

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА РОТОРНО-БИЛЬНОГО ОБМОЛАЧИВАЮЩЕГО АППАРАТА

Д. Ю. СИМОНЕНКО, студент
М. В. ЦАЙЦ, канд. техн. наук
В. А. ЛЕВЧУК, канд. техн. наук, доцент
И. А. САВЧЕНКО, Р. П. КОЗЛОВ, студенты

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. Производственные испытания прицепного льноуборочного комбайна Двина-4М с роторно-бильным обмолачивающим аппаратом показали высокую эффективность применения обмолота в качестве способа отделения семенной части от стеблей льна [1, 2]. Вместе с тем получаемый при обмолоте семенной ворох льна, существенно отличается по размерно-массовым характеристикам и содержанию примесей от вороха, формируемого при работе очесывающего аппарата [3, 4]. Реализация отделения семенной части от стеблей путем применения роторно-бильного аппарата в технологической схеме льноуборочного комбайна приводит к созданию сложности сбора получаемого семенного вороха льна [5, 6, 10, 11].

Основная часть. Приняв за основу конструкцию устройства с пневмотранспортированием вороха из камеры отделения, выполним математическое моделирование процесса пневмотранспортирования мелкого вороха.

Пневмотранспортер для перемещения мелкого льняного вороха (рис. 1) состоит из двух участков: наклонного материалопровода и отвода (криволинейного участка с углом поворота 90°). Основными конструктивными параметрами пневмотранспортера являются: длина материалопровода – l , диаметр трубы – D , угол наклона материалопровода – α и угол отвода материалопровода – φ . Рассмотрим движение материала на каждом участке в отдельности.

При анализе движения материала в наклонной трубе предположим, что ворох представляет собой монодисперсную среду, состоящую из однородных f -частиц. При описании процесса транспортировки материала примем следующие допущения:

1. Пренебрегаем сжимаемостью несущей среды, т. е. принимаем плотность воздуха $\rho = \text{const}$.

2. Поток дисперсных частиц и воздуха считаем изотермическим двухкомпонентным, с взаимным скольжением компонентов.

3. Диаметр материалопровода, считаем значительно меньше его длины.

Введем следующие обозначения: v_x – скорость материала вдоль длины материалопровода (вдоль оси OX); v_y – скорость материала, направленная перпендикулярно оси OX материалопровода; c – скорость воздушного потока; c_s – скорость витания твердого компонента.

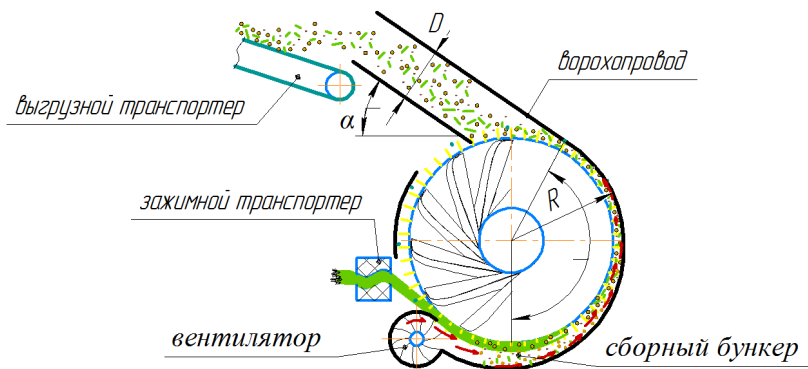


Рис. 1. Схема для определения основных конструктивных параметров пневмотранспортера

С учетом принятых обозначений схема сил, действующих на частицу вороха в наклонном материалопроводе изображена на рис. 2.

При движении частицы вороха в материалопроводе, составляющим с горизонтом угол α используем уравнения [7, 9]:

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{g}{c_s^2} (c - v_x)^2 - g \cdot \sin \alpha ; \quad (1)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{g}{c_s^2} (c - v_x) \cdot v_y - g \cdot \cos \alpha , \quad (2)$$

где g – ускорение силы тяжести.

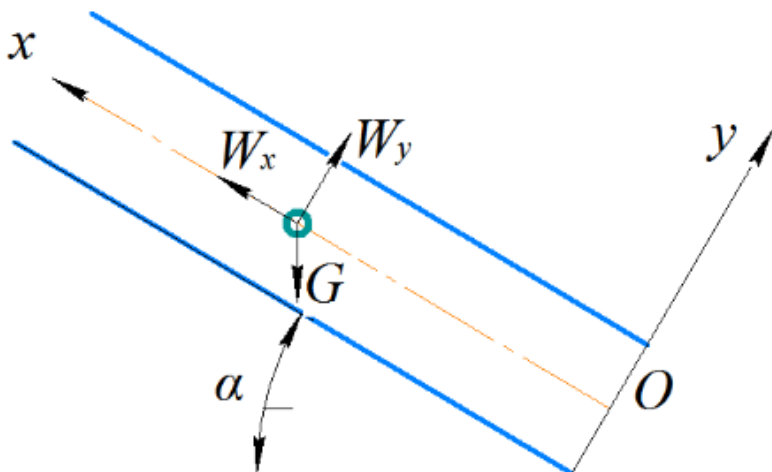


Рис. 2. Схема сил, действующих на частицу вороха в наклонном материалопроводе:
 W_x – сила сопротивления движению частицы в воздушном потоке по оси OX;
 W_y – сила сопротивления движению частицы в воздушном потоке по оси OY;
 G – сила тяжести

Интегрирование уравнения (1) выполняем, вводя величину $u = c - v_x$, в результате получим:

$$\frac{du}{dt} = g \cdot \sin \alpha \left(\frac{u^2}{c_s^2 \cdot \sin \alpha} - 1 \right). \quad (3)$$

При $u > c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha}$, после интегрирования имеем:

$$\ln \frac{u - c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha}}{u + c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha}} = -2 \frac{gt \cdot \sqrt{\sin \alpha}}{c_s} + \ln C. \quad (4)$$

Предполагая, что при $t = 0$, $u = u_0 = c - v_0$ определим значение C :

$$C = \frac{u_0 - c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha}}{u_0 + c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha}} \quad (5)$$

или полагая [50], что $C = e^{-2mr}$ где

$$m = \frac{g \cdot \sqrt{\sin \alpha}}{c_s}, \quad \tau = \frac{1 \cdot Arthu_0}{m \cdot c_s}, \quad (6)$$

окончательно для u получим выражение:

$$u = c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha} \cdot cthm(t + \tau). \quad (7)$$

Из уравнения (6) найдем v_x по формуле:

$$u_x = c - c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha} \cdot cthm(m + \tau). \quad (8)$$

Интегрируя выражение (8) от 0 до L находим, что длина материалапровода определяется по формуле

$$L = x - x_0 = ct - \frac{c_s \cdot \sqrt{\sin \alpha}}{m} \cdot \ln \frac{shm(t + \tau)}{shm(\tau)}. \quad (9)$$

Определив по формуле (7), находим v_y из (2), заменив его значением:

$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{g}{c_s} \sqrt{\sin \alpha} \cdot v_y \cdot cthm(t + \tau) - g \cdot \cos \alpha. \quad (10)$$

Для интегрирования выражения (10) положим [8]:

$$v_y = z \cdot V, \quad (11)$$

где V и z удовлетворяют уравнениям:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{g}{c_s} \sqrt{\sin \alpha} \cdot V \cdot cthm(t + \tau) \quad (12)$$

и

$$\frac{dz}{dt} = -g \cdot \cos \alpha \cdot V^{-1}. \quad (13)$$

Интегрируя выражение (10), получим:

$$V = \frac{1}{shm(t + \alpha)}. \quad (14)$$

После подстановки (14) в (13) и интегрирования, имеем:

$$z = c - \frac{g \cdot \cos \alpha}{m} shm(t + \tau). \quad (15)$$

Перемножая выражения (14) и (15), найдем v_y :

$$v_y = \frac{c}{shm(t + \tau)} - \frac{g \cdot \cos \alpha}{m} cthm(t + \tau). \quad (16)$$

Полагая при $t = 0$, $v_y = b$, находим:

$$b = \frac{C}{shm(\tau)} - \frac{g \cdot \cos \alpha}{m} cthm(\tau). \quad (17)$$

Выразив постоянную C из (17), имеем:

$$C = b \cdot shm(\tau) + \frac{g \cdot \cos \alpha}{m} cthm(\tau). \quad (18)$$

После подстановки (18) в выражение (16) и упрощения, получим:

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{b \cdot shm(\tau)}{shm(t + \tau)} + \frac{g \cdot \cos \alpha}{m} [cthm(\tau) - cthm(t + \tau)]. \quad (19)$$

Интегрируя уравнение (19), найдем:

$$y = C_1 + \frac{1}{2m} \ln \frac{chm(t + \tau) - 1}{chm(t + \tau) + 1} + \frac{g \cdot \cos \alpha}{m} \left[t \cdot chm(\tau) - \frac{1}{m} \ln shm(t + \tau) \right]. \quad (20)$$

Полагая при $t = 0$, $y = y_0$, найдем C_1 :

$$C_1 = y_0 - \frac{1}{2m} \ln \frac{chm(\tau) - 1}{chm(\tau) + 1} + \frac{g \cdot \cos \alpha}{m^2} \ln shm(\tau). \quad (21)$$

Учитывая выражения (20) и (21) диаметр материлопровода рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{1}{m} \ln \frac{tg \frac{m(t + \tau)}{2}}{tg \frac{m\tau}{2}} - \frac{g \cdot \cos \alpha}{m^2} \ln \frac{shm(t + \tau)}{chm(\tau)} + \frac{tg \cos \alpha}{m} cthm(\tau). \quad (22)$$

Задаваясь исходными данными, рассчитываем значения конструктивных параметров пневмотранспортера (таблица).

Значения конструктивных параметров пневмотранспортера

Параметр	Значение
Длина материалопровода, м	2,5–3,0
Диаметр материалопровода, м	0,05–0,15
Угол поворота отвода, град	70–90

Заключение. Решение проблемы сбора и транспортировки может быть решено путем применения механизма пневмотранспортирования выделенного семенного вороха. Включение в процесс отделения семенной части воздушного потока в направлении транспортирования семенного вороха требует дополнительных исследований пневмотранспортирующего механизма.

В результате теоретических исследований получены аналитические зависимости для определения конструктивных параметров пневмотранспортирующего устройства роторно-бильного аппарата которые позволили определить значения: длина материалопровода – 2,5...3,0 м; диаметр материалопровода – 0,05...0,15 м; угол поворота отвода – 70°...90°.

ЛИТЕРАТУРА

1. Результаты производственных испытаний и экономическая оценка применения роторного бильно-вычесывающего устройства на льноуборочном комбайне / В. А. Шаршунов, В. Н. Босак, М. В. Цайц [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 324–336. – DOI 10.29235/1817-7204-2023-61-4-324-336.
2. Повышение эффективности получения семян льна-долгунца при комбайновой уборке / В. А. Шаршунов, М. В. Цайц, С. В. Курзенков [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 7 (146). – С. 44–59. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-7-44-59.
3. Цайц, М. В. Сравнительный анализ размерно-массовых характеристик вороха льна-долгунца / М. В. Цайц // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 285–289.
4. Цайц, М. В. Отделение семенной части от стеблей льна роторнобильным аппаратом при комбайновой уборке: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. В. Цайц; БГСХА. – Горки, 2024. – 27 с.
5. Перспективы развития и совершенствования процесса отделения семенной части от стеблей льна / В. А. Шаршунов, М. В. Цайц, В. А. Левчук [и др.] // Вестник БГСХА. – 2024. – № 3. – С. 132–136.

6. Повышение эффективности уборки льна-долгунца методом обмолота семенных коробочек на стеблях / С. В. Курзенков, М. В. Цайц, В. А. Левчук, И. А. Савченко // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2024. – № 1 (23). – С. 276–281.

7. Разумов, И. М. Пневмо- и гидротранспорт в химической промышленности / И. М. Разумов. – М.: Химия, 1979. – 248 с.

8. Курс высшей математики / под ред. П. И. Романовского. – М.: Высш. шк., 1964. – 357 с.

9. Цайц, М. В. Отделение семенной части от стеблей льна роторно-бильным аппаратом при комбайновой уборке: дис. ... канд. техн. наук / М. В. Цайц; БГСХА. – Горки, 2024. – 239 с.

10. Обоснование конструкционных параметров бичей роторно-бильного обмолачивающего аппарата / В. А. Шаршунов, М. В. Цайц, В. А. Левчук [и др.] // Вестник БГСХА. – 2024. – № 2. – С. 147–153.

11. Левчук, В. А. Обмолот лент льнотресты в линии первичной переработки очесывающе-плющильным аппаратом: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: дис. ... канд. техн. наук / В. А. Левчук; БГСХА. – Горки, 2023. – 236 с.

Аннотация. Приведены теоретические исследования пневмотранспортера льняного вороха, формируемого роторно-бильным аппаратом при отделении семенной части от стеблей льна. В результате теоретических исследований получены аналитические зависимости для определения конструктивных параметров пневмотранспортирующего устройства роторно-бильного аппарата которые позволили определить значения: длина материалопровода – 2,5...3,0 м; диаметр материалопровода – 0,05...0,15 м; угол поворота отвода – 70...90°.

Ключевые слова: льняной ворох, потери семян, пневмотранспортер, роторно-бильный аппарат, отделение семенной части.