

К ТЕОРИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПИТАТЕЛЕЙ ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ С ЗАЧЕРПЫВАЮЩИМИ ЛАПАМИ

Бахарев Д.Н., к.т.н., доцент.

(Луганский национальный аграрный университет)

Рассмотрен насыпной бурт початков кукурузы как система взаимосвязанных частиц. Изучено изменение полной механической энергии данной системы при внедрении в нее зачерпывающих лап питателя.

В настоящее время для создания погрузочных устройств, рабочие органы которого обладают повышенной эффективностью, ученым и исследователям необходимо осуществлять математическое моделирование среды, в которой данные рабочие органы выполняют свои функции. Поскольку любая среда – это система взаимосвязанных материальных точек или частиц, то ее поведение под действием рабочих органов можно описать при помощи уравнений движения. Однако в сложных системах, к которым можно отнести крупнокусковую сыпучую среду, состоящую из початков кукурузы, этот метод приводит к тому, что уравнения движения получаются настолько сложными, что их решение без грубых допущений становится практически невозможным. Поэтому возникает необходимость в поиске более рациональных методов математического моделирования. Одним из таких методов является описание процессов при помощи закона сохранения энергии импульса и момента импульса. Развитие данных методов имеет важное прикладное значение при создании новых рабочих органов погрузочных машин.

Изучением эффективности конструкций погрузочных устройств сыпучих материалов занимались следующие ученые: А.М. Борисов, М.Н. Фатеев, А.Х. Гохтель, Г.В. Родионов, К.С. Гурков, А.Д. Кальницкий, Е.А. Ревякина, В.А. Богомягих, К.В. Алферов, Л.В. Гячев, О.Д. Гагин, П.С. Бедило, И.И. Кандауров и др. [1-9]. Работы вышеприведенных ученых доказывают, что при разработке теоретических предпосылок для описания процессов взаимодействия рабочих органов погрузочных устройств с сыпучей средой используется три основных подхода: применение теории статики идеально сыпучей среды; использование эмпирических зависимостей; комбинация указанных методик. При использовании данных подходов возникают сложности с определением эффектов взаимодействия составных частей среды, учет которых значительно усложняет математические модели. В этом случае наиболее рационально применение закона сохранения энергии системы. Для насыпи початков кукурузы наиболее эффективными являются питатели с загребающими лапами.

Приращение кинетической энергии системы dT (при захвате початков лапой питателя) равно работе, которую совершают все силы, действующие на все частицы

системы. Выделив здесь внутренние и внешние силы, а также потенциальные и диссипативные силы, запишем [10, с. 87]:

$$dT = A_{\text{внеш}} + A_{\text{внутр}}^{\text{пот}} + A_{\text{внутр}}^{\text{дисс}}, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где $A_{\text{внеш}}$ – работа внешних сил, Дж;

$A_{\text{внутр}}^{\text{пот}}$ – работа потенциальных внутренних сил, Дж;

$A_{\text{внутр}}^{\text{дисс}}$ – работа диссипативных внутренних сил, Дж.

Учитывая, что работа внутренних потенциальных сил равна убыли собственной потенциальной энергии системы, т.е. $A_{\text{внутр}}^{\text{пот}} = -dU$ [10, с. 88]:

$$dT + dU = A_{\text{внеш}} + A_{\text{внутр}}^{\text{дисс}}, \text{ Дж}. \quad (2)$$

Изменение полной механической энергии системы [10, с. 88]:

$$dE = A_{\text{внеш}} + A_{\text{внутр}}^{\text{дисс}}, \text{ Дж}. \quad (3)$$

Выражение (3) следует понимать так. Изменение полной механической энергии системы равно сумме выполняемых работ всех сил инерции, сил трения и сопротивления. Важно отметить, что перемещение рассматривается в неинерциальной системе отсчета, а система частиц не является замкнутой.

Работа внешних сил $A_{\text{внеш}}$, при взаимодействии бурта с лапой, включает в себя работу внешних сил взаимодействия $A_{\text{внеш}}^{\text{вз}}$ и работу сил инерции $A_{\text{ин}}$:

$$dE = A_{\text{ин}} + A_{\text{внеш}}^{\text{вз}} + A_{\text{внутр}}^{\text{дисс}}, \text{ Дж}. \quad (4)$$

При загрузке (разгрузке) початков кукурузы из любого типа хранилищ или транспортных средств, в том числе и железнодорожных вагонов, применяют погрузчики, которые как система состоят из питателя и транспортера. Наиболее целесообразной конструкцией питателя початков кукурузы является конструкция с зачерпывающими лапами. Зачерпывающая лапа питателя, в процессе работы движется по траектории ABC (рис.1).

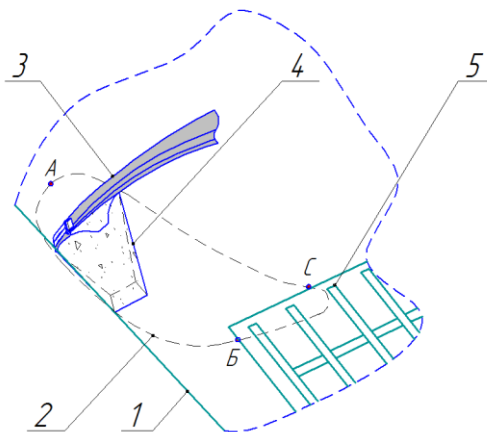


Рисунок 1 - Траектория движения лапы питателя:

1 – кромка плиты питателя; 2 – траектория движения лапы; 3 – лапа; 4 – уплотненное ядро; 5 – транспортер.

На участке AB осуществляется захват початков, на участке BC – перегрузка початков в транспортер, на участке CA – холостой ход.

При захвате початков из насыпи зачерпывающие лапы питателя создают уплотненное ядро. В течение времени, проходя определенные участки пути, уплотненное ядро меняет количество початков. Следовательно, в системе початков (насыпи), под действием лапы питателя образуется вторая, более уплотненная система, перемещение которой зависит от характера взаимодействия не только с лапой, но и с самой насыпью, в теле которой происходит процесс.

Рассмотрим насыпной бурт початков до взаимодействия с лапой питателя и сделаем допущение согласно методике [10, с. 58]. Массу початков кукурузы можно рассматривать как систему стохастически сложенных балок на двух опорах (рис. 2).

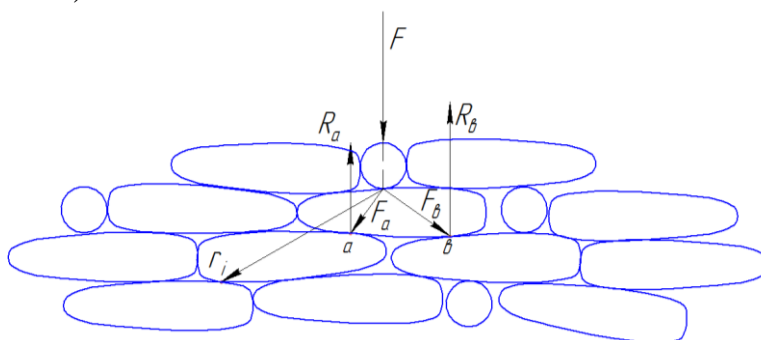


Рисунок 2 - К обоснованию характера взаимодействия частиц системы до взаимодействия с лапой питателя

На массив початков действует сила F , которая вызывает реакции в 2-х опорах R_a и R_b . Распределение сил, в случае покоящейся насыпи, создает стационарное силовое поле, в котором работа силы поля на пути между двумя любыми точками не зависит от формы пути, а зависит только от положения этих точек. Следовательно, работа силы поля, при смещении початка, будет некоторой функцией радиус-вектора r_i [10, с. 71]:

$$A_i = \int F dr_i = U(r_i). \quad (5)$$

Если сверху на бурт не действует дополнительная сдвливающая сила, то F – однородная сила тяжести, dr_i – элементарное перемещение, в пределах которого F можно считать постоянной. Функция $U(r_i)$ – это потенциальная энергия частицы в данном поле.

Следует также отметить, что насыпной бурт початков кукурузы представляет собой не сплошную, а пористую среду с коэффициентом пористости $n_{пор} = 0,51 - 0,55$ [11, 12]. Это говорит о том, что часть передаваемых усилий расходуется на сжатие пор.

Поскольку на початок кукурузы находящейся внутри насыпного бурта действует вес сразу нескольких початков, то выполняется работа результирующей силы [10, с. 67]:

$$A_p = \int_a^b (F_1 + F_2 + \dots + F_n) dr_i = \int_a^b F_{\Sigma} dr_i \quad .(6)$$

Поскольку процесс происходит в трехмерном пространстве, то силу поля в конкретной точке целесообразно понимать как антиградиент потенциальной энергии частицы в данном поле [10, с. 73]:

$$F_{\Sigma} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x} i + \frac{\partial U}{\partial y} j + \frac{\partial U}{\partial z} k \right), \quad (7)$$

где $\frac{\partial U}{\partial x}, \frac{\partial U}{\partial y}, \frac{\partial U}{\partial z}$ - частные производные функции U ;

i, j, k – орты.

Вышесказанное поясняет тот факт, что кукурузный ворох в покое не сохраняет постоянной свою объемную массу γ по причине колебательных воздействий окружающей среды, он стремится к более плотной укладке или расползанию по сторонам. То есть постоянно осуществляется работа сил поля тяжести.

При захвате початков из насыпи зачерпывающие лапы питателя создадут движущееся уплотненное ядро, на частицы которого (початки) будет действовать поле сил тяжести образованное вышележащей частью бурта.

Рассмотрим насыпной бурт початков, **взаимодействующий с лапой питателя.**

Важно отметить, что при низкоскоростном механическом воздействии рабочего органа на отдельное зерно с силой менее 50 Н последнее, не отделяясь от стержня, вдавливается в него на глубину до 3 мм [13, 14]. Этот процесс лежит в основе преобразования части работы внешних сил в потенциальную энергию деформации. Согласно методике приведенной в [15], потенциальную энергию деформации можно определить так.

Пусть некоторому значению силы F соответствует вдавливание зерна в тело стержня Δl (рис. 3). Дадим некоторое приращение силе dF . Соответствующее приращение вдавливания составит $d(\Delta l)$. Тогда элементарная работа на этом приращении вдавливания составит [15]:

$$dA_i = (F + dF) \cdot d(\Delta l) = Fd(\Delta l) + dFd(\Delta l). \quad (8)$$

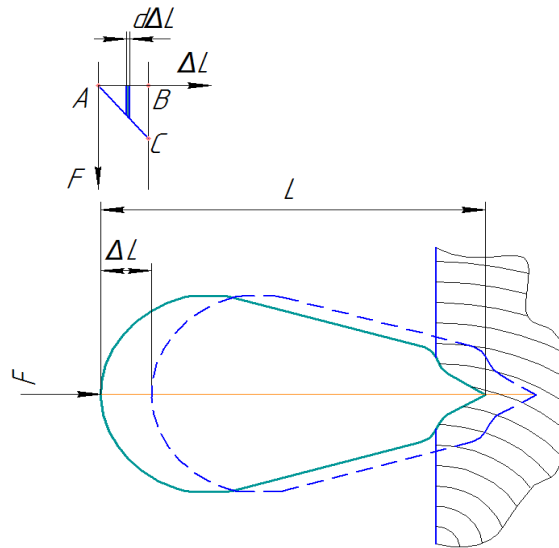


Рисунок 3 - Схема к определению потенциальной энергии деформации

Вторым слагаемым, в силу его малости, можно пренебречь, и тогда [15]:

$$dA_i = Fd(\Delta l). \quad (9)$$

Полная работа равна сумме элементарных работ, тогда, при линейной зависимости «нагрузка – перемещение», работа внешней силы F на перемещении Δl будет равна площади треугольника ACB .

$$A_i = \frac{F \cdot \Delta l}{2}. \quad (10)$$

В силу того, захваченное лапой уплотнённое ядро взаимодействует на участке AB (см. рис.1) с незахваченными початками бурта, находящимися в окрестности траектории перемещения, то присутствует рассеивание части энергии, передаваемой лапой. Данная энергия поглощается насыпью посредством изменения потенциальной энергии частиц (початков) $U(r_i)$ в поле силы тяжести. Введем общепринятое понятие потенциала поля:

$$\frac{dU(r_i)}{m} = \varphi(r_i), \quad (11)$$

где $\varphi(r_i)$ – потенциал поля в точке с радиус-вектором r .

Следовательно, рассеивание части энергии характеризуется разностью потенциалов частиц (початков) в поле силы тяжести.

Из вышеизложенного следует, что лапа должна быть такой конструкции, которая бы обеспечивала минимальное рассеивание (диссипацию) передаваемой энергии в направлении незахваченных початков бурта (рис. 4).

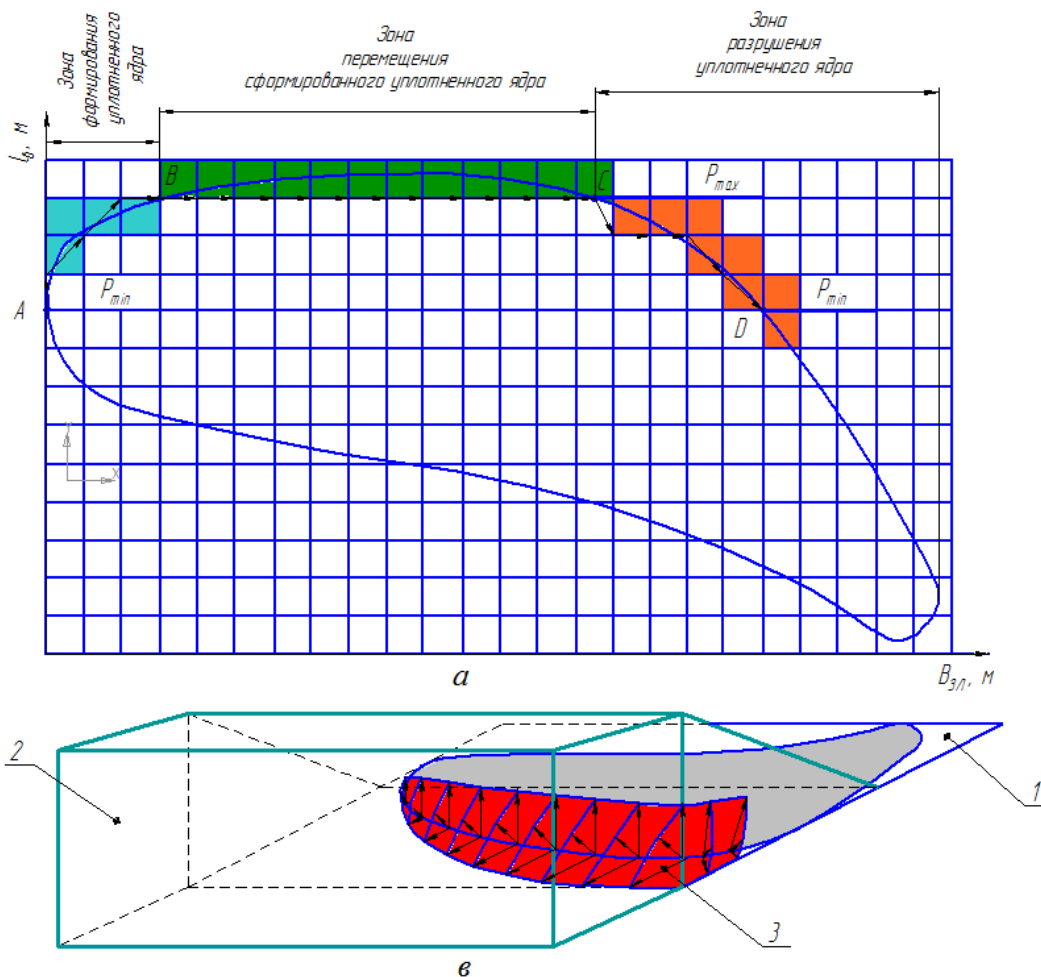


Рисунок 4 - К определению взаимодействия лапы с насыпью початков: *a* – зоны перемещения уплотненного ядра; *б* – схема диссипации энергии в бурт; 1 – плита питателя; 2 – бурт; 3 – зона диссипации

На участке *AB* (см. рис.4) происходит формирование уплотненного ядра и его отрыв от общей массы массива. Данный отрыв можно рассматривать посредством критерия разрушения Гриффитса [16, с. 10]:

$$\frac{d}{dS}(A_{\text{внеш}} - A_{ic}) = \rho_{нэ}, \quad (12)$$

где U – работа внешних воздействий, Дж;

A_{ic} – суммарная потенциальная энергия упругой деформации початков при контакте с лапой, Дж;

$\rho_{нэ}$ – плотность поверхностной энергии разрушающегося тела, Дж/м²;

$\frac{d}{dS}$ – изменение площади сдвига слоев.

Плотность поверхностной энергии разрушающегося бурта может быть рассмотрена как работа формирования площади новой поверхности. В данном случае новая поверхность образуется в результате сдвига слоев. В своей работе профессор И.Н. Гуров научно обосновано утверждает, что кукурузный ворох можно описывать как сыпучее тело, описываемое условием [13, с. 23]:

$$\tau_{cd} = f \cdot \sigma_{сж}, \text{ Па,} \quad (13)$$

где τ_{cd} – напряжение сдвига слоев, Па;

f – коэффициент внутреннего трения;

$\sigma_{сж}$ – напряжение сжатия слоев, Па.

Следовательно, можно предположить:

$$\rho_{nэ} = \tau_{cd} \cdot s, \quad (14)$$

где s – путь рабочего органа, на котором происходит образование уплотненного ядра, м.

Работа внешних сил $A_{внеш}$ включает в себя работу внешних сил взаимодействия $A_{внеш}^{э3}$ собственных частей системы, работу внешних сил взаимодействия $A_{внеш}^{э31}$ системы с лапой и работу сил инерции $A_{ин}$, действующих на перемещение уплотненного ядра и работу початков при диссипации энергии вне ядра A_{δ} .

$$\frac{d}{ds} (A_{внеш}^{э3} + A_{внеш}^{э31} + A_{ин} + A_{\delta} - A_{ic}) = f \cdot \sigma_{сж} \cdot s. \quad (15)$$

На рис. 4а участком траектории AB обозначена зона формирования уплотненного ядра, то есть на участке AB выполняется работа по формированию площади новой поверхности. Далее на участке BC происходит перемещение ядра под действием лапы, на участке CD происходит разрушение ядра при его выходе из бурта и перегрузке в транспортер.

Расписав функцию напряжения, получим:

$$\frac{d}{ds} (A_{внеш}^{э3} + A_{внеш}^{э31} + A_{ин} + A_{\delta} - A_{ic}) = f \cdot \frac{F_l}{S_k} \cdot s. \quad (16)$$

где F_l – усилие, передаваемое лапой, Н;

S_k – площадь контакта лапы с початками уплотненного ядра.

Уплотненное ядро представляет собой перемещающуюся в теле бурта малую массу початков, обладающую минимальной пористостью. Перемещаясь, уплотненное ядро, встречает сопротивление от трения смежных слоев. В течение времени, проходя определенные участки пути, уплотненное ядро меняет количество початков. В таком случае необходимо обозначить через x_{ij} суммарное сопротивление перемещению лапы в бурте, которой на i -м участке пути ($i = \overline{1, m}$) оказывает j -е количество початков ядра ($j = \overline{1, n}$). А через ($F_l = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$) необходимо обозначить дифференцированное усилие, создаваемое пальцем лапы, то есть усилие пальцев лапы передаваемое початкам на каждом конкретном участке пути. Тогда оптимальное управление перемещением уплотненного ядра составит:

7. Гагин О.Д. Обоснование расчетной модели для описания процесса взаимодействия рабочего органа погрузочной машины со штабелем сыпучего материала / О.Д. Гагин, О.П. Иванов // Труды Новочеркасского политехнического института им. С. Орджоникидзе. Исследования погрузочных машин, транспортных установок и вопросы их расчета. Т. 214. – Новочеркасск. – 1970. – С. 122-124.
8. Бедило П.С. повышение эффективности погрузчика непрерывного действия для буртованных сельскохозяйственных грузов: дис. ... кандидата техн. наук: 05.20.01 / Бедило Петр Снргеевич. – Саратов, 2003. – 160 с.
9. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве / И.И. Кандауров – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 280 с.
10. Иродов И.Е. Основные законы механики / И.Е Иродов – М.: Высш. школа, 1978. – 240 с.
11. Брагинец Н.В. К методике исследований некоторых механико-технологических свойств початков и зерна основных подвидов кукурузы / Брагинец Н.В., Бахарев Д.Н., Демченко В.Н. // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ: ЛНАУ, 2011. - № 29.- С. 220-232.
12. Петунина И.А. Разработка ресурсосберегающих процессов очистки и обмолота початков семенной кукурузы: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Петунина Ирина Александровна. – Краснодар, 2008. – 329 с.
13. Гуров И.Н. Механико-технологические основы обмолота кукурузы: Автореф. дис.... д-ра техн. наук / Новочеркасск. политех. ин-т. - Н., 1965. - 37 с.
14. Вольвак С.Ф. Определение усилия, необходимого для отделения одного зерна с участка смежных зерен в початке кукурузы / Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н. // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ: ЛНАУ, 2008. - № 91.- С. 113-116.
15. Потенциальная энергия упругой деформации [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://sopromat.in.ua/textbook/strain-energy>.
16. Эрдоган Ф. Вычислительные методы в механике разрушений / [Эрдоган Ф., Кобаяси А., Атлури С. И др.]; по ред. С Атлури. – М.: Мир, 1990. – 392 с.

Анотація

До теорії конструювання живильника качанів кукурудзи з лапами, що зачерпують

Бахарев Д.Н.

Розглянуто насипний бурт качанів кукурудзи як система взаємопов'язаних частинок. Вивчено зміну повної механічної енергії даної системи при дії на неї лап живильника.

Abstract

The theory of design with feeders corncobs scoop paws

D. Baharev

Considered shoulder bulk corn cobs as a system of interconnected particles. The change of the total mechanical energy of the system when introducing it scoops paws feeder.