UDK-050

MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC PROBLEMS OF SPINDLES OF A CLEANING APPARATUS UNDER SPATIAL LOADS

PhD, dotsent Isomiddinov Anvar Inomzhonovich,

student Maxmudov Jaloliddin Isroiljon ogli

Namangan Civil Engineering Institute

Republic of Uzbekistan, Namangan city

Abstract: *Analyzed from the point of view of a complexly loaded state, the results of research on modeling the dynamics of spindles when performing a technological process in a harvesting device. Mathematical models of dynamic calculations of spindles in variational form have been developed.*

Key words*: cotton pickers, spindle, kinetic energy, potential energy, work of external forces, variational principle, variational equation.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ШПИНДЕЛЕЙ УБОРОЧНОГО АППАРАТА ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННОМ НАГРУЖЕНИЙ

PhD, доцент Исомиддинов Анвар Иномжонович,

студент Махмудов Жалолиддин Исроилжон оглы

Наманганский инженерно-строительный институт

Республика Узбекистан, город Наманган

Аннотация: *Проанализированы с точки зрения сложно нагруженного состояния результаты исследования по моделированию динамики шпинделей при выполнении технологического процесса в уборочном аппарате. Разработаны математические модели динамических расчетов шпинделей в вариационном виде.*

Ключевые слова: *хлопкоуборочные машины, шпиндель, кинетическая энергия, потенциальная энергия, работы внешних сил, вариационный принцип, вариационное уравнение.*

Современные хлопкоуборочные машины оснащаются нарезными (цельнометаллическими) или составными шпинделями. Нарезной шпиндель состоит из трубы, на которой нарезаны зубья, у составного шпинделя на трубу одет захватывающий элемент в виде зубчатой спирали. В нижний конец трубы запрессована металлокерамическая втулка, в верхний запрессован приводной-трехручьевой ролик, на котором установлен шарикоподшипник и его крышка. Шпиндель в сборе вставляется в отверстие верхнего диска шпиндельного барабана, а нижним концом устанавливается на палец нижнего диска упомянутого барабана.

Шпиндель – основной рабочий орган хлопкоуборочной машины является той деталью, которая непосредственно вкалываясь зубьями, наматывая на себя, извлекает хлопок из раскрытой коробочки, унося его из зоны кустов и передавая съемным, транспортирующим его в бункер органам. Поэтому, от шпинделя, главным образом, зависит количество и качество собираемого хлопка машиной. Шпинделю должно уделяться самое серьезное внимание, которое является ответственной и массовой деталью в хлопкоуборочной машине. Надежность работы хлопкоуборочных машин в основном зависит от работоспособности основного рабочего органа – шпинделя.

В Узбекистане ученые совместно с конструкторскими и производственными подразделениями сельхозмашиностроения разработали более эффективный рабочий орган – самоочищающийся составной шпиндель, максимально унифицированный с конструкцией нарезного шпинделя. Оснащение этими шпинделями уборочных аппаратов современных хлопкоуборочных машин в зависимости от агрофона, засеянных сортов хлопчатника и режимов работы машины позволил увеличить производительность сбора хлопка на 18-34% за счет эффективного использования времени на технологические процессы [1- 3]. В то же время отсутствие обоснованной динамической теории, математические модели и вычислительные алгоритмы для расчета шпинделей с учетом их сложно нагруженных состояний может быть позволят получить обоснованное суждение о его длительной динамической прочности. Актуальным остается вопрос о долговечности и работоспособности шпинделей прямого и обратного вращения с учетом пространственного динамического погружения в режимах его работы в различной интенсивности. Поэтому создание обоснованной теории шпинделей, построение адекватных математических моделей и алгоритмы, разработка программных обеспечений на основе динамики технологического процесса в хлопкоуборочном аппарате под действием реальных силовых взаимодействий «шпиндель – ремень – давление хлопок – колодки – съемник» является весьма актуальной задачей.

1. Постановка задачи

Рассмотрим цилиндрические координаты x, r, γ:

$$x = x, \quad y = r\cos\gamma, \quad z = r\sin\gamma \qquad (1)$$

На основе допущений, приведенных в работе В. К. Кабулова [4], выражения для перемещений точек стержня при продольных, поперечных и крутильных колебаниях представим в виде.

$$u_1 = u - z\alpha_1 - y\alpha_2, \; u_2 = v + z\theta, \; u_3 = w - y\theta \qquad (2)$$

где u, v, w – перемещения центральной линии стержня; α_1, α_2 – углы наклона касательной к упругой линии при чистом изгибе; θ – угол закручивания оси;

Учитывая (1), перемещения точек стержня в цилиндрических координатах имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} u_1(x, r, \gamma, t) &= u(x, t) - \alpha_1(x, t) r\sin\gamma - \alpha_2(x, t) r\cos\gamma, \\ u_2(x, r, \gamma, t) &= v(x, t) + \theta(x, t) r\sin\gamma, \\ u_3(x, r, \gamma, t) &= w(x, t) - \theta(x, t) r\cos\gamma. \end{aligned} \qquad (3)$$

Теперь, согласно формуле Коши, с учетом формул (3) вычисляем компоненты деформации:

$$\left.\begin{aligned}
&\varepsilon_{11}=\frac{\partial u_1(x,r,\gamma,t)}{\partial x}=\frac{du(x,t)}{dx}-\frac{d\alpha_1(x,t)}{dx}r\sin\gamma-\frac{d\alpha_2(x,t)}{dx}r\cos\gamma,\\
&\varepsilon_{12}=\frac{\partial u_2(x,r,\gamma,t)}{\partial x}+\frac{\partial u_1(x,r,\gamma,t)}{\partial y}=\frac{dv(x,t)}{dx}+\frac{d\theta(x,t)}{dx}r\sin\gamma-\alpha_2(x,t),\\
&\varepsilon_{13}=\frac{\partial u_3(x,r,\gamma,t)}{\partial x}+\frac{\partial u_1(x,r,\gamma,t)}{\partial z}=\frac{dw(x,t)}{dx}-\frac{d\theta(x,t)}{dx}r\cos\gamma-\alpha_1(x,t),\\
&\varepsilon_{22}=\varepsilon_{33}=\varepsilon_{23}=0.
\end{aligned}\right\}\tag{4}$$

Компоненты напряжений и деформаций при упругом состоянии стержня (закон Гука) связаны следующим образом:

$$\begin{aligned}
&\sigma_{11}=E\left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x}-\frac{\partial\alpha_1(x,t)}{\partial x}r\sin\gamma-\frac{\partial\alpha_2(x,t)}{\partial x}r\cos\gamma\right),\\
&\sigma_{12}=G\left(\frac{\partial v(x,t)}{\partial x}+\frac{\partial\theta(x,t)}{\partial x}r\sin\gamma-\alpha_2(x,t)\right),\\
&\sigma_{13}=G\left(\frac{\partial w(x,t)}{\partial x}-\frac{\partial\theta(x,t)}{\partial x}r\cos\gamma-\alpha_1(x,t)\right),\\
&\sigma_{22}=\sigma_{33}=\sigma_{23}=0.
\end{aligned}\tag{5}$$

2. Моделирование. Компоненты вариации и их выражений.

Рассмотрим вариации кинетической энергии δT:

$$\int_t \delta\mathrm{T}dt=\int_t\int_V\left[\rho\frac{\partial u_1}{\partial t}\delta\frac{\partial u_1}{\partial t}+\rho\frac{\partial u_2}{\partial t}\delta\frac{\partial u_2}{\partial t}+\rho\frac{\partial u_3}{\partial t}\delta\frac{\partial u_3}{\partial t}\right]dVdt\tag{6}$$

Рассмотрим вариации потенциальной энергии $\delta\Pi$:

$$\begin{aligned}
&\int_t \delta\Pi dt=\int_t\int_V\left(\sum_{j=1}^{3}\sigma_{1j}\delta\varepsilon_{1j}\right)dVdt=\\
&=\int_t\int_V\left[\sigma_{11}\delta\frac{\partial u_1}{\partial x}+\sigma_{12}\delta\left(\frac{\partial u_2}{\partial x}+\frac{\partial u_1}{\partial y}\right)+\sigma_{13}\delta\left(\frac{\partial u_3}{\partial x}+\frac{\partial u_1}{\partial z}\right)\right]dVdt
\end{aligned}\tag{7}$$

Теперь рассмотрим вариации работы внешних сил $\delta\mathrm{A}$.

$$\int_t \delta A dt = \int_t \int_V \sum_{i=1}^{3} P_i \delta u_i dV dt + \int_t \int_S \sum_{i=1}^{3} q_i \delta u_i dS dt + \int_t \int_{S_1} \sum_{i=1}^{3} \varphi_i \delta u_i \, dS_1 dt \Big|_x =$$

$$= \int_t \int_V \left[P_1 \delta u_1 + P_2 \delta u_2 + P_3 \delta u_3\right] dV dt + \int_t \int_S \left[q_1 \delta u_1 + q_2 \delta u_2 + q_3 \delta u_3\right] dS dt +$$

$$+ \int_t \int_{S_1} \left[\varphi_1 \delta u_1 + \varphi_2 \delta u_2 + \varphi_3 \delta u_3\right] dS_1 dt \Big|_x \qquad (8)$$

здесь P_i - составляющие объемных сил, отнесенные к единице объема; q_i - поверхностные силы, отнесенные к единице площади поверхности стержней; φ_i - торцевые силы, действующие на торцах стержня.

Вариации кинетической (6), потенциальной (7) энергий и работы внешних сил (8) подставляем в вариационный принцип Гамильтона - Остроградского [4]:

$$\int_t (\delta \mathrm{T} - \delta \Pi + \delta \mathrm{A}) dt = 0 \qquad (9)$$

После выполнения операции варьирования, преобразование интегральных выражений, операции подстановки, выделение начальных условий и основных частей вариации кинетической энергии, а также выполнение операций интегрирования по частям и выделение интегралов по сечению шпинделя получим вариационное уравнение равновесия шпинделя

$$\int_t (\delta\mathrm{T} - \delta\Pi + \delta\mathrm{A})dt =$$

$$= \int_t \int_x \Bigg\{ \left[-\rho F \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \rho S_y \frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2} + \rho S_z \frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2} + \frac{\partial N_x}{\partial x} + \left(N_x(P_1) + N_x(q_1) \right) \right] \delta u +$$

$$+ \left[\rho S_y \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \rho I_y \frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2} - \rho I_{yz} \frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2} - \frac{\partial M_y}{\partial x} + Q_{13} - \left(M_y(P_1) + M_y(q_1) \right) \right] \delta \alpha_1 +$$

$$+ \left[\rho S_z \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \rho I_{yz} \frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial t^2} - \rho I_z \frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial t^2} - \frac{\partial M_z}{\partial x} + Q_{12} - \left(M_z(P_1) + M_z(q_1) \right) \right] \delta \alpha_2 +$$

$$+ \left[-\rho F \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \rho S_y \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \frac{\partial Q_{12}}{\partial x} + \left(Q_{12}(P_2) + Q_{12}(q_2) \right) \right] \delta v +$$

$$+ \left[-\rho S_y \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \rho I_p \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \rho S_z \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{\partial M_x}{\partial x} + \left(M_x(P_2, P_3) + M_x(q_2, q_3) \right) \right] \delta \theta +$$

$$+ \left[-\rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \rho S_z \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \frac{\partial Q_{13}}{\partial x} + \left(Q_{13}(P_3) + Q_{13}(q_3) \right) \right] \delta w \Bigg\} dxdt +$$

$$+ \int_t \Big[\left(-N_x + N_x(\varphi_1) \right) \delta u + \left(M_y - M_y(\varphi_1) \right) \delta \alpha_1 + \left(M_z - M_z(\varphi_1) \right) \delta \alpha_2 +$$

$$+ \left(-Q_{12} + Q_{12}(\varphi_2) \right) \delta v + \left(-M_x + M_x(\varphi_2, \varphi_3) \right) \delta \theta + \left(-Q_{13} + Q_{13}(\varphi_3) \right) \delta w \Big]_x dt +$$

$$+ \int_x \Bigg[\left(\rho F \frac{\partial u}{\partial t} - \rho S_y \frac{\partial \alpha_1}{\partial t} - \rho S_z \frac{\partial \alpha_2}{\partial t} \right) \delta u + \left(-\rho S_y \frac{\partial u}{\partial t} + \rho I_y \frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \rho I_{yz} \frac{\partial \alpha_2}{\partial t} \right) \delta \alpha_1 +$$

$$+ \left(-\rho S_z \frac{\partial u}{\partial t} + \rho I_{yz} \frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \rho I_z \frac{\partial \alpha_2}{\partial t} \right) \delta \alpha_2 + \left(\rho F \frac{\partial v}{\partial t} + \rho S_y \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \delta v + \qquad (10)$$

$$+ \left(\rho S_y \frac{\partial v}{\partial t} + \rho \left(I_y + I_z \right) \frac{\partial \theta}{\partial t} - \rho S_z \frac{\partial w}{\partial t} \right) \delta \theta + \left(\rho F \frac{\partial w}{\partial t} - \rho S_z \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \delta w \Bigg]_t dx = 0$$

Вариационное уравнение (10) состоит из трех главных частей. Первая часть принадлежит к интегралам первого рода. Здесь компоненты вектора перемещений являются неизвестными функциями. Поэтому их вариации не равняются нулю, а значит, коэффициенты вариации функции должны тождественно равняться нулю.

Вторая часть вариационного уравнения (10) описывает граничные условия. В этой части выражения компоненты вектора перемещений не всегда будут неизвестными функциями. В геометрических граничных условиях задаются компоненты перемещений. В этом случае вариации известных функций равны нулю, а при статических граничных условиях выражения в круглых скобках равны нулю. Поэтому во второй части вариационного уравнения каждое слагаемое с множителем вариации компонентов вектора перемещений равны нулю. Эти выражения характеризуют смешанные граничные условия, поэтому выражения, находящиеся в круглых скобках, равняются нулю с множителями вариации компонентов вектора перемещений.

Третья часть вариационного уравнения (10) описывает начальные условия. А в начальных условиях задаётся скорость перемещения.

Заключение

В дальнейших исследованиях на основе выражений (10) будет выполнен динамический расчет шпинделей хлопкоуборочных аппаратов в «холостом» и «рабочем» движении. При этом в (10) учтены разные виды погружения шпинделей: давления, трения ремней и колодок при холостом движении аппарата и сопротивления кустов хлопчатника и при съемке хлопка с шпинделя на колодке. Поэтому усилия в уравнении (10) и граничных условиях в разных вариантах имеют разные значения. При этом получаются новые математические модели в разных погружениях шпинделя хлопкоуборочного аппарата.

Работа выполнена в рамках гранта БФ-1-023.

Список литературы

1. Глущенко А.Д., Ташболтаев М.Т. Динамика узлов вращения уборочных аппаратов хлопкоуборочных машин Т.: «Фан» 1990 г., 138 с.

2. Глущенко А.Д., Ризаев А.А. Моделирование динамических взаимодействий долек хлопка и шпинделей в хлопкоуборочных аппаратах Т.: «Фан» 1995 г., 131 с.

3. Туранов Х.Т. Колебания и погруженность составных валов барабанного типа некоторых хлопковых машин. Т. «Фан» 1982г. с.168.

4. Кабулов В.К. Алгоритмизация в теории упругости и деформационной теории пластичности. Т.: «ФАН», 1966, 394 с.