

¹Белова Т.И., д-р техн. наук, проф.,
²Агашков Е.М., канд. техн. наук, доц.,
¹Терехов С.В., соискатель,
¹Чернова Е.Г., аспирант,

(1 - ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, г. Брянск;
 2 - ФГБОУ ВО ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орёл, Россия)

СНИЖЕНИЕ ОПАСНОСТЕЙ ТРАВМИРОВАНИЯ ОПЕРАТОРОВ ПРИЕМНЫХ ПУНКТОВ ЭЛЕВАТОРОВ

К числу основных факторов, влияющих на эффективность работы бункеров и безопасную работу оборудования, относят производительность и равномерную подачу зернового материала, что влияет на условия и безопасность труда работающих приемных пунктов элеваторов. Пропускная способность выгрузного бункера рассматриваемого типа зависит от вида сыпучего продукта, их качества и от стадии процесса высыпания. Дифференциальное уравнение истечения крупносыпучих материалов из бункеров справедливо для бункеров любых форм с некоторыми уточнениями и позволяет определять предельные скорость и расход сыпучего продукта для бункеров любых форм.

Ключевые слова: приемные пункты элеваторов, вероятность безотказной работы, условия труда, безопасность труда, выгрузной бункер, сыпучий продукт, предельная пропускная способность.

К числу основных факторов, влияющих на эффективность работы бункеров и безопасную работу оборудования, относят производительность и равномерную подачу зернового материала, но большинство современных бункеров не обеспечивают равномерную подачу сыпучего материала [1-4].

Таким образом, вероятность нахождения работающих во вредных и опасных условиях труда $P_{\text{воу}}$ будет зависеть от вероятности безотказной работы оборудования $P_{\text{отк}}$, которая, в свою очередь, может быть определена из выражения

$$P_{\text{воу}} = P_{\text{отк}}(t) = Q_{\text{пр},i} / Q_{\text{ном}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{пр},i}$ – предельная пропускная способность сыпучего материала из выгрузного отверстия бункера, т/ч ; $Q_{\text{ном}}$ – номинальная производительность выгрузного транспортера, т/ч , $Q_{\text{ном}} = (0,6-0,8) Q_{\text{max}}$; Q_{max} – максимальная (согласно технической характеристики транспортера) производительность выгрузного транспортера).

Безопасные условия труда работающих обеспечиваются при соотношении

$$Q_{\text{пр},i} / Q_{\text{max}} < 1 \quad (2)$$

Пропускная способность выгрузного бункера зависит от типа сыпучего продукта (овес, пшеница, кукуруза, ячмень, горох, соя, шрот подсолнечный, шрот соевый), их качества (влажности, засоренности, плотности, насыпной плотности, температуры), от стадии процесса высыпания (неустановившееся движение зернового потока, установившееся движение зернового потока, завершающая стадия наименьшего расхода). Даже при установившемся движении имеет место образование и разрушения динамических сводов по всей высоте движущегося потока. Непрерывность и устойчивость истечения наблюдается, если частота образования сводов, зависящая от физико-механических свойств сыпучих материалов λ равна частоте разрушения динамических сводов μ . При использовании бункеров на приемных пунктах комбикормовых предприятий, имеющих большой объем загрузки, может быть накопление не разрушившихся динамических сводов при ($\lambda > \mu$). Это говорит о том, что обеспечение безопасности работающих будет достигаться при условиях соответствия производительности выгрузного бункера заданной и равномерной во времени.

Бункер приемного устройства элеватора в рассматриваемой ситуации (рис.1) имеет форму перевернутой, усеченной пирамиды, состоит из тринадцати одинаковых секций (рис.2), каждая из которых оборудована шиберной заслонкой. Поверхность отдельной секции образована четырьмя плоскими стенками, две из которых попарно симметричны относительно вертикальной плоскости и имеют одинаковые углы наклона α_3 относительно неё, а две другие - не симметричны и имеют различные углы наклона α_1, α_2 относительно вертикальной плоскости. Поперечные горизонтальные сечения имеют форму прямоугольников, а сечение, расположенное на уровне выпускного отверстия, имеет форму квадрата с центром, через который проходит ось OX . Секция бункера имеет размеры начального (при $x = 0$) сечения $2(R_1R_3) + 2(R_2R_3)$; углы, образованные продольными и поперечными стенками с вертикалью: $\alpha_1 = \arctg B_1$, $\alpha_2 = \arctg B_2$, $\alpha_3 = \arctg B_3$.

Согласно закону истечения сыпучих материалов из выпускных отверстий дифференциальное уравнение истечения крупносыпучих материалов из бункеров (3) справедливо для бункеров любых форм с некоторыми уточнениями. Особенность истечения крупнозернистого сыпучего материала состоит в том, что полное ускорение зерен при прохождении через выпускное отверстие постоянно в течение всего времени и равно ускорению свободного падения

$$\frac{dq}{dt} - \frac{F_0'}{F_0^2} q^2 = gF_0 \quad (3)$$

где $F(H) = F_0$ – площадь выпускного отверстия; g - ускорение свободного падения, m/c^2 ; q – объемный расход сыпучего материала, $t/ч$; $F'(H) = F'_0$ – производная от функции $F=F(x)$ по абсциссе в сечении $x=H$, соответствующем выпускному отверстию.

$$\frac{dq}{dt} + Dq^2 = E \quad (4)$$

$$\text{где: } \left. \begin{aligned} D &= \frac{2b}{\mu r^3} = const ; \\ E &= \mu r^2 g = const . \end{aligned} \right\}$$

Частное решение уравнения (4) при начальном условии $t=0, q=0$ имеет вид

$$q = \sqrt{\frac{E}{D}} th \sqrt{ED} t \quad (5)$$

Коэффициент при q^2 и свободный член уравнения (3) являются, как и ранее, величинами постоянными

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{-F'_0}{F_0^2} = const ; \\ E &= gF_0 = const . \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Подставив в (5) значения D и E (6), получим расход q в функции времени, а разделив q на площадь F_0 отверстия, найдем скорость истечения V_0

$$q = F_0 \sqrt{-\frac{gF'_0}{F_0^2}} th \sqrt{-\frac{gF'_0}{F_0}} t; \quad (7)$$

$$V_0 = F_0 \sqrt{-\frac{gF'_0}{F_0^2}} th \sqrt{-\frac{gF'_0}{F_0}} t. \quad (8)$$

расход q и скорость истечения V_0 с течением времени изменяются по закону гиперболического тангенса, стремясь к предельным значениям:

$$q_{np} = F_0 \sqrt{-\frac{gF'_0}{F_0^2}}; \quad (9)$$

$$V_{np} = \sqrt{-\frac{gF'_0}{F_0}}. \quad (10)$$

Для определения предельного расхода истечения из выпускного отверстия рассматриваемой секции бункера находим площадь F текущего поперечного сечения и производную $F' = \frac{dF}{dx}$.

$$\left. \begin{aligned} F &= 2[(R_1 - B_1x)(R_3 - B_3x) + (R_2 - B_2x)(R_3 - B_3x)] \\ F' &= 3B_1B_3x - B_1R_3 - B_3R_1 + 3B_2B_3x - B_2R_3 - B_3R_2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где B_1, B_2, B_3 - соответственно $tg \alpha_1, tg \alpha_2, tg \alpha_3$.

Далее, определяем функцию $U = U(x)$:

$$U(x) = Q_{np}^2 = -q \frac{F^3}{F'}, \quad (12)$$

где Q_{np} - предельный расход, т/ч; F - площадь текущего поперечного сечения, m^2 ; F' - производная площади поперечного сечения, m^2 ; q - ускорение свободного падения, m/c^2 .

$$U(x) = \frac{-8q \left\{ [(R_1 - B_1x)(R_3 - B_3x)] + [(R_2 - B_2x)(R_3 - B_3x)] \right\}^3}{3B_1B_3x - B_1R_3 - B_3R_1 + 3B_2B_3x - B_2R_3 - B_3R_2} \quad (13)$$

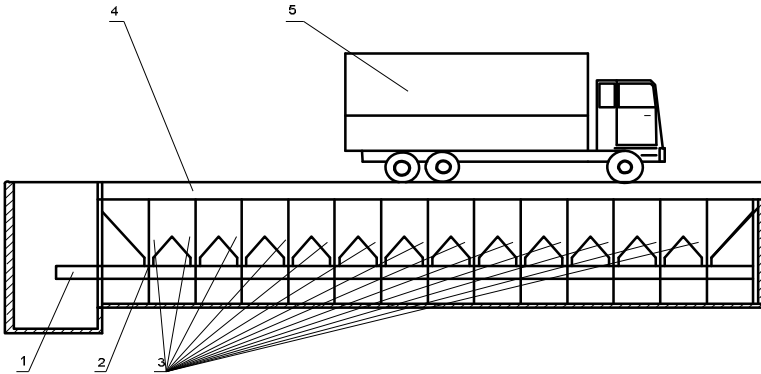


Рис. 1. Схема узла автоприема с выгрузным бункером: 1- выгрузной транспортер; 2 - выгрузные отверстия; 3 - секции выгрузного бункера; 4 - подъемная платформа; 5 - автомобиль с сыпучим материалом.

$$U(x) = -8q \left\{ \frac{[(R_1 - B_1x)(R_3 - B_3x)]^3 + 3[(R_1 - B_1x)(R_3 - B_3x)]^2 [(R_2 - B_2x)(R_3 - B_3x)]}{3B_1B_3x - B_1R_3 - B_3R_1 + 3B_2B_3x - B_2R_3 - B_3R_2} + \frac{[(R_2 - B_2x)(R_3 - B_3x)]^3 + 3[(R_2 - B_2x)(R_3 - B_3x)]^2 [(R_1 - B_1x)(R_3 - B_3x)]}{3B_1B_3x - B_1R_3 - B_3R_1 + 3B_2B_3x - B_2R_3 - B_3R_2} \right\} \quad (14)$$

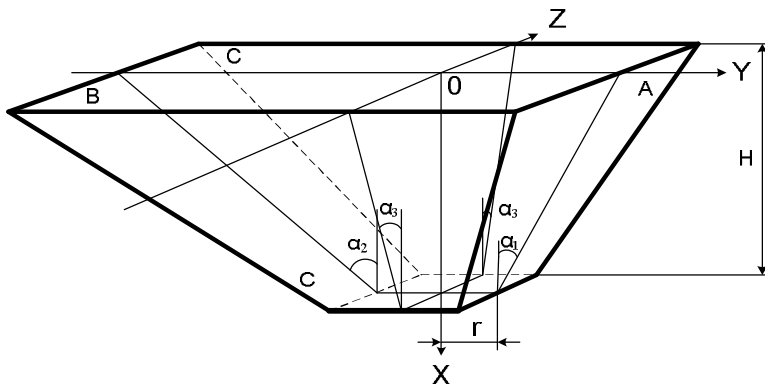


Рис. 2. Схема одной секции выгрузного бункера: OX, OY, OZ – оси; А, В - поперечные стенки бункера; С - продольные стенки бункера; α_1, α_2 – углы, образованные поперечными стенками с вертикалью; α_3 – углы, образованные продольными стенками с вертикалью; r – радиус выпускного отверстия; H – высота бункера.

Из полученного выражения видно, что числитель правой части с ростом x убывает значительно быстрее, чем знаменатель, тем самым пропускная способность бункера монотонно убывает.

Положив $x = H$ (уровень выпускного отверстия) и обозначив $(R_1 - B_1H) = (R_2 - B_2H) = (R_3 - B_3H) = r$, получим параметры выпускного отверстия бункера:

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= 2[(R_1 - B_1H)(R_3 - B_3H) + (R_2 - B_2H)(R_3 - B_3H)] = 4r^2 \\ F'_0 &= 3B_1B_3H - B_1R_3 - B_3R_1 + 3B_2B_3H - B_2R_3 - B_3R_2 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= 2[(R_1 - B_1H)(R_3 - B_3H) + (R_2 - B_2H)(R_3 - B_3H)] = 4r^2 \\ F'_0 &= -[R_3(B_1 + B_2) + B_3(R_1 + R_2)] \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Предельный расход

$$Q_{np} = 4r^2 \sqrt{\frac{q 4r^2}{R_3(B_1 + B_2) + B_3(R_1 + R_2)}} \quad (17)$$

Современные комбикормовые предприятия, имеющие приемные пункты элеваторов работают в автоматическом режиме с использованием блоков управления, в которых заложены все необходимые параметры технологического процесса, за исключением процесса выгрузки и транспортирования сыпучих материалов. Процесс автоматизации с

использованием математических моделей определения предельной пропускной способности выгрузного бункера в рассматриваемой ситуации в зависимости от объема сыпучего материала позволит управлять условиями и безопасностью труда работающих.

Библиографический список

1. Гячев Л.В. Основы теории бункеров. - Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. 310 с.
2. Богомягих В.А. Теория и расчет бункеров для сыпучих материалов. - Ростов на Дону: Изд-во РГУ, 1974. - 149 с.
3. Савенков Д. Н. Обоснование формы выпускного отверстия бункера, обеспечивающее равномерную подачу зернового материала // Вестник Казанского ГАУ. 2014. №1(31). С. 79-83.
4. Белова Т.И. и др. Снижение запыленности при выгрузке сыпучих материалов // Сельский механизатор. 2017. № 5. С. 24-25.

УДК 613.633:633

¹Белова Т.И., д-р техн. наук, проф.,
²Агашков Е.М., канд. техн. наук, доц.,
¹Чернова Е.Г., аспирант,
¹Терехов С.В., соискатель,
²Лобода О.А., ст. препод.

(1 - ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, г. Брянск;
2 - ФГБОУ ВО ОГУ имени И.С. Тургенева, г. Орёл, Россия)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТАЮЩИХ НА ПРИЕМНОМ ПУНКТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КОМБИКОРМОВ

В статье приведено описание лабораторной установки по исследованию процессов пылеобразования и пылеудаления на приемном пункте предприятия по производству комбикормов. Смоделирован процесс пылеобразования, приближенный к реальным условиям.

Ключевые слова. Запыленность воздуха рабочей зоны, условия труда работающих, пылеобразование, система пылеудаления, оптический датчик концентрации пыли, время нахождения в условиях повышенной запыленности.

Одной из основных проблем предприятий по производству комбикормов является высокая запыленность воздуха рабочей зоны. Особенно высокие концентрации пылей (рис.1) образуются на приемных пунктах даже при нормальном режиме работы, достигая значений концентраций, которые превышают ПДК в 140 раз [1, 2].