

3. Бородин И.Ф. Технические средства автоматизации: учеб. пособие / И.Ф. Бородин. – М.: Колос, 1982. – 302 с.

4. Пат. 2277206 Российская Федерация МПК⁷ F24 П/04, F24F 13/08 Устройство для регулирования расхода воздуха /

Н.И. Капустин, И.Я. Федоренко, В.А. Демин, В.Н. Капустин. Заявитель и патентообладатель Н.И. Капустин. – Заявка № 2004135681; заявл. 06.12.2004; опублик. 27.05.2006 г., Бюл. № 15.



УДК 62-133.52

П.С. Золотарев

ДАВЛЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В СПИРАЛЬНО-ВИНТОВОМ ТРАНСПОРТЕРЕ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

Ключевые слова: спирально-винтовой транспортер, сыпучий материал, давление, вертикальное давление, нормальное давление, кинематика, динамика, материальная точка, транспортирование, механизация.

Введение

Спирально-винтовые транспортеры (СВТ) нашли широкое применение в решениях практически-прикладных задач транспортирования сыпучих сельскохозяйственных материалов между пространственно разнесенными областями. В настоящее время техническое решение может обеспечить ряд транспортирующих устройств, но как показал общий сравнительный анализ и частный по винтовым транспортерам, СВТ занимают по комплексу экономико-технических показателей приоритетные позиции [1-3]. Однако при всех своих неоспоримых положительных чертах в теории СВТ до сих пор существуют проблемные зоны [4, 5]. Продолжая работу, рассмотрим давления, возникающие в СВТ при перемещении сыпучего материала [6]. Отыскание уравнений, описывающих давление в произвольной точке рукава, представляет важную задачу, т.к. позволяют предсказать производительность устройства и, следовательно, найти рациональное конструктивное исполнение. Выражения для напряжений в устройстве тесно связаны с динамическим анализом транспортирования элементарного объема материала по кожуху

рассматриваемого устройства, но имеют свои отличительные особенности [7].

Цель исследования – изучение пространственного распределения давления, возникающего в спирально-винтовом транспортере при перемещении сыпучего материала. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- аналитическое разрешение уравнений, составленных на основе динамического анализа;
- установление частного решения уравнения движения для тихоходного режима и общего для быстроходного;
- экспериментальное изучение давления возле выгрузного окна.

Объекты и методы

Объектом исследования явился вертикальный СВТ, перемещающий сыпучий материал. Разработка проблемно-ориентированной модели движения сыпучего материала и исследование этого процесса проводились методами механики (кинематическим и динамическим анализами), линейной алгебры. Достоверность полученных результатов определялась путем сравнения расчетных данных с экспериментальными.

Давления в СВТ. Классификация режимов работы винтового транспортера производится с использованием безразмерной величины $\omega^2 r/g$ (здесь независимая переменная r есть первая координата в цилиндрической системе координат, ω – угловая скорость, g – ускорение свобод-

ного падения), т.е. соотношение модулей центростремительного ускорения и ускорения свободного падения. Если $\omega^2 r/g$ меньше 30, то режим тихоходный, больше – быстроходный [7].

В случае тихоходного СВТ при малых частотах вращения вертикальное давление можно вычислить в гидродинамическом приближении:

$$p_v = \gamma h, \quad (1)$$

где $\gamma = \rho g$ – удельный вес сыпучего материала, Н/м³;

ρ – плотность перемещаемого материала, кг/м³;

h – высота материала на рассматриваемом радиусе r , м.

Нормальное давление, оказываемое сыпучим материалом на кожух СВТ, можно вычислить по полуэмпирической формуле:

$$p_n = k_j p_v, \quad (2)$$

где $k_j = 0,4 \div 1,0$, при этом большее значение следует использовать в расчетах быстроходного режима, а меньшее – в тихоходном.

В случае быстроходного СВТ, т.е. при высоких скоростях вращения доминируют центробежные силы и рассмотренные давления p_v , p_n совпадают, их распределение становится постоянным.

При промежуточной скорости вращения распределение давлений является комбинацией двух предыдущих случаев.

Рассмотрим элементарный объем сыпучего материала с весом ΔW . Нормальная сила, действующая на кожух СВТ, обусловлена нормальным давлением p_n и имеет вид

$$\Delta N_a = k_s \Delta W, \quad (3)$$

где $k_s = 2k_j \eta_F (p/D)$;

η_F – отвечает за уровень заполнения кожуха материалом;

p – шаг навивки спирального винта;

D – внутренний диаметр кожуха СВТ.

При этом выражение для центробежной силы имеет вид

$$\Delta N_c = \frac{\Delta W V_A^2 \cos^2 \lambda}{rg}. \quad (4)$$

Вращательная компонента скорости частицы выражается через абсолютную:

$$V_T = V_A \cos \lambda, \quad (5)$$

где $\lambda = (\vec{V}_S \wedge \vec{V}_A)$ – угол между тангенциальной скоростью спирального винта и абсолютной скоростью.

Таким образом,

$$\Delta N_c = \frac{\Delta W V_T^2}{rg}, \quad (6)$$

где

$$V_T = \left[\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \lambda} \right] V_S. \quad (7)$$

Угол подъема винтовой линии α исходя из простейших геометрических соображений выражается как

$$\alpha = \arctan \frac{p}{2\pi r}, \quad (8)$$

где, как уже отмечалось выше, p – шаг винта, м;

$V_S = r\omega$, следовательно, (6) можно переписать в другом виде

$$\Delta N_c = \Delta W \left[\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \lambda} \right]^2 \frac{r\omega^2}{g}. \quad (9)$$

В общем случае комбинации центробежного и нормального давлений

$$\Delta P = \frac{\Delta W}{S} \left\{ k_s + \left[\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \lambda} \right]^2 \frac{r\omega^2}{g} \right\}, \quad (10)$$

где S – площадь рассматриваемого участка.

Исходя из (10) можно оценить производительность вертикально расположенного СВТ. Выгрузной патрубков расположен так, как показано на рисунке 1, поэтому давление сыпучей массы на кожух определяет массовый расход материала. Таким образом, производительность СВТ $Q \propto \Delta P$.

Экспериментальное измерение давления. Экспериментальное изучение проводилось на действующем экспериментальном стенде: СВТ с диаметром кожуха 40 мм, диаметром спирального винта 35 мм, диаметром проволоки 4 мм, с отношением длины заборного окна 20 мм к шагу спирального винта 1:1 (рис. 1). В качестве образца сыпучего материала была выбрана пшеница. Варьируя радиальное расположение промышленных датчиков давления типа «Сапфир» в теле СВТ с выводом информации давления в интервале времени проведения эксперимента, были получены экспериментальные значения. Так,

на рисунке 2 изображен интерфейс рабочего окна, представляющего результаты измерений на дисплее программируемого электронного устройства. В верхнем левом углу указана вероятность гауссовости, ниже – значения давления в течение времени эксперимента и ряд других параметров. Усредненные результаты по времени для каждой контролируемой точки представлены на рисунке 3.

Результаты и их обсуждение

Введение безразмерного параметра $\omega^2 r/g$ облегчило представление экспериментальных данных, более того безразмерность этой величины позволяет использовать результаты измерений при расчетах СВТ с другими геометрико-режимными параметрами. Из рисунка 3 следует, что экспериментальные данные находятся в тесном согласии с теоретическими предсказаниями, что придает развиваемой теории достоверность.

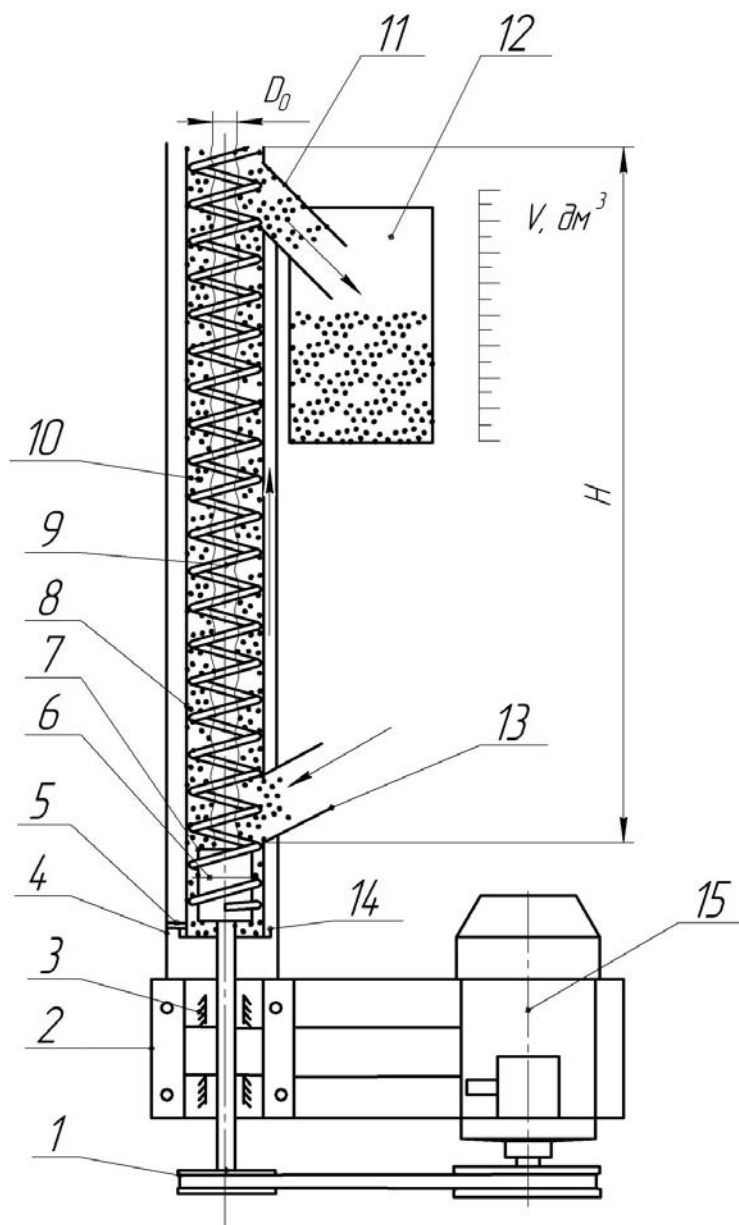


Рис. 1. Общая схема и устройство транспортера:

- 1 – шкив; 2 – рама; 3 – подшипник; 4 – каркас; 5 – обвязка; 6 – болт; 7 – втулка; 8 – кожух; 9 – пружина; 10 – зерно; 11 – патрубок; 12 – мерная ёмкость; 13 – загрузка; 14 – уплотнение; 15 – двигатель; $H = 1,97$ м – высота подъема; D_0 – диаметр ожидаемого пустотного кольца; $\rho = 740$ кг/м³



Рис. 2. Диалоговое окно программируемого электронного устройства

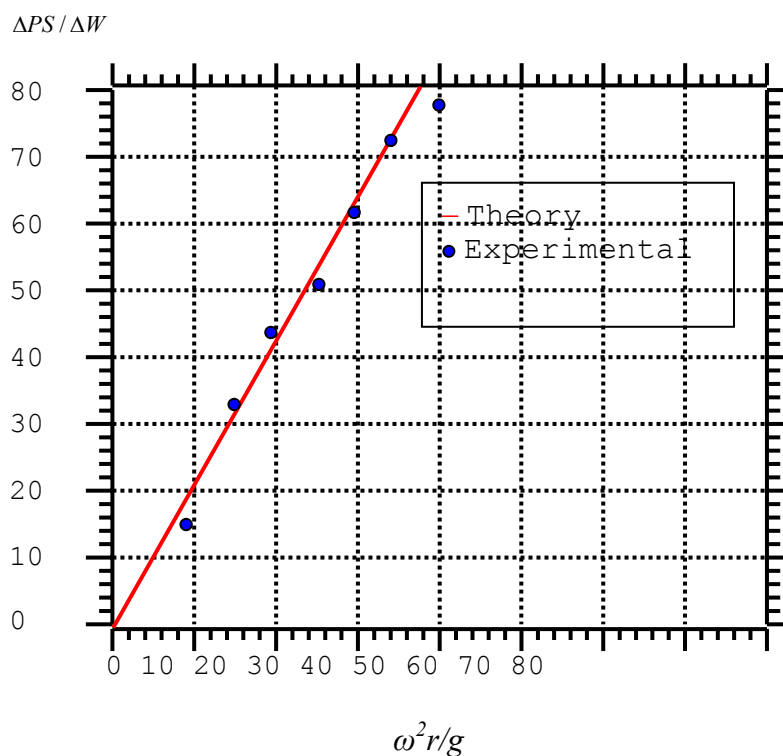


Рис. 3. Безразмерный график зависимости давления от радиуса рукава СВТ

Заключение

Таким образом, итоговое выражение для давления (10) играет важную роль в конструкционном исполнении СВТ, т.к. позволяет аналитически предсказывать возникающие давления в произвольной точке в кожухе СВТ при соответствующих

режимных и геометрических параметрах. Более того (10) дает основание для предсказания производительности вертикального СВТ. Приведенная классификация режимов работы устройства и соответствующие выражения для давлений упрощают инженерный расчет.

Библиографический список

1. Poddevyn M. Selecting the best conveyor. [Электронный ресурс] / M. Poddevyn // Режим доступа: www.machine-design.com/article/selecting-the-best-conveyor-0821.
2. Кудзиев Э.П. Повышение производительности высокоскоростных винтовых транспортеров / Э.П. Кудзиев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1970. – № 12. – С. 6-9.
3. Золотарев П.С. Достоинства спирально-винтового транспортера как транспортера семян сельскохозяйственных культур / П.С. Золотарев // Агро XXI. – 2009. – № 10-12. – С. 47-48.
4. Исаев Ю.М. Длинномерные спирально-винтовые транспортирующие устройства: монография / Ю.М. Исаев. – Ульяновск: ФГОУ ВПО УГСХА, 2006. – 433 с.
5. Артемьев В.Г. Пружинно-транспортирующие рабочие органы сельскохозяйственных машин / В.Г. Артемьев. – Ульяновск: УСИ (УНЦСХ), 1995. – 195 с.
6. Исаев Ю.М. Динамический анализ процесса перемещения сыпучего материала в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, П.С. Золотарев // Вклад молодых ученых в развитие инноваций аграрной науки: Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева (23-24 апреля 2009 г.). – М.: Изд-во РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2009. – С. 636-641.
7. Резник Е.И. Двухспиральные винтовые транспортеры / Е.И. Резник // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1970. – № 10. – С. 57-59.

