

УДК 631.3

UDC 631.3

05.00.00 Технические науки

05.00.00 Technical sciences

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДВИЖЕНИЯ СОЛОМИСТЫХ ЧАСТИЦ ПРИ
РАЗРАВНИВАНИИ ВАЛКА СЕНА**

**THEORETICAL INVESTIGATIONS OF
STRAW PARTICLES MOTION WHEN
LEVELING HAY ROLLS**

Тетерин Владимир Сергеевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код=7265-5603

Teterin Vladimir Sergeevich
postgraduate student
RSCI SPIN-code=7265-5603

Волченков Дмитрий Александрович
аспирант
РИНЦ SPIN-код=6256-0610

Volchenkov Dmitry Aleksandrovich
postgraduate student
RSCI SPIN-code=6256-0610

Костенко Михаил Юрьевич
д.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код= 2352-0690

Kostenko Mikhail Yurievich
Dr.Sci.Tech., associate professor
RSCI SPIN-code= 2352-0690

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код=1831-7116

Uspensky Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code=1831-7116

Рембалович Георгий Константинович
д.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код=9656-2331

Rembalovich George Konstantinovich
Dr.Sci.Tech., associate professor
RSCI SPIN-code=9656-2331

Голиков Алексей Анатольевич
к.т.н.
РИНЦ SPIN-код=8540-7098

*Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Golikov Alexey Anatolevich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code=8540-7098
*Ryazan State Agrotechnological University named
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Костенко Наталья Алексеевна
к.т.н.
РИНЦ SPIN-код= 5579-3034

*Рязанский филиал Московского государственного
университет путей сообщения, Рязань, Россия*

Kostenko Natalia Alekseevna
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code= 5579-3034
*Ryazan branch of the Moscow State University of
Railway Engineering, Ryazan, Russia*

В пресс-подборщиках с камерой постоянного объёма наблюдается неравномерность распределения плотности внутри рулона. Установлено, что наибольшая плотность сена по ширине рулона (ширине захвата подборщика) наблюдается в средней части. Это объясняется формой валка сена, который попадает в пресс-подборщик. Для разравнивания валка сена над подборщиком установлены вращающиеся диски с наклонными пружинными пальцами. Для улучшения распределения валка диски над подборщиком выдвинуты вперёд, образуя сходящий зазор. Разравнивающие диски, вращающиеся над движущимся валком, будут вызывать относительное движение соломистых частиц. Взаимодействие разравнивающих дисков с валком сена в вертикальной плоскости будет определяться упругостью валка сена и весом рамки с дисками. Проведено исследование траекторий движения соломистых частиц с помощью программы

One can see some density irregularity within the roll in the baler with a chamber of constant volume. We have found out that the maximum density of hay roll width (the baler width) is observed in the middle part. This is due to the shape of the hay roll entering the baler. To even the hay rolls they have mounted some rotating disks having some inclined spring pins above the baler. To improve the roller distribution the disks above the baler have been pushed forward forming a tapering gap. The evening discs rotating above the moving roll will cause some relative motion of hay particles. The interaction of the evening disks with the hay roll in the vertical plane will be determined by the elasticity of the hay roll and the weight of the frame with the disks. We have studied the trajectories of hay particles motion with the help of MathCad program. We have had the following initial parameters: the degree of compaction (decrease of the roll height when evening), the friction coefficient, the angle rate of the evening disks, the number of pins

MathCad. В качестве исходных параметров задавались: степень уплотнения (уменьшение высоты валка при разравнивании), коэффициент трения, угловая скорость разравнивающих дисков, количество пальцев, скорость движения валка сена. В результате получены траектории движения соломистых частиц при работе разравнивающих дисков. Анализ полученных траекторий позволил установить основные параметры разравнивающего устройства: расстояние между пальцами 0,15...0,2 м; степень уплотнения при разравнивании 20...25%, угловая скорость разравнивающих дисков 23...30 рад/с, диаметр разравнивающего диска 0,74 м. Применения разравнивающего устройства в виде разравнивающих дисков с пальцами позволяет обеспечить равномерное распределение соломистых частиц по ширине захвата подборщика, обеспечив предварительное уплотнение валка сена перед подачей в камеру прессования пресс-подборщика, что способствует получению рулонов с большей массой, равномерным распределением плотности сена внутри рулона

Ключевые слова: РУЛОН, ПЛОТНОСТЬ, УСИЛИЕ, ТРАЕКТОРИЯ ЧАСТИЦ, РАЗРАВНИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, ПОДБОРЩИК СЕНА, УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ

and the speed of the hay roll. As a result we have got the trajectories of the hay particles motion when the evening disks functioning. The analysis of the trajectories has allowed to establish some basic parameters of the evening device such as the distance of 0.15...0.2 m between the pins; the degree of compression while evening 20...25 %, the angle rate of the evening discs 23...30 rad / s and the diameter of the evening disc 0.74 m. The application of the evening device in the form of the disks with pins provides a uniform distribution of hay particles edgewise of the baler ensuring preliminary hay roll seal press before passing to the baler pressure chamber that contributes to getting the rolls with larger mass and a uniform distribution of hay density inside the roll

Keywords: ROLL, DENSITY, PRESSURE, PARTICLES TRAJECTORY, EVENER DEVICE, HAY GATHERER, ANGLE RATE

В пресс-подборщиках с камерой постоянного объёма наблюдается неравномерность распределения плотности внутри рулона. Неравномерность степени прессования внутри рулона отличается в разы [1, 4, 5, 6, 7]. Во время хранения рулонов происходит перераспределение напряжений, при этом общая картина сохраняется.

В результате исследований плотности сена внутри рулона было установлено, что наибольшая плотность сена по ширине рулона (ширине захвата подборщика) наблюдается в средней части. Это объясняется формой валка сена, который попадает в пресс-подборщик, его поперечное сечение представляет собой усечённый треугольник с углами, равными углам внутреннего трения сена [3]. В результате уплотнения валка, образованный рулон имеет более высокую плотность в средней части цилиндрической поверхности рулона (рис. 1).

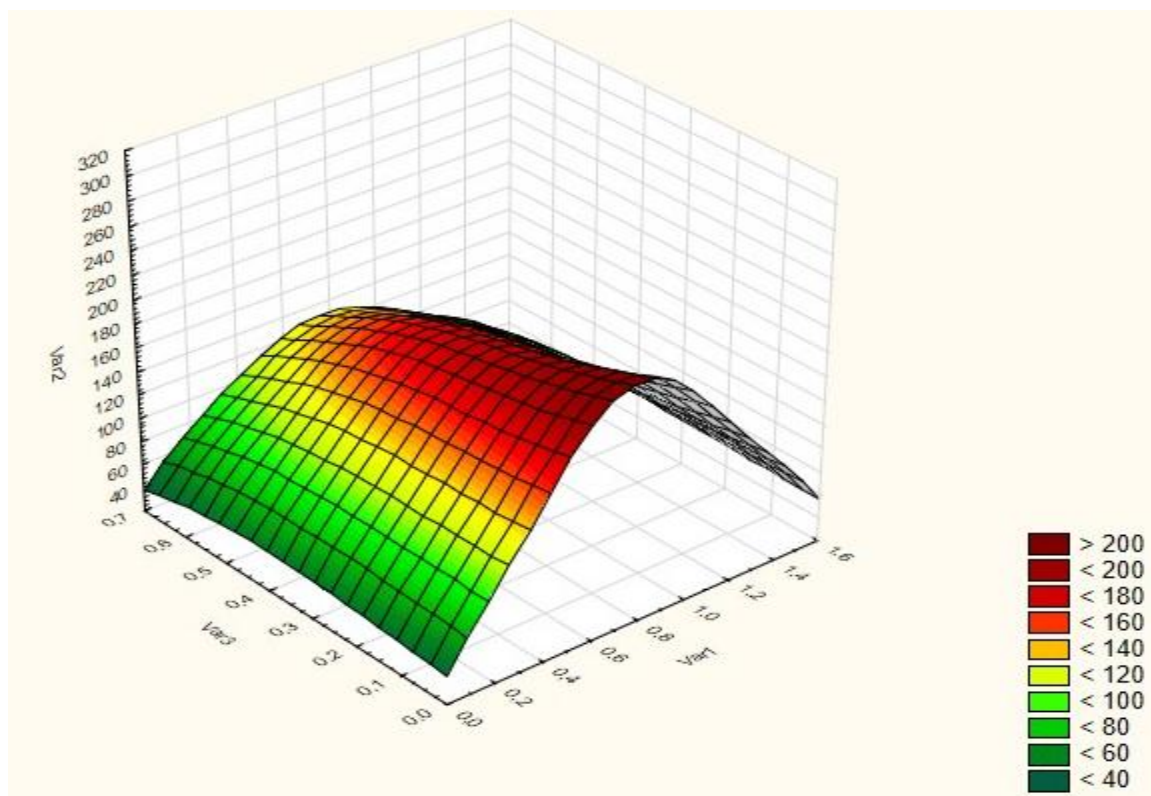


Рисунок 1 - Распределение плотности внутри рулона

Для разравнивания валка сена над подборщиком установлены вращающиеся диски с наклонными пальцами. Для улучшения распределения валка диски над подборщиком выдвинуты вперёд, образуя сходящийся зазор [2]. Учитывая, что подборщик вращается равномерно, движения валка осуществляется с постоянной скоростью V_n . Разравнивающие диски, вращающиеся над движущимся валком, будут вызывать относительное движение соломистых частиц. Рассмотрим движение соломистых частиц валка в подвижной системе координат (поступательное движение со скоростью V_n) (рис. 2).

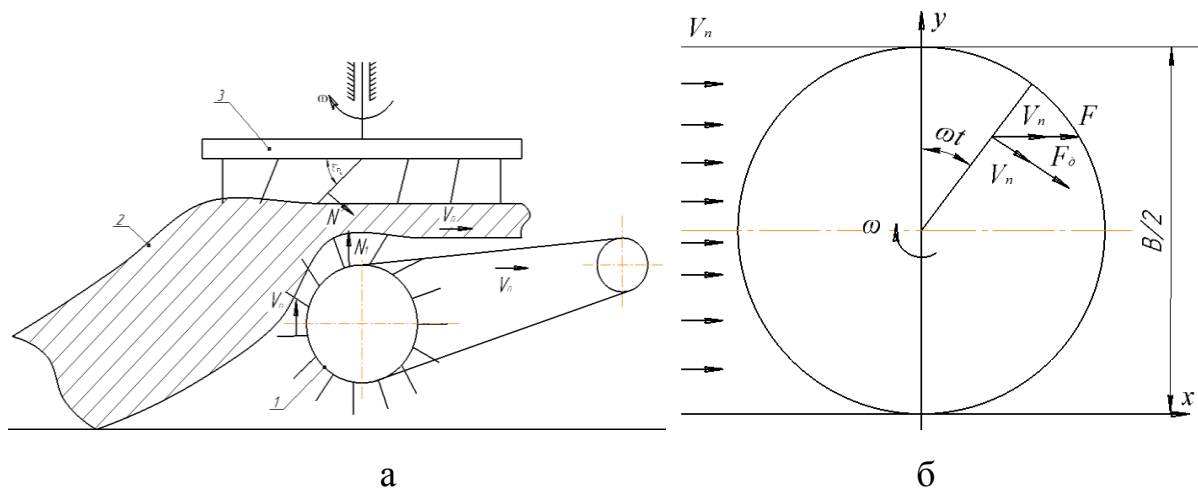
Запишем дифференциальные уравнения движения частиц

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_n + F_\delta \cos(\omega t) \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -F_\delta \sin(\omega t) \end{cases} \quad (1)$$

где F_n – усилие воздействия подборщика на валок сена, Н;

F_0 – усилие воздействие разравнивающих дисков на валок сена, Н;

ω – частота вращения дисков, c^{-1} .



1 – подборщик; 2 – валок сена; 3 – разравнивающие диски.

Рисунок 2 - Схема к определению закона движения частиц при разравнивании валка

Так как валок неравномерно распределён по ширине захвата подборщика, то степень уплотнения, соответственно и усилия будут меняться по ширине захвата. Для предотвращения забивания подборщика, рамка с разравнивающими дисками имеет возможность подъёма (увеличивая зазор). Рассмотрим равновесие рамки с разравнивающими дисками (рис. 3).

Валок сена будет испытывать воздействие с двух сторон:

- Сверху со стороны разравнивающих дисков;
- Снизу со стороны подборщика.

Взаимодействие разравнивающих дисков с валком сена в вертикальной плоскости будет определяться упругостью валка сена и весом рамки с дисками. Так как диски симметрично расположены относительно середины валка, вес конструкции разделим на две части, равные $G/2$. Упругость сена, в свою очередь определяется степенью уплотнения (первоначальной высотой валка на данном расстоянии от

центра). $F_{упр} = \Delta h \cdot c$, причем

$$F_{упр} = \Delta h \cdot c \leq G \quad (2)$$

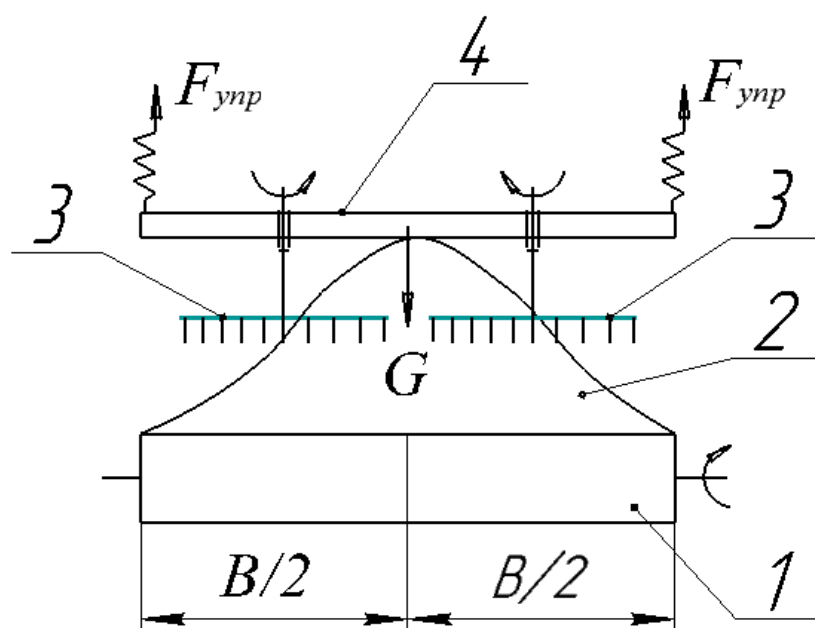
где $F_{упр}$ – сила упругости сена, Н;

Δh – уменьшение высоты валка при разравнивании, м;

c – коэффициент упругости сена, Н/м.

В результате исследования поперечного профиля валка сена перед прессованием, получена зависимость

$$h(b) = -0.016 + 0.9498b - 0.5926b^2 \quad (3)$$



1 – подборщик; 2 – валок сена; 3 – разравнивающие диски; 4 – рамка.

Рисунок 3 – Расчётная схема к определению взаимодействия валка с подборщиком и разравнивающими дисками

Учитывая, что валок в процессе работы разравнивающих дисков равномерно распределяется, определим среднюю высоту валка по ширине захвата.

Для этого определим площадь поперечного сечения валка

$$S = \int_0^y h(b)db = \int_0^y (-0.016 + 0.9498b - 0.5926b^2)db \quad (4)$$

Проинтегрировав, имеем

$$h_{cp} = \frac{S}{b} = \frac{-0.016b + 0.9498 \frac{b^2}{2} - 0.5926 \frac{b^3}{3}}{b} \quad (5)$$

Уплотнение валка перед прессованием

$$\Delta h = h_{cp} - h_0 = -0.016 + 0.9498b - 0.5926b^2 - 0.1 \quad (6)$$

где h_0 – величина зазора между пальцами разравнивающего диска и подборщиком.

Подставив в выражение (2) значения величин выражений (4, 5, 6), имеем:

$$F_{yup} = c\Delta h = c(-0.116 + 0.4749b - 0.1975b^2) \quad (7)$$

Так как скорость валка сена постоянна, взаимодействие диска с сеном можно исследовать в статике. Таким образом, нормальная реакция поверхности диска

$$N_1 = \frac{F_{yup}}{n} \quad (8)$$

где n – количество пальцев, шт.

При этом нормальная реакция разравнивающего диска, вращающегося с постоянной угловой скоростью, будет реализовываться через воздействие пальцев диска, установленных под углом 45° .

$$N_1 = \frac{N_n}{\sin 45^\circ} \quad (9)$$

где N_n – сила нормального давления поверхности пальца.

В результате усилия воздействия разравнивающих дисков на валок сена:

$$F_\delta = N_1 \cdot f_{\text{вн}} = f_{\text{вн}} \cdot \frac{N_n}{\sin 45^\circ} \quad (10)$$

где $f_{\text{вн}}$ – коэффициент внутреннего трения валка сена.

При воздействии валка на подборщик, помимо силы упругости сена, на подборщик будет действовать вес валка сена.

Чтобы учесть совместное действие силы упругости и веса сена, выберем единицу объёма, приходящуюся на один палец разравнивающего диска

$$V = \frac{S_{\delta}}{n} \cdot h_{cp} = \frac{\pi d^2}{4n} \cdot h_{cp} \quad (11)$$

Тогда вес единицы объёма валка

$$P = mg = V \cdot \gamma \cdot g = \frac{\pi d^2}{4n} \cdot h_{cp} \cdot \gamma \cdot g \quad (12)$$

где S_{δ} – площадь разравнивающего диска, м²;

d – диаметр диска, м;

γ – объёмная масса валка сена, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

P – вес единицы объёма валка, Н.

Таким образом, нормальное давление единицы объёма валка со стороны подборщика (снизу) будет

$$N_2 = \frac{F_{yup}}{n} + P \quad (13)$$

Тогда усилие воздействия подборщика на валок

$$F_n = N_2 \cdot f_{\text{ен}} = f_{\text{ен}} \left(\frac{F_{yup}}{n} + P \right) \quad (14)$$

Подставив полученные выражения (7), (10), (14) в уравнение (1), получим:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = f_{\text{ен}} \cdot \left(\frac{F_{yup}}{n} + P \right) + f_{\text{ен}\delta} \cdot \frac{F_{yup}}{n} \cdot \cos(\omega t) \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -f_{\text{ен}\delta} \cdot \frac{F_{yup}}{n} \cdot \sin(\omega t) \end{cases} \quad (15)$$

Проведём преобразование выражения

$$\begin{cases} \int_{V_{0x}}^{V_x} dV_x = \frac{1}{m} \int_0^t \left[f_{\text{ен}} \cdot \left(\frac{F_{yup}}{n} + P \right) + f_{\text{ен}\delta} \cdot \frac{F_{yup}}{n} \cdot \cos(\omega t) \right] dt \\ \int_{V_{0y}}^{V_y} dV_y = \frac{1}{m} \int_0^t \left[-f_{\text{ен}\delta} \cdot \frac{F_{yup}}{n} \cdot \sin(\omega t) \right] dt \end{cases} \quad (16)$$

Проинтегрировав, получим

$$\begin{cases} V_x - V_{0x} = \frac{1}{m} \left[f_{\text{вн}} \cdot \left(\frac{F_{\text{ynp}}}{n} + P \right) \cdot t + f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot \sin(\omega t) \right]_0^t \\ V_y - V_{0y} = \frac{1}{m} f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot \cos(\omega t) \Big|_0^t \end{cases} \quad (17)$$

Подставив пределы интегрирования

$$\begin{cases} V_x = V_{0x} + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \left[\left(\frac{F_{\text{ynp}}}{n} + P \right) \cdot t + \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot \sin(\omega t) \right] \\ V_y = V_{0y} + \frac{1}{m} f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot (\cos(\omega t) - 1) \end{cases} \quad (18)$$

Преобразуем выражения

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V_{0x} + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \left[\left(\frac{F_{\text{ynp}}}{n} + P \right) \cdot t + \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot \sin(\omega t) \right] \\ \frac{dy}{dt} = V_{0y} + \frac{1}{m} f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot (\cos(\omega t) - 1) \end{cases} \quad (19)$$

Проинтегрируем полученные выражения

$$\begin{cases} \int_{x_0}^x dx = \int_0^t \left[V_{0x} + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \left[\left(\frac{F_{\text{ynp}}}{n} + P \right) \cdot t + \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot \sin(\omega t) \right] \right] dt \\ \int_{y_0}^y \frac{dy}{dt} = \int_0^t \left[V_{0y} + \frac{1}{m} f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot (\cos(\omega t) - 1) \right] dt \end{cases} \quad (20)$$

Проинтегрировав, подставим пределы интегрирования

$$\begin{cases} x - x_0 = V_{0x} \cdot t + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \left[\left(\frac{F_{\text{ynp}}}{n} + P \right) \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega^2} \cdot \cos(\omega t) \right]_0^t \\ y - y_0 = V_{0y} \cdot t + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot \left(\frac{1}{\omega} \sin(\omega t) - t \right) \Big|_0^t \end{cases} \quad (21)$$

Подставив пределы интегрирования, имеем:

$$\begin{cases} x = x_0 + V_{0x} \cdot t + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \left[\left(\frac{F_{\text{ynp}}}{n} + P \right) \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega^2} \cdot \cos(\omega t) \right] + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega^2} \\ y = y_0 + V_{0y} \cdot t + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{ynp}}}{n \cdot \omega} \cdot \left(\frac{1}{\omega} \sin(\omega t) - t \right) \end{cases} \quad (22)$$

Окончательно получим

$$\begin{cases} x = x_0 + V_{0x} \cdot t + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \left[\left(\frac{F_{\text{упр}}}{n} + P \right) \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{F_{\text{упр}}}{n \cdot \omega^2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{F_{\text{упр}}}{n \cdot \omega^2} \right] \\ y = y_0 + V_{0y} \cdot t + \frac{1}{m} \cdot f_{\text{вн}} \cdot \frac{F_{\text{упр}}}{n \cdot \omega} \cdot \left(\frac{1}{\omega} \sin(\omega t) - t \right) \end{cases} \quad (23)$$

На основании полученного выражения было проведено исследование траекторий движения солоmistых частиц с помощью программы MathCad. В качестве исходных параметров задавались: степень уплотнения (уменьшение высоты валка при разравнивании), коэффициент трения, угловая скорость разравнивающих дисков, количество пальцев, скорость движения валка сена. В результате проведённых исследований получен график траекторий движения солоmistых частиц при работе разравнивающих дисков (рис. 4). Также установлено, что на смещение солоmistых частиц оказывают существенное влияние количества пальцев разравнивающих дисков и расстояние между ними, угловая скорость разравнивающих дисков и величина уплотнения валка сена.

Из рисунка видно, что смещение солоmistых частиц находящихся ближе к центру разравнивающего диска несколько ниже, поэтому пальцы располагаются на диске в два ряда с преимущественным расположением по периферии, анализ полученных траекторий позволил установить основные параметры разравнивающего устройства: расстояние между пальцами 0,15...0,2 м; степень уплотнения при разравнивании 20...25%, угловая скорость 23...30 рад/с, диаметр разравнивающего диска 0,74 м.

Таким образом, применения разравнивающего устройства в виде разравнивающих дисков с пальцами позволяет обеспечить равномерное

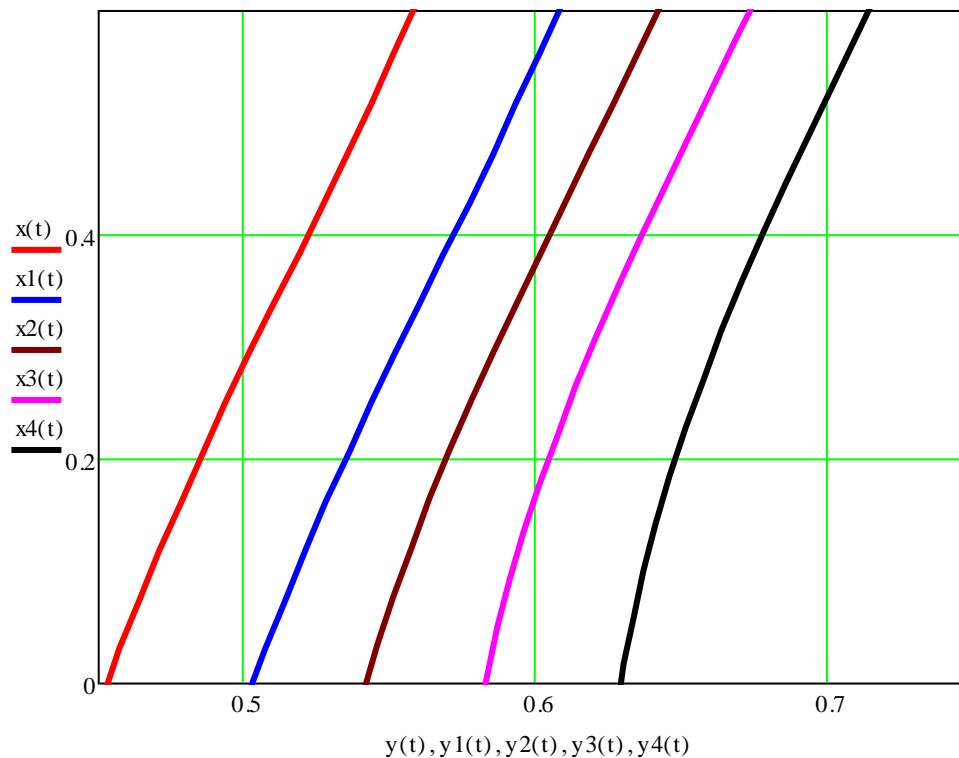


Рисунок 4 – Траектории движения соломистых частиц

распределение соломистых частиц по ширине захвата подборщика, обеспечив предварительное уплотнение вала сена перед подачей в камеру прессования пресс-подборщика, что способствует получению рулонов с большей массой, равномерным распределением плотности сена [3, 5, 6, 7].

Список литературы

1. Тетерин, В.С. Анализ способов обеспечения сохранности прессованного сена / В.С. Тетерин, О.А. Тетерина, М.Ю. Костенко // Молодежь и аграрная наука XXI века: материалы VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Курск: Изд-во Курской ГСХА, 2015. – С 92-98.
2. Костенко, М.Ю. Разработка и исследование дисковых элементов подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М.Ю. Костенко. - Рязань, 1994. - 144 с.
3. Особов В.И. Механическая технология кормов / В.И. Особов. - М.: Колос, 2009. – 447 с.
4. Тетерин, В.С. Технология консервации прессованного сена с применением гуминовых кислот / В.С. Тетерин // Инновационные методы решения научных и технологических задач Рязанской области: тезисы докладов региональной конференции молодых учёных. – Рязань: Изд-во РГРТУ. - 2014. - С. 109-112.
5. Обоснование ширины захвата полотняно-транспортного подборщика

машины для подбора сена / Ю.В. Полищук [и др.] // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: материалы научно-практической конференции. – Углич: Изд-во Известия, 2012. – С. 453-459.

6. Современное состояние и тенденции развития сельскохозяйственной техники: научно-аналитический обзор / А.А. Ежевский [и др.]. - М.: Изд-во: ФГНУ "Росинформагротех", 2005. - 224 с.

7. Кузнецов Н.Н. Повышение эффективности заготовки прессованного в рулоны сена путем оптимизации параметров процесса сушки и режимов работы оборудования: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.Н. Кузнецов. - СПб, 2007. - 129 с.

References

1. Teterin, V.S. Analiz sposobov obespechenija sohrannosti pressovannogo sena / V.S. Teterin, O.A. Teterina, M.Ju. Kostenko // Molodezh' i agrarnaja nauka XXI veka: materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. – Kursk: Izd-vo Kurskoj GSHA, 2015. – S 92-98.

2. Kostenko, M.Ju. Razrabotka i issledovanie diskovyh jelementov podkapryvajushhih rabochih organov kartofeleuborochnyh mashin: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 / M.Ju. Kostenko. - Rjazan', 1994. - 144 s.

3. Osobov V.I. Mehanicheskaja tehnologija kormov / V.I. Osobov. - M.: Kolos, 2009. – 447 s.

4. Teterin, V.S. Tehnologija konservacii pressovannogo sena s primeneniem guminovyh kislot / V.S. Teterin // Innovacionnye metody reshenija nauchnyh i tehnologicheskikh zadach Rjazanskoj oblasti: tezisy dokladov regional'noj konferencii molodyh uchjonyh. – Rjazan': Izd-vo RGRTU. - 2014. - S. 109-112.

5. Obosnovanie shiriny zahvata polotnjano-transportnogo podborshhika mashiny dlja podbora sena / Ju.V. Polishhuk [i dr.] // Modernizacija sel'skohozejstvennogo proizvodstva na baze innovacionnyh mashinnyh tehnologij i avtomatizirovannyh sistem: materialy nauchno-prakticheskoj konferencii. – Uglich: Izd-vo Izvestija, 2012. – S. 453-459.

6. Sovremennoe sostojanie i tendencii razvitija sel'skohozejstvennoj tehniki: nauchno-analiticheskij obzor / A.A. Ezhevskij [i dr.]. - M.: Izd-vo: FGNU "Rosinformagroteh", 2005. - 224 s.

7. Kuznecov N.N. Povyshenie jeffektivnosti zagotovki pressovannogo v rulony sena putem optimizacii parametrov processa sushki i rezhimov raboty oborudovanija: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 / N.N. Kuznecov. - SPb, 2007. - 129 s.