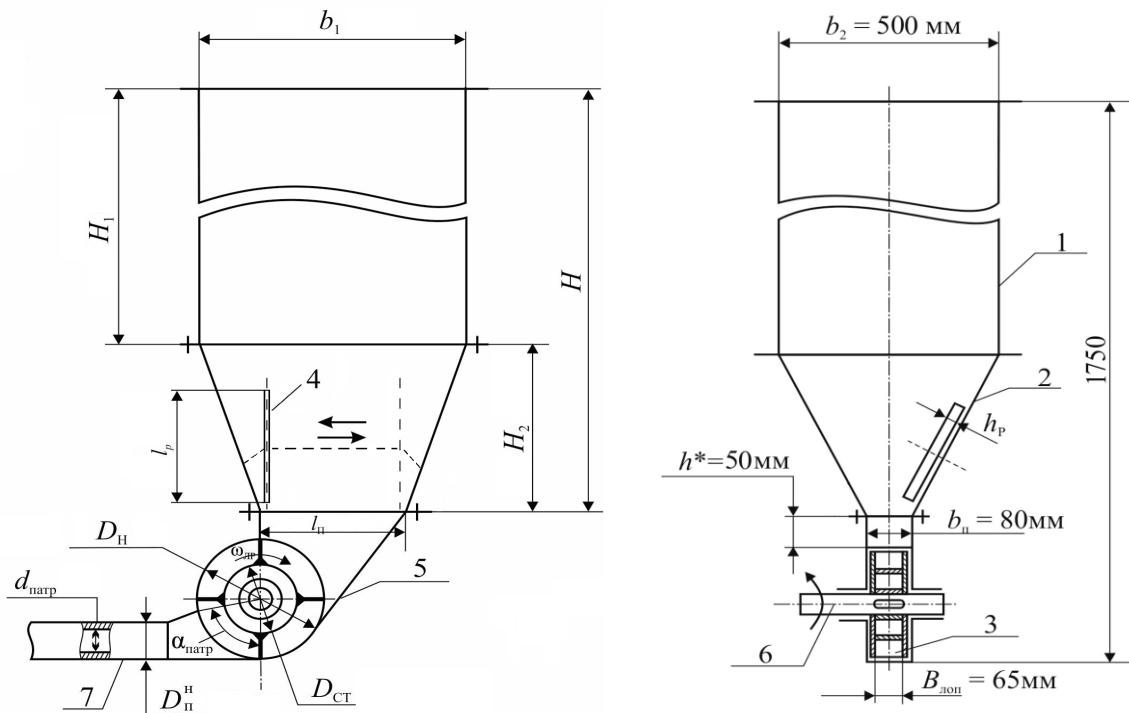


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема предлагаемого затарочного устройства с горизонтальной осью вращения лопастного ротора: 1 – емкость; 2 – выпускная воронка; 3 – лопастной ротор; 4 – рыхлитель; 5 – корпус; 6 – вал; 7 – дозирующий патрубок

На фазе подъема рыхлитель 4 совершает плоскопараллельное движение, что обеспечивает его переход из наклонного положения (па-

раллельно ребру выпускной воронки) в положение, перпендикулярное одной из боковых сторон выпускного отверстия.

На фазе прямолинейного движения рыхлитель 4 движется поступательно относительно боковой стенки выпускной воронки 2. Фаза опускания – финальный этап движения рыхлителя 4 за один его проход в полости выпускной воронки 2. На этой фазе рыхлитель 4 совершает плоскопараллельное движение, что обеспечивает его переход в наклонное положение, параллельное ближайшему ребру выпускной воронки 2.

Затарочное устройство работает следующим образом. Накопительный бункер заполняется сыпучим грузом. Дозирующий патрубок 7 вводится в горловину порожней тары. Включается привод вращения лопастного ротора 3 и привод передвижения рыхлителя 4. Сыпучий груз, захватываемый лопастями ротора 3, подается в приемное окно дозирующего патрубка 7, а затем поступает в тару. Рыхлитель 4 непрерывно совершает проходы в полости выпускной воронки от одной ее торцевой стенки до другой.

После полного заполнения тары привод вращения лопастного ротора 3 выключается и подача сыпучего груза в тару прекращается. Рыхлитель 4 продолжает непрерывно совершать проходы в полости выпускной воронки 2. Заполненная тара отводится и устанавливается порожняя. Описанный выше процесс повторяется.

Теоретические исследования. Для разработкой конструктивно-технологической схемы затарочного устройства автором были проведены теоретические исследования характера выпуска сыпучего груза.

Производительность предлагаемого затарочного устройства определяется из выражений [10, 11]

$$Q_{3y} = 0,5\omega_{\text{лр}}(r_{\text{н}}^2 - r_{\text{ст}}^2)B_{\text{лоп}}\rho K_{\text{в}} K_{\text{з}}, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

или

$$Q_{3y}^* = Q_{3y} / \rho, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где $r_{\text{н}}$, $r_{\text{ст}}$ – наружный и внутренний радиус ротора, м; $B_{\text{лоп}}$ – ширина лопасти ротора, м; ρ – плотность сыпучего груза, кг/м³; $K_{\text{в}} = 0,95$ – коэффициент, учитывающий уменьшение полезного объема ячеек ротора за счет наличия лопастей; $K_{\text{з}} = 0,2 \div 0,3$ – коэффициент заполнения межлопастного пространства ротора за один его оборот.

Опишем физическую картину истечения сыпучего груза при работе предлагаемого затарочного устройства (рис. 2). Разделяем условно накопительный бункер на две зоны – зону А, где происходит вертикальное истечение сыпучего груза со средней скоростью $V_{\text{в}}^*$, и зону Б, где вертикальному истечению препятствует задняя стенка корпуса, расположенная под углом $\alpha_{\text{ск}}^*$ к горизонту.

В зоне Б имеет место боковое истечение со средней скоростью [10]

$$V_{\text{б}}^* = V_{\text{в}}^* \sin \alpha_{\text{ск}}^*. \quad (3)$$

Вертикальное истечение происходит в секторе радиусом $r_{\text{н}}$ и углом $\varphi_{\text{в}}^* = \pi/2$ рад. Боковое истечение – в секторе с тем же радиусом $r_{\text{н}}$ и углом $\varphi_{\text{б}}^*$:

$$\varphi_{\text{б}}^* = \varphi_{\text{сум}} - \varphi_0, \quad (4)$$

где $\varphi_{\text{сум}}$ – суммарный угол, характеризующий поступление сыпучего груза к лопастному ротору, °,

$$\varphi_{\text{сум}} = \pi - \alpha_{\text{ск}}^*, \quad (5)$$

где φ_0 – угол, характеризующий начало поступления сыпучего груза к лопастному ротору при боковом истечении.

Величина угла φ_0 не зависит от числа $Z_{\text{лр}}$ лопастей ротора и определяется графическим путем. Для случая $\alpha_{\text{ск}}^* = 55 \div 70^\circ$ с достаточной для практических расчетов точностью можно принять $\varphi_0 = 45^\circ$. Тогда, при $\alpha_{\text{ск}}^* = 55^\circ$, углы $\varphi_{\text{в}}^*$, $\varphi_{\text{сум}}$ имеют следующие значения: $\varphi_{\text{в}}^* = 80^\circ$, $\varphi_{\text{сум}} = 125^\circ$.

Скорость вертикального потока $V_{\text{в}}^*$, м/с, определяется по формуле

$$V_{\text{в}}^* = \frac{Q_{3y}}{3,6 \rho B_{\text{лоп}} (r_{\text{н}} + b_{\text{к}}^* \sin^2 \alpha_{\text{ск}}^*)}, \quad (6)$$

где $b_{\text{к}}^*$ – конструктивный размер корпуса, характеризующий границу между вертикальным и боковым потоками истечения, м.

Параметр b_k^* , м, для принятой длины l_n , м, прямоугольного выпускного отверстия, определяется по формуле

$$b_k^* = l_n - r_n = r_n \left(\frac{1 + \cos \alpha_{ск}^*}{\sin \alpha_{ск}^*} - 1 \right). \quad (7)$$

Будем рассматривать вертикальное (зона А) и боковое (зона Б) истечения раздельно и независимо друг от друга. Перемещение нижнего слоя сыпучего груза при выпуске из накопительного бункера описывается уравнениями [12]:

вертикальное истечение

$$S_B = V_B^* t + gt^2/2; \quad (8)$$

боковое истечение

$$S_B = S_B \sin \alpha_{ск}^*. \quad (9)$$

Рассмотрим вертикальное истечение. Примем для наглядности число лопастей ротора равным $Z_{лр} = 4$, а его угловую скорость – равной $\omega_{лр}^1$.

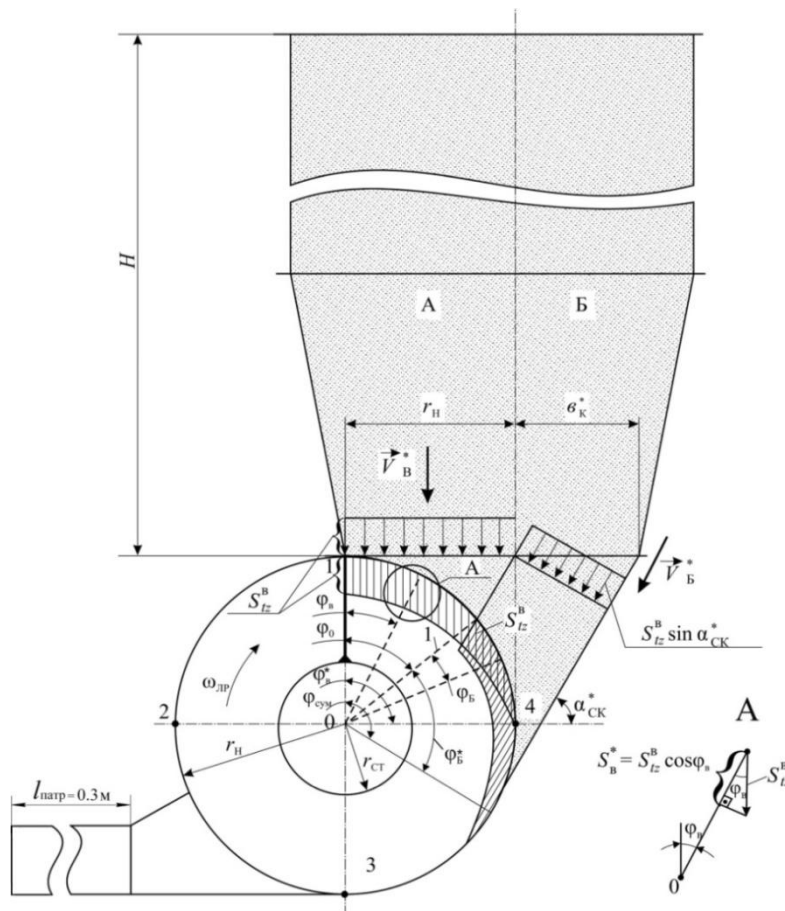


Рис. 2. Анализ рабочего процесса затарочного устройства с горизонтальной осью вращения лопастного ротора при $Z_{лр} = 4$

Пусть лопасть 1 находится в верхнем вертикальном (исходном) положении. При угловом перемещении ротора лопасть 1 срезает вертикальный поток сыпучего груза в полости 1–4. С левой стороны лопасти 1 происходит вертикальное истечение сыпучего груза в следующую полость 1–2.

Заполнение полости 1–2 происходит по дуге окружности радиусом r_n , стягивающей исходное (вертикальное) и текущее $0 < \varphi_b \leq 90^\circ$ положения лопасти 1. Процесс среза и процесс истечения сыпучего груза происходят одновременно, непрерывно и независимо друг от друга.

¹В случае $Z_{лр} \neq 4$ выпуск сыпучего груза из накопительного бункера имеет аналогичный характер.

Поперечное сечение срезаемого лопастью 1 слоя груза изображено вертикальной штриховкой на рисунке 2. Как следует из приведенной расчетной схемы, срез вертикального потока сыпучего груза всегда происходит на одной и той же высоте $S_{t_z}^B$, определяемой из уравнения (8) при $t = t_{1/z} = 2\pi / \omega_{\text{лр}} Z_{\text{лр}}$.

Угловая скорость $\omega_{\text{лр}}$ в этом случае находится из выражения (1) для заданных значений $Q_{\text{зв}}$, $r_{\text{ст}}$, $r_{\text{н}}$.

Конфигурация срезаемого слоя такова, что при любом положении лопасти 1, определяемом углом Φ_B , толщина срезаемого слоя в радиальном направлении равна

$$S_B^* = S_{t_z}^B \cos \Phi_B, \quad (10)$$

где $S_{t_z}^B$ – вертикальное перемещение частицы груза за время $t_{1/z}$.

Площадь поперечного сечения слоя груза, срезаемого лопастью 1 при повороте на угол

$\Phi_B^* = \frac{\pi}{2}$, определяется интегралом

$$F_{\text{сеч}}^B = \int_0^{\pi/2} S_B^* r_{\text{н}} d\Phi_B = \int_0^{\pi/2} r_{\text{н}} S_{t_z}^B \cos \Phi_B d\Phi_B = S_{t_z}^B r_{\text{н}}. \quad (11)$$

То есть искомая площадь поперечного сечения равна площади прямоугольника со сторонами $r_{\text{н}}$ и $S_{t_z}^B$.

После поворота лопасти 1 на угол $\Phi_B^* = \pi/2$ срез вертикального потока сыпучего груза этой лопастью прекращается. В верхнем вертикальном (исходном) положении теперь находится лопасть 2. Характер среза вертикального потока груза лопастью 2 и другими лопастями ротора аналогичен случаю, описанному для лопасти 1.

Масса сыпучего груза, кг, срезаемого одной лопастью ротора при повороте на угол Φ_B^* при вертикальном истечении,

$$m_A = K_p \rho S_{t_z}^B r_{\text{н}} B_{\text{лоп}}, \quad (12)$$

где K_p – опытный коэффициент, учитывающий разуплотнение частиц сыпучего груза при их ус-

коренном истечении из накопительного бункера. Значение K_p не постоянно и зависит от скорости

V_B^* и перемещения $S_{t_z}^B$.

Для устранения возможности торможения потока сыпучего груза при срезе его лопастями ротора, принятые значения радиусов $r_{\text{н}}$ и $r_{\text{ст}}$ должны удовлетворять неравенству

$$S_{t_z}^B < 0.75(r_{\text{н}} - r_{\text{ст}}), \quad (13)$$

где 0.75 – коэффициент запаса.

Неравенство (13) является достаточным условием отсутствия застойных зон сыпучего груза в полости накопительного бункера. Выполнение указанного неравенства при работе предлагаемого затарочного устройства обеспечивается за счет введения в формулу (1) коэффициента K_3 , учитывающего неполное заполнение сыпучим грузом межлопастного пространства ротора.

Наличие в формуле (12) коэффициента K_p обусловлено тем, что действительная плотность частиц, образующих вертикальный поток сыпучего груза, не является величиной постоянной. Она уменьшается по мере удаления нижнего слоя сыпучего груза от выпускного отверстия. Причина этого – ускоренный характер истечения сыпучего груза из накопительного бункера.

Для определения закона изменения плотности сыпучего груза в пределах потока истечения требуется проведение сложных экспериментов. Пренебрежение разуплотнением частиц сыпучего груза и принятие в формуле (12) значения $K_p=1$ ведет к грубым ошибкам при расчете массы m_A .

Для устранения погрешностей в определении массы m_A примем условно, что вертикальное истечение сыпучего груза из накопительного бункера происходит с постоянной скоростью V_B^* . Следовательно, правым слагаемым в уравнении (12) можно пренебречь.

В этом случае $K_p = 1$ и фактическая плотность частиц сыпучего груза в вертикальном потоке истечения равна насыпной плотности ρ сыпучего груза.

Расчетная высота среза частиц при вертикальном истечении, м, определяется по формуле

$$S_{t_z}^B = V_B^* t_{1/z} = V_B^* \frac{2\pi}{\omega_{лр} Z_{лр}}. \quad (14)$$

Анализ формулы (14) показывает, что величина $S_{t_z}^B$ прямо пропорциональна скорости V_B^* и обратно пропорциональна угловой скорости $\omega_{лр}$ ротора и числу $Z_{лр}$ его лопастей.

Рассмотрим боковое истечение сыпучего груза из зоны Б накопительного бункера. При положении лопасти 1, определяемом углом φ_0 , в полость 1–2 ротора начинает дополнительно поступать сыпучий груз, сползающий по задней стенке корпуса. Заполнение полости 1–2 при боковом истечении происходит по дуге радиусом r_n , стягивающей исходное (угол φ_0) и текущее ($\varphi_0 < \varphi_B \leq \varphi_{сум} - \varphi_0$) положения лопасти 1.

Физическая картина бокового истечения та же, что и у вертикального истечения. Однако имеют место некоторые различия.

Перемещение частиц сыпучего груза при боковом истечении за время $t_{1/z}$, м, определяется по следующей формуле

$$S_{t_z}^B = S_{t_z}^B \sin \alpha_{ск}^*. \quad (15)$$

Следовательно, площадь поперечного сечения слоя груза, срезаемого лопастью 1 при повороте на угол φ_B^* , равна площади прямоугольника со сторонами $b_k^* \sin \alpha_{ск}^*$ и $S_{t_z}^B \sin \alpha_{ск}^*$.

Масса сыпучего груза, кг, срезаемого одной лопастью ротора при повороте на угол φ_B^* при боковом истечении:

$$m_B = \rho B_{лоп} S_{t_z}^B b_k^* \sin^2 \alpha_{ск}^*. \quad (16)$$

Учитывая выражения (12), (16), определим суммарную массу сыпучего груза, подаваемого каждой лопастью ротора, кг, в приемное окно дозирующего патрубка:

$$m_{порц}^* = m_A + m_B = \rho B_{лоп} S_{t_z}^B (r_n + b_k^* \sin^2 \alpha_{ск}^*). \quad (17)$$

Анализ формулы (17) показывает, что величина массы $m_{порц}^*$ обратно пропорциональна угловой скорости $\omega_{лр}$ ротора и числу $Z_{лр}$ его лопастей.

Суммарная масса груза, поступающая в приемное окно дозирующего патрубка за время $t_{об}$ одного полного оборота ротора, кг, определяется по формуле

$$m_{об}^* = Z_{лр} m_{порц}^* = \rho B_{лоп} V_B^* t_{об} (r_n + b_k^* \sin^2 \alpha_{ск}^*). \quad (18)$$

Анализ формулы (18) показывает, что величина массы $m_{об}^*$ обратно пропорциональна угловой скорости $\omega_{лр}$ ротора и при этом не зависит от числа $Z_{лр}$ его лопастей.

Выполнение неравенства (13), однако, не гарантирует свободный (без образования заторов) проход потока сыпучего груза в полости дозирующего патрубка. Для исключения возможности закупорки патрубка необходимо знать параметры движения потока сыпучего груза после схода с лопастей ротора [13–15].

Средняя скорость потока на вход дозирующего патрубка V_0 , м/с, определяется по формуле

$$V_0 = \frac{\omega_{лр} (D_n + D_{ст})}{4}, \quad (19)$$

где D_n , $D_{ст}$ – наружный и внутренний диаметр лопастного ротора: $D_n = 2r_n$, $D_{ст} = 2r_{ст}$, м (см. рис. 1).

Достаточное условие отсутствия заторов на входе в приемное окно дозирующего патрубка имеет следующий вид:

$$\frac{2 B_{лоп} (D_n - D_{ст})}{\pi d_{патр}^2} \leq K_3', \quad (20)$$

где $K_3' = 0,5 \div 0,6$ – коэффициент заполнения поперечного сечения патрубка; $d_{патр}$ – внутренний диаметр дозирующего патрубка, м.

В случае нарушения неравенства (20) необходимо в технологически допустимых пределах увеличить значения диаметров $d_{патр}$ или $D_{ст}$.

Для исключения образования заторов по длине патрубка достаточно, чтобы средняя ско-

рость потока на выходе из патрубка $V_{\text{вых}}$ удовлетворяла следующему неравенству:

$$\frac{4Q_{3y}}{3.6\pi r V_{\text{вых}} d_{\text{патр}}^2} \leq K_3'', \quad (21)$$

откуда требуемая скорость потока на выходе из патрубка

$$V_{\text{вых}} \geq \frac{Q_{3y}}{0.9 K_3'' \pi r d_{\text{патр}}^2}, \quad (22)$$

где $K_3'' \leq 0,8$ – коэффициент заполнения поперечного сечения патрубка на выходе из него потока.

Для принятых значений $\omega_{\text{лр}}$, $D_{\text{н}}$, $D_{\text{ст}}$, $l_{\text{патр}}$ скорость потока на выходе из патрубка, м/с, определяется из выражений [16–18]

$$V_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{a^2 + V_0^2}{e^{2l_{\text{патр}}/\lambda}} - a^2}, \quad (23)$$

$$a = \sqrt{\frac{gf_{\text{пр}}}{\lambda}}, \quad (24)$$

где λ – коэффициент парусности частиц груза, м⁻¹; $f_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент трения, учитывающий потери скорости частиц при их взаимном соударении, а также при трении о внутреннюю поверхность патрубка, $f_{\text{пр}} = 1,25 f_{\text{ст}}$, $f_{\text{ст}}$ – коэффициент трения сыпучего груза о внутреннюю поверхность патрубка.

В случае нарушения неравенства (22) необходимо в технологически допустимых пределах увеличить диаметр $d_{\text{патр}}$ дозирующего патрубка или уменьшить его длину $l_{\text{патр}}$. Другим вариантом выполнения неравенства (22) является увеличение угловой скорости ротора $\omega_{\text{лр}}$, что приведет к росту производительности затарочного устройства.

Результаты исследования. Проведенные автором теоретические исследования позволили разработать методику выбора рациональных параметров предлагаемого затарочного устройства (см. рис. 1).

Значения $d_{\text{патр}} = 53$ мм, $l_{\text{патр}} = 300$ мм принимаются, исходя из стандартных размеров приемной горловины мешочной тары. Размер $B_{\text{лоп}} =$

$= 65$ мм назначается конструктивно из условия $B_{\text{лоп}} = d_{\text{патр}} + (10 \div 15)$ мм.

Соотношение диаметров $D_{\text{н}} = 0,250$ м и $D_{\text{ст}} = 0,210$ м определяется из условия отсутствия заторов на входе в приемное окно дозирующего патрубка (см. неравенство (20)). При этом наружный диаметр $D_{\text{н}} = 0,250$ м назначается конструктивно, опираясь на существующие аналоги.

Требуемая угловая скорость $\omega_{\text{лр}}$ ротора зависит от установленной величины производительности затарочного устройства и определяется из выражений (1) или (2). Для принятого значения $\omega_{\text{лр}}$ определяются скорости V_0 , $V_{\text{вых}}$ (формулы (19), (23), (24)), а затем проверяется выполнение достаточного условия отсутствия заторов по длине дозирующего патрубка (неравенство (22)).

В таблице приведены расчетные значения производительности Q_{3y} , кг/с, предлагаемого затарочного устройства при варьировании угловой скорости лопастного ротора $\omega_{\text{лр}}$. В качестве изучаемых материалов приняты рассыпной комбикорм по рецепту СК – 1 (для холостых, супоросных свиноматок, хряков, ремонтных свинок), а также основные его компоненты: отруби пшеничные, мука травяная, шрот подсолнечный, мел дисперсный.

При $\omega_{\text{лр}} = 60$ с⁻¹ неравенство (22) не выполняется, поэтому вместо значений Q_{3y} в соответствующей строке таблицы поставлены прочерки. Это означает, что для принятых размеров $d_{\text{патр}} = 53$ мм и $l_{\text{патр}} = 300$ мм при $\omega_{\text{лр}} \leq 60$ с⁻¹ будет происходить закупорка дозирующего патрубка. Свободный выпуск сыпучего груза (без образования заторов) возможен только при $\omega_{\text{лр}} \geq 60$ с.

Экспериментальная проверка, а также производственные испытания предлагаемого затарочного устройства подтверждают основные результаты теоретических исследований. Истечение сыпучего груза из бункера при работе затарочного устройства происходит подобно жидкости – без формирования сводов и застойных зон. Расхождение в расчетных и опытных значениях производительности затарочного устройства не превышает 4 %. При $\omega_{\text{лр}} > 80$ с⁻¹ полностью исключается возможность закупорки дозирующего патрубка.

Расчетная зависимость $Q_{з\text{у}}$ ($\omega_{\text{лр}}$)

$\omega_{\text{лр}}, \text{с}^{-1}$	Сыпучий груз				
	Отруби пшеничные $\rho = 270 \text{ кг/м}^3$ $f_{\text{ст}} = 1,15$ $\lambda = 1,1 \text{ м}^{-1}$	Мука травяная $\rho = 380 \text{ кг/м}^3$ $f_{\text{ст}} = 0,70$ $\lambda = 1,3 \text{ м}^{-1}$	Шрот подсолнечный $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ $f_{\text{ст}} = 1,00$ $\lambda = 0,8 \text{ м}^{-1}$	Мел дисперсный $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ $f_{\text{ст}} = 0,90$ $\lambda = 0,5 \text{ м}^{-1}$	Рассыпной комбикорм $\rho = 440 \text{ кг/м}^3$ $f_{\text{ст}} = 0,65$ $\lambda = 1,6 \text{ м}^{-1}$
60	–	–	–	–	–
80	0,766	1,079	1,704	3,124	1,250
100	0,958	1,349	2,130	3,906	1,563
120	1,150	1,619	2,556	4,687	1,875
140	1,342	1,881	2,983	5,468	2,187

Выводы

1. Разработана конструктивно-технологическая схема усовершенствованного затарочного устройства с вертикальной осью вращения лопастного ротора.

2. По результатам теоретических исследований предлагаемого затарочного устройства получены аналитические выражения, описывающие характер поступления сыпучего груза к транспортирующему органу. Разработаны неравенства, представляющие достаточное условие отсутствия застойных зон в полости накопительного бункера, а также отсутствия закупорки дозирующего патрубка. Обоснована методика выбора основных параметров предлагаемого затарочного устройства.

3. Экспериментальные исследования, а также производственная проверка предлагаемого затарочного устройства выявили его высокую эффективность и работоспособность. Расхождение в расчетных и опытных значениях производительности затарочного устройства не превышает 4 %.

Литература

1. Красников В.В. Подъемно-транспортные машины в сельском хозяйстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1973. – 464 с.
2. Алексеев А.В. Анализ структуры современных складов сыпучих грузов // Наука и техника транспорта. – 2013. – № 3. – С. 84–87.

3. Совершенствование затарочных устройств с винтовым питателем в логистических схемах перевозки сыпучих грузов / Междунар. ин-т рынка. – Самара, 2007. – 108 с.
4. Дудкин Е.П., Побежимов Н.Ф., Алексеев А.В. Исследование причин нестабильной работы устройств для заполнения сыпучих грузов в тару // Изв. Самар. науч. центра Российской академии наук. Спец. вып. – Самара, 2005. – С. 215–221.
5. Алексеев А.В., Шупиков Р.С. Анализ причин, снижающих эффективность работы затарочных устройств с горизонтальной осью вращения лопастного ротора // Транспорт: наука, техника, управление. – 2014. – № 11. – С. 37–39.
6. Алексеев А.В. Классификация и принцип работы механических устройств для заполнения клапанных мешков насыпными грузами // Актуальные агроинженерные проблемы АПК: сб. науч. тр. СГСХА. – Самара: Изд-во СГСХА, 2002. – С. 187–189.
7. Пат. на полезную модель 65032 МПК 7 В65 G 65/46. Бункерное устройство / Дудкин Е.П., Алексеев А.В. Заяв. 30.03.2007 г., опубл. 27.07.2007, Бюл. № 21.
8. Дудкин Е.П., Алексеев А.В. К вопросу совершенствования рабочего процесса затарочных устройств с горизонтальной осью вращения лопастного ротора // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 11. – С. 36–41.

9. Дудкин Е.П., Алексеев А.В. Совершенствование конструкции затарочных устройств с горизонтальным расположением лопастного питателя. // Изв. Самар. науч. центра РАН. – Т. 9, № 3 (21). – 2007. – С. 809–812.
10. Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С. Бункерные устройства. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.
11. Алексеев А.В. Затарочные устройства сыпучих грузов: конструкция, принцип работы и перспективы совершенствования / Междунар. ин-т рынка. – Самара, 2011. – 128 с.
12. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Ч. 1, 2: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1984.
13. Дудкин Е.П., Алексеев А.В. Исследование причин закупоривания выпускных патрубков в бункерных устройствах с лопастным питателем // Надежность и качество: тр. междунар. симпозиума. Т. 2. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2008. – С. 344–346.
14. Алексеев А.В. Исследование причин нарушения проходимости дозирующих патрубков в затарочных устройствах с лопастным питателем // Бюл. транспортной информации. – 2011. – № 9. – С. 36–38.
15. Дудкин Е.П., Алексеев А.В. Исследование движения тел по наклонной плоскости // Надежность и качество: тр. междунар. симпозиума. Т. 1. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – С. 231–234.
16. Дудкин Е.П., Алексеев А.В. Исследование движения сыпучего груза по гравитационным транспортирующим устройствам // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 9. – С. 28–35.
17. Алексеев А.В. К вопросу определения рациональных конструктивных параметров гравитационных транспортирующих устройств для загрузки сыпучих грузов в транспортные средства // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 3. – С. 60–67.
18. Алексеев А.В. Улучшение эксплуатационных показателей затарочных устройств с лопастным питателем / Междунар. ин-т рынка. – Самара, 2012. – 84 с.

Literatura

1. Krasnikov V.V. Pod'emno-transportnye mashiny v sel'skom hozjajstve. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 1973. – 464 s.
2. Alekseev A.V. Analiz struktury sovremennykh skladov sypuchih gruzov // Nauka i tehnika transporta. – 2013. – № 3. – S. 84–87.
3. Sovershenstvovanie zatarochnykh ustrojstv s vintovym pitatelem v logisticheskikh shemah perevozki sypuchih gruzov / Mezhdunar. in-rynka. – Samara, 2007. – 108 s.
4. Dudkin E.P., Pobezhimov N.F., Alekseev A.V. Issledovanie prichin nestabil'noj raboty ustrojstv dlja zapolnenija sypuchih gruzov v taru // Izv. Samar. nauch. centra Rossijskoj akademii nauk. Spec. vyp. – Samara, 2005. – S. 215–221.
5. Alekseev A.V., Shupikov R.S. Analiz prichin, snizhajushchih jeffektivnost' raboty zatarochnykh ustrojstv s gorizontальной os'ju vrashhenija lopastnogo rotora // Transport: nauka, tehnika, upravlenie. – 2014. – № 11. – S. 37–39.
6. Alekseev A.V. Klassifikacija i princip raboty mehanicheskikh ustrojstv dlja zapolnenija klapannykh meshkov nasypnymi gruzami // Aktual'nye agroinzhenernye problemy APK: sb. nauch. tr. SGSHA. – Samara: Izd-vo SGSHA, 2002. – S. 187–189.
7. Pat.na poleznuju model' 65032 MPK 7 V 65 G 65/46. Bunkernoe ustrojstvo / Dudkin E.P., Alekseev A.V. Zajav. 30.03.2007 g., opubl. 27.07.2007, Bjul. № 21.
8. Dudkin E.P., Alekseev A.V. K voprosu sovershenstvovanija rabocheho processa zatarochnykh ustrojstv s gorizontальной os'ju vrashhenija lopastnogo rotora // Transport: nauka, tehnika, upravlenie. – 2010. – № 11. – S. 36–41.
9. Dudkin E.P., Alekseev A.V. Sovershenstvovanie konstrukcii zatarochnykh ustrojstv s gorizontальной raspolozheniem lopastnogo pitatelja. // Izv. Samar. nauch. centra RAN. – Т. 9, № 3 (21). – 2007. – S. 809–812.
10. Zenkov R.L., Grinevich G.P., Isaev V.S. Bunkernye ustrojstva. – M., Mashinostroenie, 1977. – 223 s.
11. Alekseev A.V. Zatarochnye ustrojstva sypuchih gruzov: konstrukcija, princip raboty i

- perspektivy sovershenstvovaniya / Mezhdunar. in-t rynka. – Samara, 2011. – 128 s.
12. *Jablonskij A.A.* Kurs teoreticheskoy mehaniki. Ch. 1–2: ucheb. dlja vtuzov. – M.: Vyssh. shk., 1984.
 13. *Dudkin E.P., Alekseev A.V.* Issledovanie prichin zakuporivaniya vypusknyh patrubkov v bunkernykh ustroystvakh s lopastnym pitatelem // Nadezhnost' i kachestvo: tr. Mezhdunar. simpoziuma. T. II. – Penza: Izd-vo PGU, 2008. – S. 344–346.
 14. *Alekseev A.V.* Issledovanie prichin narusheniya prohodimosti dozirujushhih patrubkov v zatarochnykh ustroystvakh s lopastnym pitatelem // Bjul. transportnoj informacii. – 2011. – № 9. – S. 36–38.
 15. *Dudkin E.P., Alekseev A.V.* Issledovanie dvizheniya tel po naklonnoj ploskosti // Nadezhnost' i kachestvo: tr. Mezhdunar. simpoziuma. T. 1. – Penza: Izd-vo PGU, 2006. – S. 231–234.
 16. *Dudkin E.P., Alekseev A.V.* Issledovanie dvizheniya sypuchego gruzha po gravitacionnym transportirujushhim ustroystvam // Transport: nauka. tehnika, upravlenie. – 2011. – № 9. – S. 28–35.
 17. *Alekseev A.V.* K voprosu opredeleniya racional'nykh konstruktivnykh parametrov gravitacionnykh transportirujushhih ustroystv dlja zagruzki sypuchih gruzov v transportnye sredstva // Nauka i tehnika transporta. – 2012. – № 3. – S. 60–67.
 18. *Alekseev A.V.* Uluchshenie jekspluatacionnykh pokazatelej zatarochnykh ustroystv s lopastnym pitatelem / Mezhdunar. in-t rynka. – Samara, 2012. – 84 s.