

Научная статья
УДК 631.3

Определение конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра для зерносушилки

Татьяна Васильевна Панова, Максим Владимирович Панов
Брянский государственный аграрный университет

Аннотация. В статье рассматривается вопрос определения конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра, которые позволят минимизировать травмирование зерна по пути его выгрузки в автотранспорт или для постановки на хранение, не нарушая режимных параметров работы самой зерносушилки. В результате анализа литературных источников были определены понятия конструктивных и режимных параметров для рассматриваемого пневмотранспортёра. В частности, к конструктивным параметрам были отнесены длина трубопровода, внутренний диаметр трубопровода, а к режимным – средняя суточная производительность, техническая производительность, время работы, концентрация смеси, скорость воздуха в трубопроводе, расход воздуха, теоретическая удельная работа компрессора, давление, созданное компрессором, потребляемая мощность. Расчёты позволили определить следующие значения конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра зерносушилки: длина трубопровода – 20 м, диаметр внутренний – 100 мм, средняя суточная производительность – 179,2 т/сут, техническая производительность – 14 т/ч, время работы – 24 ч, концентрация смеси – 23,2, скорость воздуха в трубопроводе – 17,9 м/с, расход воздуха – 0,4 м³/ч = 8,4 м³/мин, теоретическая удельная работа компрессора – 7282 кг·с/м², давление, созданное компрессором, – 203,177 кПа, потребляемая мощность – 13,6 кВт.

Ключевые слова: сушилка, пневмотранспортёр, конструктивные параметры, режимные параметры, травмирование.

Для цитирования: Панова Т.В., Панов М.В. Определение конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра для зерносушилки // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 106–109.

Original article

Determination of design and operating parameters of a pneumatic conveyor for a grain dryer

Tatiana V. Panova, Maxim V. Panov
Bryansk State Agrarian University

Abstract. The presented article discusses the issue of determining the design and operating parameters of a pneumatic conveyor, which will minimize injury to grain along the way of its unloading into vehicles or for storage, without violating the operating parameters of the grain dryer itself. As a result of the analysis of literary sources, we have defined the concepts of design and operating parameters for the pneumatic conveyor we are considering. In particular, we attributed the length of the pipeline, the inner diameter of the pipeline to the design parameters, and to the regime parameters – the average daily productivity, technical productivity, operating time, concentration of the mixture, air velocity in the pipeline, air consumption, theoretical specific work of the compressor, pressure created by the compressor, consumed power. The calculations made it possible to determine the following values of the design and operating parameters of the pneumatic conveyor of the grain dryer: pipeline length – 20 m, internal diameter – 100 mm, average daily productivity 179.2 t/day, technical productivity – 14 t/h, operating time – 24 h, mixture concentration – 23.2, air velocity in the pipeline – 17.9 m/s, air consumption – 0.4 m³/h = 8.4 m³/min., Theoretical specific work of the compressor – 7282 kg·s/m², pressure created compressor – 203.177 kPa, power consumption – 13.6 kW.

Keywords: dryer, pneumatic conveyor, design parameters, operating parameters, injury

For citation: Panova T.V., Panov M.V. Determination of design and operating parameters of a pneumatic conveyor for a grain dryer. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 88(2): 106–109. (In Russ.).

При нарушении режимов сушки может возникнуть повреждение зерна различной степени. Зерно может быть повреждено высокой температурой без видимых признаков порчи. При этом оно частично или полностью утрачивает свои семенные достоинства [1, 2].

Но не только нарушения режимных параметров при сушке зерна могут явиться причиной его травмирования, но и путь, который проходит зерно после высушивания, тоже необходимо сделать наименее травмоопасным для него. Выполнение погрузочно-разгрузочных операций ведёт к увеличению травмирования зернового материала

и ухудшению посевных качеств семян. При совершенствовании зерноочистительных агрегатов необходимо подобрать такие транспортирующие органы, входящие в технологическую линию, которые обеспечивают нужную производительность при минимальном травмировании зерна [3, 4].

В рассматриваемой сушилке мы ставили задачу определения конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра, которые позволят минимизировать травмирование зерна по пути его выгрузки в автотранспорт или для постановки на хранение, не нарушая режимных параметров работы самой сушилки.

Представленная на рисунке 1 сушилка работает следующим образом. Зернозагрузочным шнековым транспортёром 9 зерно подаётся в зерновой бункер 7, где уровень зерна регулируется верхним 21 и нижним 22 датчиками, управляемыми отключением и включением загрузочного шнекового транспортёра 9. Далее зерно поступает в шахту 2 и, распределяясь между подающими 3 и отводящими 4 сушильный агент коробами, под действием силы тяжести движется вниз к шлюзовому затвору 5. Нагревательный ротор 14, приводимый в движение электродвигателем 28, нагревает предварительно подогретый сушильный агент, поступающий из теплообменного аппарата 17 по воздуховоду 27, и подаёт его в каналы рециркуляции 15 и воздуховод 24. Количество сушильного агента, подаваемого в каналы рециркуляции 15, обеспечивающие наличие замкнутого контура циркуляции воздушного потока – необходимого условия работы сушильных установок по типу печей аэродинамического подогрева, регулируется заслонками 16. Нагретый сушильный агент, циркулирующий в каналах рециркуляции 15, смешивается с предварительно подогретым сушильным агентом, поступающим к нагревательному ротору 18 из теплообменного аппарата 17 по воздуховоду 27, и нагнетается по воздуховоду 24 в подающие короба 3 сушильной шахты 2. Поступающий из подающих коробов 3 сушильный агент нагревает зерно, насыщается испаряемой из зерна влагой и удаляется через отводящие короба 4, воздуховод 25, дополнительный нагревательный ротор 18 и воздуховод 26 в теплообменный аппарат 17, где отдаёт свою теплоту поступающему туда атмосферному воздуху, используемому в качестве сушильного агента.

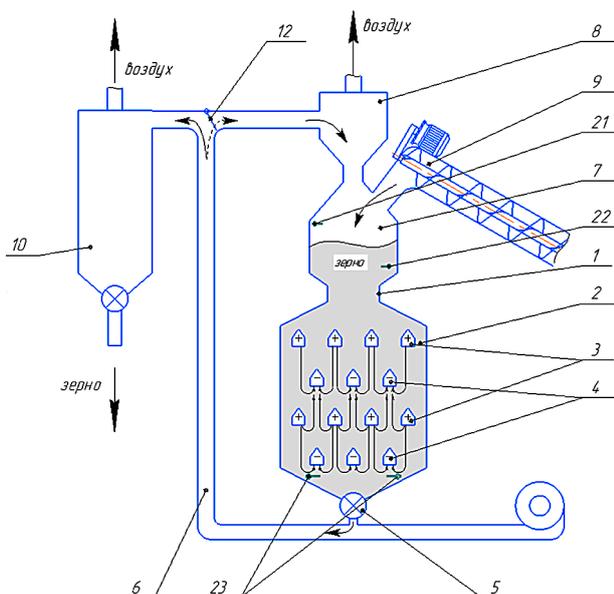


Рис. 1 – Зерносушилка

При сушке семенного зерна с невысокой температурой сушильного агента дополнительный нагревательный ротор 18 может не включаться в работу, при этом он не препятствует прохождению через него отработанного сушильного агента. При необходимости более интенсивного подогрева сушильного агента включается приводной двигатель 29 дополнительного нагревательного ротора 18. Количество отработанного сушильного агента, подаваемого в канал рециркуляции 19, регулируется заслонкой 20. Высушенное зерно через шлюзовую затвор 5 поступает в воздуховод пневмотранспортёра 6 и направляется заслонкой 12 в разгрузочный циклон 10. Если датчик влажности 23 показывает, что значение влажности зерна не достигло нормативных значений, то посредством заслонки 12 влажное зерно направляется в загрузочный циклон 8, и цикл сушки повторяется в том же порядке [5].

Материал и методы. Так как задача исследования заключается в определении конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра, то конструктивные параметры, в частности длина трубопровода, внутренний диаметр трубопровода, определяются на основании конструктивной схемы. С учётом основных требований к проектированию пневмотранспортной системы следует указать план и профиль трассы трубопровода с пометкой расположения воздухоудвнной машины, питателей, переключателей трубопроводов и самих трубопроводов, циклонов и другого вспомогательного оборудования. А режимные параметры: средняя суточная производительность, техническая производительность, время работы, концентрация смеси, скорость воздуха в трубопроводе, расход воздуха, теоретическая удельная работа компрессора, давление, созданное компрессором, потребляемая мощность определяются исходя из режимного движения воздуха с учётом критериев подобия и физико-механических свойств зерна.

Результаты исследования. По рассмотренной нами методике расчёта представим следующие результаты.

Скорость воздуха определим по формуле:

$$v_B = \alpha \sqrt{\rho_M} + \beta \cdot l_{\text{пр}}^2, \quad (1)$$

где $l_{\text{пр}} = 20$ м – длина транспортирования, м;

$\beta = 5 \cdot 10^{-5}$ – коэффициент изменения плотности;

ρ_M – плотность материала;

$\alpha = 20$ – коэффициент крупности зерна.

$$v_B = 20 \sqrt{0,8} + 5 \cdot 10^{-5} \cdot 20 = 17,9 \text{ м/с.}$$

Расход воздуха в пневмотранспортёре определим по формуле:

$$V = \frac{Q_T}{3,6 \cdot \mu \cdot \rho_B}, \quad (2)$$

где $Q_T = 14$ т/ч – техническая производительность, т/ч;

$\mu = 25$ – коэффициент неравномерности смеси, $\mu = \frac{m_{\text{зерна}}}{m_{\text{воздуха}}}$.

$$V = \frac{14}{3,6 \cdot 25 \cdot 1,2} = 0,13 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметр трубопровода пневмотранспортёра определим по формуле:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot v_B}}, \quad (3)$$

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,13}{3,14 \cdot 17,9}} = 0,096 \text{ м} = 96 \text{ мм}.$$

На основании ГОСТа 335-67 принимаем значение диаметра $d_T = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$.

Уточним секундный расход воздуха по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot v_B \quad (4)$$

и получим:

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 17,9 = 0,14 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пересчитаем коэффициент неравномерности смеси μ по формуле:

$$\mu = \frac{Q_T}{3,6 \cdot V \cdot \rho}, \quad (5)$$

получим

$$\mu = \frac{14}{3,6 \cdot 0,14 \cdot 1,2} = 23,2.$$

Устанавливаем давление на покрытие потерь по формуле:

$$P_H = \sqrt{1 + \beta \cdot S} \pm P_{\text{под}}, \quad (6)$$

где $\beta = 10^{-6}$ – опытный коэффициент;

$P_{\text{под}}$ – давление, необходимое для подъёма материала на высоту $h = 5 \text{ м}$;

S – площадь сечения трубопровода (см^2), определяемая по формуле:

$$S = \frac{\mu \cdot l_{\text{пр}} \cdot v_B^2}{d_T^2},$$

где $l_{\text{пр}}$ – длина транспортирования, м.

Получим:

$$S = \frac{23,2 \cdot 20 \cdot 17,9^2}{0,1} = 1,49 \cdot 10^6.$$

Тогда определим давление, необходимое для подъёма материала на высоту 5 м, по формуле:

$$P_{\text{под}} = \frac{h \cdot g \cdot \mu}{10^4}, \quad (7)$$

получим:

$$P_{\text{под}} = \frac{5 \cdot 9,8 \cdot 23,2}{10^4} = 0,11368 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}.$$

Таким образом, давление на покрытие потерь составит:

$$P_H = \sqrt{1 + 10^{-6} \cdot 1,49 \cdot 10^6} + 0,11368 = 1,6917 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2} = 165787 \text{ Па}.$$

Потребляемую мощность определим по формуле:

$$N = \frac{L_M \cdot V}{10^4 \cdot \eta}, \quad (8)$$

где L_M – теоретическая работа компрессора, отнесённая к 1 м^3 засасываемого воздуха при изотермическом сжатии, определяемая по формуле:

$$L_M = 23030 P_0 \cdot \lg \frac{P_M}{P_0}, \quad (9)$$

где P_M – давление, создаваемое компрессором, определяемое по формуле:

$$P_M = P_H \cdot E + P_B, \quad (10)$$

где $E = 1,2$ – коэффициент, учитывающий потери в загрузочном устройстве;

P_B – динамическое давление воздуха, обусловленное скоростью потока, определяемое по формуле:

$$P_B = 0,613 \cdot v_B^2 (10 + 0,5 \cdot \mu). \quad (11)$$

Тогда

$$P_B = 0,613 \cdot 17,9^2 (10 + 0,5 \cdot 23,1) = 42233 \text{ Па}.$$

Примем атмосферное давление $P_0 = 1 \text{ атм} = 98100 \text{ Па}$, тогда давление, создаваемое компрессором, составит:

$$P_M = 165787 \cdot 1,2 + 42233 = 203177 \text{ Па}.$$

Учитывая представленные выше расчёты, теоретическая удельная работа компрессора составит:

$$L_M = 23030 \cdot 1 (\text{атм}) \cdot \lg \frac{203177}{98100} = 7282 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

При заданной удельной мощности, удельной работе и секундном расходе воздуха КПД компрессора составит $\eta = 0,72$.

Мощность двигателя для компрессора, определённая по формуле (8), составит:

$$N = \frac{7282 \cdot 0,14}{10^4 \cdot 0,72} = 13,6 \text{ кВт}.$$

Среднесуточную производительность, исходя из технической производительности, определим по формуле:

$$Q_c = \frac{Q_T}{K_1 \cdot K_2}, \quad (12)$$

где K_1 – коэффициент запаса мощности, учитывающий потери при эксплуатации;

K_2 – коэффициент запаса мощности на момент пуска в эксплуатацию.

Получим:

$$Q_c = \frac{14 \cdot 24}{1,5 \cdot 1,25} = 179,2 \text{ т/сут}.$$

Выводы. Были получены следующие результаты расчёта конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра рассмотренной нами зерносушилки: длина трубопровода – 20 м, диаметр внутренний – 100 мм, средняя суточная производительность – 179,2 т/сут, техническая производительность – 14 т/ч, время работы – 24 часа, концентрация смеси – 23,2, скорость воздуха в трубопроводе – 17,9 м/с, расход воздуха – $0,4 \text{ м}^3/\text{ч} = 8,4 \text{ м}^3/\text{мин}$, теоретическая удельная работа компрессора – $7282 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{м}^2$, давление, созданное компрессором, – 203,177 кПа, потребляемая мощность – 13,6 кВт.

Литература

1. Личко Н.М. Стандартизация и подтверждение ответственности сельскохозяйственной продукции. М.: ДеЛи плюс, 2013. 512 с.

Татьяна Васильевна Панова, кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет». Россия, 243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а, panovatava@yandex.ru

Максим Владимирович Панов, кандидат технических наук. ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет». Россия, 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а, pmv-1980@yandex.ru

Tatiana V. Panova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Bryansk State Agrarian University. 2a, Soviet St., Kokino, Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russia, panovatava@yandex.ru

Maxim V. Panov, Candidate of Technical Sciences. Bryansk State Agrarian University. 2a, Soviet St., Kokino, Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russia, pmv-1980@yandex.ru

2. Купреенко А.И., Панова Т.В., Панов М.В. Изменение влагосодержания зерна при сушке // Инновации и технологический прорыв в АПК: сб. науч. трудов междунар. науч.-практич. конф. Брянск, 2020. С. 192–196.

3. Пути снижения травмирования зернового материала ковшовыми элеваторами в зерноочистительных агрегатах типа ЗАВ / В.И. Пахомов, А.А. Бойко, Д.С. Подлесный [и др.] // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса «ДГТУ-ПРИНТ». Ростов-на-Дону, 2020. С. 554–558.

4. Купреенко А.И., Комогорцев В.Ф. Анализ рабочего процесса шнекового транспортёра-распределителя // 21 век: фундаментальная наука и технологии: матер. XVI междунар. науч.-практич. конф. 25–26 июня 2018 г. North Charleston, USA. С. 80–81.

5. Пат. на полезную модель RU 196966. Сушилка / А.И. Купреенко, Т.В. Панова, М.В. Панов. Заявка № 2019143060 от 18.12.2019. Оpubл.: 23.03.2020. Бюл. № 9.