

УДК 631.3

ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА В ПНЕВМОТРАНСПОРТЕРЕ

**Т. В. ПАНОВА,
М. В. ПАНОВ,**

кандидаты технических наук, доценты
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный аграрный
университет»
E-mail: cit@bgsha.com

Теоретически обоснованы оптимальные параметры скорости движения воздуха в пневмотранспортере за счет установления необходимой скорости движения зерна.

Ключевые слова: сушилка; пневмотранспортер; конструктивные параметры; режимные параметры; травмирование.

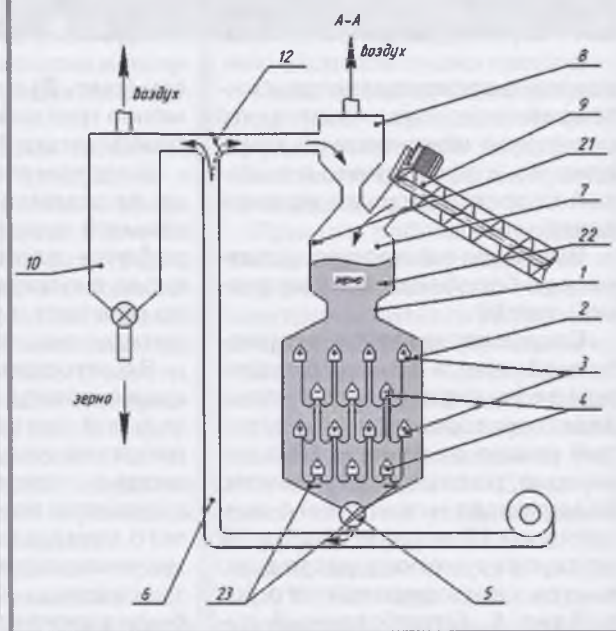
В настоящее время актуальная проблема – высокий уровень травмирования зерна в процессе перемещения по средствам пневмотранспортера. Поэтому необходимо рассмотреть щадящие режимы перемещения зерна, исключая непосредственное ударное воздействие при подаче воздуха на зерно, а также оценить влияние режимных характеристик устройства на травмирование зерна [1].

Пневмотранспорт удобен в производстве: экономит площадь, погружает зерно без потерь и загрязнений и работает без вмешательства человека – подходящая машина для автоматизации рабочих процессов. Пневматический транспортер функционирует под воздушным давлением, которое генерирует вентилятор. Скорость воздушных потоков в транспортере не больше 25 м/с. Пневмотранспортер может работать во всасывающе-нагнетательной и нагнетательной (засыпной) версии. Для работы в засыпном режиме снимается заборная магистраль и циклон, а над транспортной магистралью устанавливается засыпная горловина [2].

В рассматриваемой сушилке мы ставим цель – определить предельно допустимую скорость потока в пневмотранспортере нагнетательной (засыпной) версии для минимизации травмирования зерна по пути его выгрузки в автотранспорт или для постановки на хранение, не нарушая режимных параметров работы самой сушилки.

Представленная на **рис. 1** сушилка содержит

Рис. 1. Схема зерносушилки



теплоизолированную камеру **1**, представляющую собой сушильную шахту **2**, в которой установлены подающие **3** и отводящие **4** сушильные агенты короба. На выходе из сушильной шахты **2** установлен шлюзовой затвор **5**. Он соединен с воздухопроводом пневмотранспортера **6**. Над сушильной шахтой **2** расположен зерновой бункер **7** с загрузочным циклоном **8**, загрузочным шнековым транспортером **9** и разгрузочным циклоном **10** с заслонкой **12**.

Центробежный вентилятор **13** с нагревательным ротором **14** имеет каналы **15** рециркуляции сушильного агента с заслонками **16**. Теплообменный аппарат **17** имеет дополнительный нагревательный ротор **18** с каналом рециркуляции **19** отработанного сушильного агента и заслонкой **20**.

В зерновом бункере **7** расположены верхний **21** и нижний **22** датчики уровня зерна, а в сушильной шахте **2** – датчики **23** влажности зерна. Центробежный вентилятор **13** соединен с сушильной шахтой **2** воздухопроводом **24**. Сушильная шахта **2** соединена

намические свойства зерна; S – площадь сечения с эффективным диаметром, мм; $\vec{v}_{OT} = \vec{v}_B + \vec{v}_3$ – относительная скорость, м/с; v_B – абсолютная скорость воздуха, м/с; v_3 – абсолютная скорость зерна, м/с;

$$F_T = \rho v_B^2 \pi d_{эф}^2 / 8.$$

$$OX: F_T - F_{CX} = m(dv_{3X}/dt), \quad OY: F_A + F_{CY} - mg = m(dv_{3Y}/dt);$$

$$1) \text{ сила сопротивления по } OX: F_{CX} = 0,124BS(v_B - v_{3X})^2;$$

$$2) \text{ сила сопротивления по } OY: F_{CY} = 0,124BSv_{3Y}^2,$$

где v_{3X} – проекция скорости зерна на оси.

Решив первое уравнение, получим следующую систему:

$$\begin{cases} \frac{\rho v_B^2 \pi d_{эф}^2}{8} - 0,124BS(v_B - v_{3X})^2 = m \frac{dv_{3X}}{dt}; \\ 0,124BSv_{3Y}^2 + \frac{\rho g \pi d_{эф}^2}{6} - mg = m \frac{dv_{3Y}}{dt}. \end{cases}$$

Преобразовав систему и поделив $dv_{3X}/dt = v_{3X}$ и на m получим:

$$\begin{cases} v_{3X} - \frac{\rho v_B^2 \pi d_{эф}^2}{8m} + \frac{0,124BSv_B}{m} - \frac{0,248BSv_B v_{3X}}{m} + \frac{0,124BSv_{3X}^2}{m} = 0; \\ v_{3Y} - \frac{0,124BSv_{3Y}}{m} - \frac{\rho g \pi d_{эф}^2}{6m} + g = 0. \end{cases}$$

Решаем каждое уравнение в отдельности.

Введя ряд обозначений, $A = 0,124BSv_B/m - \rho v_B^2 \pi d_{эф}^2 / 8m$, $B = 0,248BSv_B/m$, $C = 0,124BS/m$, интегрируя полученные формулы, приняв $\text{const} = \ln v_0$ и потенцируя обе части, введя замену, $\sqrt{(B^2/4C^2) - A/C} = m$, $B/2C = p$, $e^{-2Ct \sqrt{\frac{B^2}{4C^2} - \frac{A}{C} - \ln v_0}} = q(t)$, получим конечный вид проекции на ось OX:

$$v_{3X} = \frac{(p^2 - m^2)(q(t) - 1)}{p + m - (p - m)q(t)}.$$

Решив первое уравнение, получим

$$v_{3Y} - \frac{0,124BSv_{3Y}}{m} - \frac{\rho g \pi d_{эф}^2}{6m} + g = 0.$$

Введя замену $K = 0,124BSv_{3Y}/m$, переменные, выбрав v так, что $v' - Kv = 0$, приняв $v_{01} = \text{const}$, получим модуль скорости зерна

$$v = \sqrt{v_{3X}^2 + v_{3Y}^2}.$$

Решим полученное уравнение оптимальной скорости движения зерна, подставив известные нам

значения, а именно, из лабораторных исследований получили, что размеры зерна пшеницы: a (мм) [4,2; 8,6], b (мм) [1,6; 4], c (мм) [1,5; 3,8]. Тогда $a_{cp} = (4,2 + 8,6)/2 = 6,4$ мм, $b_{cp} = (1,6 + 4)/2 = 2,8$ мм, $c_{cp} = (1,5 + 3,8)/2 = 2,65$ мм. Таким образом, эффективный диаметр:

$$d_{эф} = 2\sqrt{6,4 \cdot 2,8 \cdot 2,65} = 7,24 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Площадь обтекаемой поверхности зерна с эффективным диаметром $d_{эф}$ для половины поверхности сферы

$$S = 3,14 \cdot 7,24^2 / 2 = 82,3 \text{ мм}^2 = 82,3 \cdot 10^{-6} \text{ мм}.$$

Зная, что масса 100 зерен $M(g)$ [20; 60], $M_{cp} = (20 + 60)/2 = 10$ г, коэффициент сопротивления B [0,084; 0,264], $B_{cp} = (0,084 + 0,364)/2 = 0,174$ мм, плотность воздуха $\rho_a = 1,2$ кг/м³, получим конечный результат:

$$v_3 = \sqrt{\frac{(v_B - 13,9 v_B^2) \times}{v_B + \sqrt{14,9 v_B^2 - v_B} - (v_B - \sqrt{14,9 v_B^2 - v_B}) \times \frac{x(e^{-13,9(\sqrt{14,9 v_B^2 - v_B})t} - 1)^2}{x e^{-1,39\sqrt{14,9 v_B^2 - v_B}t}} + 736851(e^{0,045t} - 1)^2}}$$

При $t = 0$, $v_3 = 0$ выражение хорошо соотносится.

Вывод. Таким образом, варьируя значения скорости зерна в пневмотранспортере и время, мы можем выйти на оптимальные параметры скорости воздуха. Также параметр времени t (падение зерна) может быть выведен на определение размеров шахты зерносушилки.

Литература

1. Пахомов, В. И. Результаты экспериментальных исследований обмолота колосьев в пневматическом молотильном устройстве / В. И. Пахомов, С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников [и др.]. – DOI: 10.15507/2658-4123.030.202001.111-132 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30. – № 1. – С. 111–132.
2. Устинов А.Н. Сельскохозяйственные машины: учебник / А.Н. Устинов. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 264 с.
3. Пат. на полезную модель RU 196966. Сушилка / А.И. Купренко, Т.В. Панова, М.В. Панов. – № 2019143060; заявлено 18.12.2019. – Опубл. 23.03.2020, Бюл. № 9.
4. Фёдорова, Р.А. Биохимические особенности свойств зерна: учеб.-метод. Пособие / Р.А. Фёдорова. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 41 с.

In this article, the optimal parameters of the speed of air movement in the pneumatic conveyor are theoretically substantiated by setting the required speed of grain movement.

Keywords: dryer; pneumatic conveyor; design parameters; operating parameters; injury.