

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.Ломоносова
Механико-математический факультет

На правах рукописи
УДК 531.36

Резаеи Асл Аббас

**Способы уменьшения колебаний
комбайна при движении**

Специальность 01.02.01 - теоретическая механика

Автореферат
Диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва
2006

Работа выполнена на кафедре прикладной механики и управления механико-математического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова.

Научные руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент Орданович А.Е

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук профессор Смыслов В.И

кандидат физико-математических наук, доцент Филиппов В.В

Ведущая организация: Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН

Защита состоится «09» февраля 2007 года в 16:00 часов, на заседании диссертационного совета Д 501.001.22 при Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова по адресу: 119992, Москва, Ленинские Горы, Главное здание МГУ, сектор А, аудитория 16-10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке механико-математического факультета МГУ.

Автореферат разослан «27» декабря 2006 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

доцент

В.А.Прошкин

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Увеличение производительности и уменьшение стоимости уборки зерновых культур всегда являлось важной технической задачей. Так, в частности, появились жатки, молотилки, комбайны и другие сельскохозяйственные устройства. Относительно недавно (около 150 лет назад) возникла одна из разновидностей комбайна – **очесывающие**. Если в обычных комбайнах солома вместе с колосьями срезается под корень и обрабатывается в молотилке, то в очесывающих комбайнах колосья обрывают и обрабатывают, оставляя солому на корню. Солома при этом скашивается и убирается отдельно. Основное преимущество очесывающих комбайнов состоит в том, что в молотилку попадают колосья без соломы, что улучшает процесс отделения зерна и существенно уменьшает энергозатраты. Это позволяет уменьшить вес основных агрегатов комбайна, дает возможность увеличить скорость движения комбайна, что, в принципе, уменьшает стоимость уборки зерна.

Конструктивно очесывающий комбайн отличается от обычных тем, что у них вместо хедера, скашивающего солому вместе с колосьями, расположено очесывающее устройство. Положение очесывающего устройства определяет силовой гидроагрегат, который перемещает приемную часть очесывающего устройства на высоту, оптимальную для очеса при заданной высоте стеблестоя.

Одним из существенных конструктивных недостатков очесывающих комбайнов являются вертикальные колебания механизма очесывания при движении. В результате таких колебаний меняется положение очесывающего механизма относительно растения, очес

может производиться неэффективно, что приводит к дополнительным потерям зерна.

Значительные колебания очесывающего устройства могут возникнуть при движении комбайна по неровному полю. Связано это с конструктивной особенностью этого типа комбайнов. Дело в том, очесывающее механизм представляет собой тяжелый агрегат, вынесенный вперед относительно основной части экипажа (см. рис.1). При этом *колесная база* экипажа не может быть сделана достаточно большой. Собственные частоты колебаний такой конструкции оказываются сравнительно низкими и близкими к частотам возбуждения колебаний за счет неровности дороги.

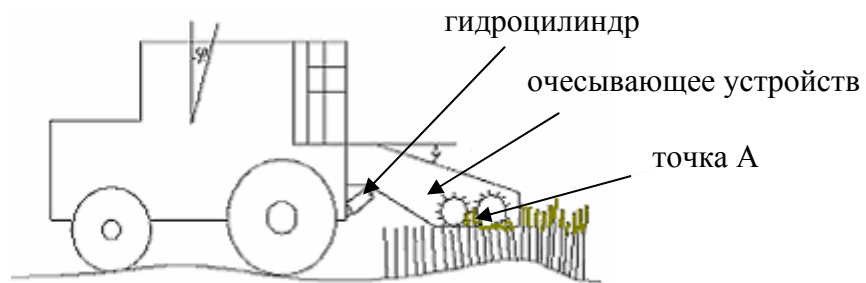


рис.1.

Для управления высотой очесывающего устройства по отношению к средней высоте колосьев в комбайне обычно используется гидропривод. Для минимизации амплитуды колебаний рабочего органа комбайна можно использовать, для управления силовым приводом, показания датчиков, размещенных на элементах конструкции. Предполагается, что, при оптимальной настройке системы управления, можно добиться уменьшения колебаний и улучшения работы комбайна.

Цель диссертационной работы состоит в проверке эффективности идеи автоматического управления гидроприводом. Для этого исследуется механическая модель колебаний элементов комбайна с учетом системы управления. Это позволяет теоретически оценить возможности предлагаемого метода.

Научная новизна состоит в том, что гидропривод для стабилизации высоты очесывающего устройства ранее не применялся и исследования возможностей системы управления не исследовалась.

Апробация работы.

Результаты докладывались и обсуждались на:

1. Семинаре кафедры прикладной механики и управления мехмата МГУ
2. Семинаре кафедры теоретической механики и мехатроники Московского Энергетического института (технического университета)
3. Научном Совете Институте Машиноведения РАН
4. Научно-техническом совете Института Механики МГУ

Публикации. Основные результаты диссертации представлены в Отчете Института Механики МГУ, №4834, 2006.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. В работе 62 страниц, и 25 рисунков.

Во введении формулируется цель работы и приводится краткий обзор литературы.

В первой главе предложена простейшая механическая модель колебаний комбайна (см. рис 2).

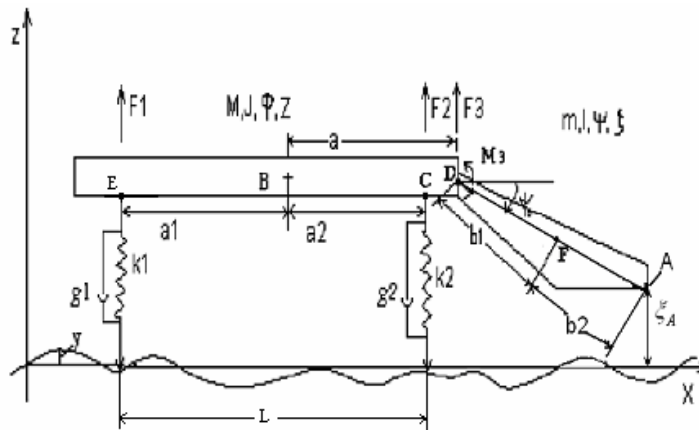


рис.2.

Эта модель состоит из двух основных частей. Первая часть - корпус комбайна на колесах. Вторая часть – хедер, соединенный с первой шарнирно. Взаимное расположение комбайна и хедера определяется гидроприводом, который соединяет корпус комбайна и хедер. В дальнейшем рассматривается движение частей комбайна только в продольно-вертикальной плоскости. Система координат и обозначения показаны на рисунке (2). Z – высота центра масс корпуса комбайна, H - высота центра масс хедера, φ и ψ - углы корпуса комбайна и хедера по отношению к горизонту. Здесь M и m , J и I – массы корпусов и моменты инерции комбайна, a – расстояние между центром масс и шарниром хедера, k_1 и k_2 - коэффициенты упругости элементов системы подвески корпуса комбайна, а g_1 и g_2 - коэффициенты трения этих элементов, соответственно. a_1 , a_2 , b_1 - геометрические размеры, указанные на рис.2. Управляющее воздействие формируется в виде линейной комбинации доступных измерению фазовых координат:

$$u = k_m a^2 (\alpha_1 \varphi + \alpha_2 \psi) + g_m a^2 (\alpha_3 \dot{\varphi} + \alpha_4 \dot{\psi}), \quad (1)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ - безразмерные коэффициенты управления, а

$$k_m = \frac{k_1 + k_2}{2}, \text{ а } g_m = \frac{g_1 + g_2}{2}$$

маштабы жесткости и трения.

После линеаризации и приведения к безразмерной форме уравнения движения приобретают вид

$$A \ddot{\bar{X}} + 2\delta B \dot{\bar{X}} + \omega_0^2 C \bar{X} = \omega_0^2 D \bar{Y} + 2\delta G \dot{\bar{Y}} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} (1+\mu) & \mu & \mu\beta_1 \\ \mu & (j+\mu) & \mu\beta_1 \\ \mu\beta_1 & \mu\beta_1 & (i+\mu\beta_1^2) \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} 2 & \gamma & 0 \\ \gamma & s^2 + \alpha_3 & \alpha_4 \\ 0 & -\alpha_3 & -\alpha_4 \end{bmatrix} C = \begin{bmatrix} 2 & \Delta & 0 \\ \Delta & d^2 + \alpha_1 + \alpha_0 & \alpha_2 - \alpha_0 \\ 0 & -\alpha_1 - \alpha_0 & -\alpha_2 + \alpha_0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} k_1/k_m & k_2/k_m \\ -k_1/k_m a_1 & k_2/k_m a_2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} G = \begin{bmatrix} g_1/g_m & g_2/g_m \\ -g_1/g_m a_1 & g_2/g_m a_2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Здесь: $X(t) = \{x_1, x_2, x_3\}$, где $x_1 = z$, $x_2 = a\varphi$, $x_3 = a\psi$ - обобщенные координаты системы. $Y(t) = \{y_1, y_2, 0\}$, где $y_2(t) = y_1(t - t_{зан})$ - координаты рельефа подстилающей поверхности под первым и вторым колесом. Здесь $t_{зан} = L/V$ - время запаздывания движения второго колеса по отношению к первому, V - скорость движения комбайна, L - колесная база, т.е. расстояние между первым и вторым колесом.

Массовые характеристики элементов системы μ, j, i .

$$\mu = \frac{m}{M}, \quad j = \frac{J}{Ma^2}, \quad i = \frac{I}{Ma^2}.$$

Расстояние до центра масс хедера:

$$\beta_1 = \frac{b_1 \cos \psi_0}{a}.$$

Обобщенные характеристики элементов жесткости конструкции Δ , d и α_0 :

$$\Delta = 2 \frac{k_2 a_2 - k_1 a_1}{(k_1 + k_2) a},$$

$$d^2 = 2 \frac{k_1 a_1^2 + k_2 a_2^2}{(k_1 + k_2) a^2},$$

$$\alpha_0 = \frac{2\kappa_0}{k_1 + k_2}.$$

Обобщенные характеристики элементов трения γ и s

$$\gamma = 2 \frac{g_2 a_2 - g_1 a_1}{(g_1 + g_2) a},$$

$$s^2 = 2 \frac{g_1 a_1^2 + g_2 a_2^2}{(g_1 + g_2) a}.$$

Обозначим также масштаб частот колебаний

$$\omega_0^2 = \frac{k_m}{M} = \frac{k_1 + k_2}{2M},$$

масштаб затухания колебаний и безразмерный параметр заухания

$$\delta = \frac{g_m}{2M} = \frac{g_1 + g_2}{4M}. \quad \varepsilon = \frac{2\delta}{\omega_0} = \frac{(g_1 + g_2)}{2\sqrt{kM}}.$$

Глава 2. Устойчивость

Для поиска параметров системы управления, предназначенной для подавления колебаний очесывающего устройства, необходим предварительный поиск областей устойчивости системы в пространстве параметров управления. Это необходимо, в частности, потому, что многие вычисления оптимальных параметров имеют смысл

только в тех случаях, если система устойчива. В полном объеме (в четырехмерном пространстве) такая задача является весьма сложной, поэтому рассмотрим задачу в упрощенной постановке, без учета сил трения. Это можно сделать, положив в уравнении движения системы (2) параметр затухания ε равным нулю. В этом случае уравнение собственных колебаний приобретает вид:

$$A \ddot{X} + CX = 0 \quad (3)$$

Характеристическая матрица этой системы имеет вид:

$$F(\lambda) = \begin{bmatrix} (1 + \mu)\lambda + 2 & \mu\lambda + \Delta & \mu\beta_1\lambda \\ \mu\lambda + \Delta & (j + \mu)\lambda + d^2 + \alpha_1 + \alpha_0 & \mu\beta_1\lambda + \alpha_2 - \alpha_0 \\ \mu\beta_1\lambda & \mu\beta_1\lambda - \alpha_1 - \alpha_0 & (i + \mu\beta_1^2)\lambda - \alpha_2 + \alpha_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

где обозначено $\lambda = q^2$. Детерминант матрицы $F(\lambda)$

$$\det F(\lambda) = \Phi(\lambda, \alpha_1, \alpha_2)$$

является характеристическим полиномом шестого порядка относительно q , корни которого определяют собственные частоты системы. Для упрощения исследования и понижения порядка имеет смысл перейти к переменной $\lambda = q^2$.

Как показано в работе, переход системы в неустойчивое состояние возникает либо при изменении знака одного из корней λ_i на положительное, либо при образовании кратного отрицательного корня. Условие наличия кратного корня состоит в том, уравнения

$$\Phi(\lambda, \alpha_1, \alpha_2) = 0 \quad (5)$$

и

$$\Phi'(\lambda, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{d\Phi}{d\lambda} = 0, \quad (6)$$

имеют один и тот же корень.

Полученными условиями можно воспользоваться для определения границы области устойчивости в пространстве α_1 и α_2 . Если подставить в эти два независимых уравнения некоторое отрицательное значения λ , то эти уравнения можно использовать для определения параметров $\alpha_1(\lambda)$ и $\alpha_2(\lambda)$, соответствующих корню, лежащему на границе устойчивости. Дополнительно необходима проверка на отсутствие в этой точке положительного корня. Изменяя параметр λ в пределах от 0 до $-\infty$, можно получить кривую в пространстве параметров α_1 и α_2 , соответствующую границе устойчивости.

Для примера, на рисунке (3) показана граница устойчивости для характерного (“базового”) набора параметров системы : $\mu = 0.1$, $\beta_1 = 0.5$, $j = 0.5$, $i = 0.25$, $d = 1.2$, $\Delta = 0.2$, $\alpha_0 = 0$, $\alpha_2 = -0.1$

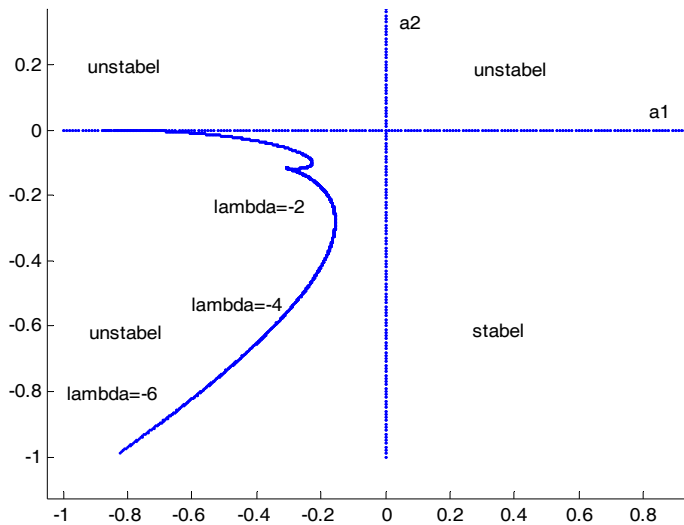


Рис.3.

Во втором разделе главы 2 рассматривается устойчивость системы с учетом трения. В этом случае уравнение собственных колебаний приобретает вид:

$$A \bar{X}'' + \varepsilon B \bar{X}' + C \bar{X} = 0 \quad (7)$$

Как уже указывалось, в полном объеме (в четырехмерном пространстве параметров) такая задача для уравнения шестого порядка является весьма сложной и трудоемкой. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены только некоторые частные задачи. В частности, будут рассмотрены проекции этой области на плоскость α_1, α_2 и на плоскость α_3, α_4 .

Для определения зоны устойчивости используется прямой метод. Вся область исследования покрывается сеткой, в узлах которой численно, при помощи ЭВМ, находятся значения корней. Если максимум реальных частей корней уравнения меньше нуля, то эта точка отмечается как устойчивая.

На рис (4) и рис (5) показаны, в качестве примера, для “базового” набора параметров, области устойчивости на плоскости α_1, α_2 (при $\alpha_3 = -8, \alpha_4 = -8, \alpha_0 = 0$), и на плоскости α_3, α_4 (при $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = -1, \alpha_0 = 0$)

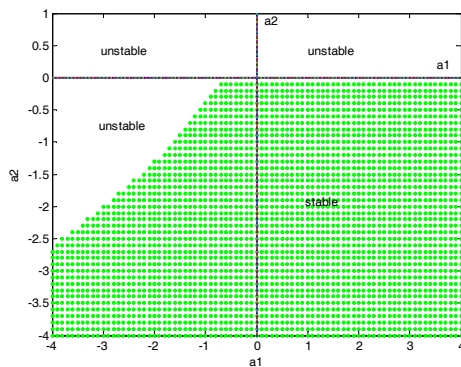


рис.4.

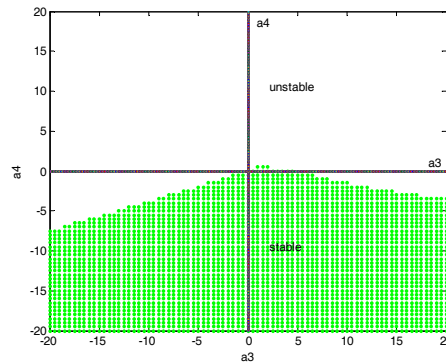


рис.5.

Численные эксперименты показывают, что при небольшом изменении параметров задачи общая структура области меняется мало.

Глава 3. Расчет эффективности метода подавления колебаний рабочего органа комбайна

Первые две части третьей главы посвящены формулировке способа вычисления критерия качества работы комбайна.

При математическом моделировании воздействия неровностей подстилающей поверхности считается, что комбайн является динамической системой, входом которой являются воздействия от неровностей дороги, а выходом - колебания элементов. Входное воздействие можно считать стационарным случайным процессом с нормальным распределением. Характеристикой такого случайного процесса является функция спектральной плотности. Как следует из литературы, в большинстве случаев такая функция имеет вид:

$$S(\omega) = A_{\omega} \frac{\omega^2 + \omega_1^2}{\omega^4 + \omega_2^4} [m^2 \cdot sek] \quad (8)$$

Здесь A_{ω} - величина, пропорциональная дисперсии рельефа грунтовой дороги, ω - циклическая частота.

После обработки экспериментальных данных, приведенных в работе Афанасьева и Хачатурова, 1966, был получен вид функции спектральной плотности, которую можно использовать при проведении вычислительных экспериментах при расчетах колебаний элементов комбайна.

$$S(\omega) = D \cdot V \cdot 2,23 \cdot 10^{-3} \frac{(\omega^2 + \omega_1^2)}{\omega^4 + \omega_2^4} [m^2 \cdot sek]$$

Здесь дисперсия $D = \overline{y(t)^2}$ - квадрат амплитуды возмущений неровностей грунта, V – скорость движения комбайна, $\omega_1 = k_1 V$, $\omega_2 = k_2 V$. В свою очередь, $k_1 = 2\pi/\ell_1$, $k_2 = 2\pi/\ell_2$, где ℓ_1 и ℓ_2 - максимальный и минимальный размер неровностей дороги. Было принято, в соответствии с указанной выше работой, $\ell_1 = 30m$, $\ell_2 = 3m$, σ равной от 10mm. до 50mm.

В окончательной записи спектральная плотность возмущений имеет вид:

$$S(\omega) = D_\phi V \cdot 2,23 \cdot 10^{-3} \frac{(\omega^2 + 4,38 \cdot V^2)}{\omega^4 + 0,192 \cdot 10^{-2} V^4} [m^2 \cdot sek] \quad (9)$$

Для определения передаточного соотношения, связывающего вход и выход динамической системы, используется механико-математическая модель комбайна, построенная в гл.1. Рассматриваемая система описывается уравнением (2).

Выходом в этой системе является движение рабочего органа с координатой ξ_A , которое связано с движением остальных элементов системы соотношением:

$$\xi_A = (R^T \cdot X), \quad (10)$$

где $R = \{r_1, \dots, r_N\}$ - N - мерный вектор, коэффициенты которого определяются геометрическими параметрами конструкции. В нашем случае $r_1 = r_2 = 1$, а $r_3 = \frac{(b_1 + b_2)}{a} \cos \psi_0$.

Входом являются возмущения $y_1(t)$, вызываемые неровностью дороги.

Если воспользоваться операционным исчислением, то можно записать связь вход – выход в виде

$$\xi_A(p) = W_\xi(p) y_1(p), \quad (11)$$

где p – оператор Лапласа, $\xi_A(p)$ и $y_1(p)$ -изображения входа и выхода, а $W_\xi(p)$ - соответствующая передаточная функция. Эта функция может быть представлена в виде:

$$W_\xi(p) = W_1(p) + W_2(p) + r_3 W(p)$$

где $W_i(p) (i=1,2,3)$ - элементы - матрица-столбец передаточных функций $W(p)$

$$X(p) = W(p) y_1(p). \quad (12)$$

Здесь

$$W(p) = [p^2 A + 2\delta p B + \omega_0^2 C]^{-1} \cdot [\omega_0^2 D + 2\delta p G] \cdot \Theta(p), \quad (13)$$

а

$$\Theta(p) = \begin{vmatrix} 1 \\ \exp(pt_{\text{зан}}) \\ 0 \end{vmatrix} \quad (14)$$

- матрица-столбец, учитывающая запаздывание.

Зная спектральную плотность входного сигнала, соотношение (11) позволяет определить выходную спектральную плотность движения рабочего органа:

$$S_\xi(\omega) = D_\varphi^2 |W_\xi(\omega, H)|^2 S_\varphi(\omega, V). \quad (15)$$

Здесь $|W_\xi(\omega, H)|^2$ - квадрат модуля частотной характеристики передаточной функции $W_\xi(p)$.

Как уже указывалось, критерием качества работы комбайна является интенсивность (т.е дисперсия) колебаний рабочего органа

$$D_{\xi} = \int_0^{\infty} S_{\xi}(\omega) d\omega$$

Отметим при этом, что дисперсия неровностей дороги D является заданной, поэтому для поиска оптимального управления критерием качества работы комбайна служит отношение дисперсий $\frac{D_{\xi}}{D} = \Gamma$.

Таким образом, критерием качества является значение функционала

$$\Gamma(H, V) = \int_0^{\infty} |W_{\xi}(\omega, H)|^2 S(\omega, V) d\omega \quad (16)$$

В этом функционале скорость движения комбайна “ V ” задается. Поиск оптимального управления проводится среди множества параметров $H = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\}$.

Поиск оптимальных коэффициентов системы управления $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, при которых колебания рабочего органа комбайна минимальны, соответствует минимизации функционала Γ . Для решения этой задачи используется упрощенный подход, при котором минимум ищется только в сечениях α_1, α_2 , и α_3, α_4 . Построение областей равных значений критерия Γ проводится численно, прямым методом. Вся область исследования покрывается сеткой, в узлах которой численно, при помощи ЭВМ, находятся значения критерия Γ . Если это значение меньше заданного числа, то точка маркируется определенным образом. При этом в каждой точке сетки проверяется, принадлежит ли эта точка к области устойчивости.

Рассматривается тот же набор параметров, что и в главе 2. Параметр затухания $\varepsilon = 0,1$. На рис(6) на плоскости α_1 и α_2 показаны области значений критерия $\Gamma < 0.4$ и $\Gamma < 0.5$ при значениях $\alpha_3 = -8, \alpha_4 = -8$, выбранных ранее. Значений критерия Γ меньше, чем 0.3, не находится.

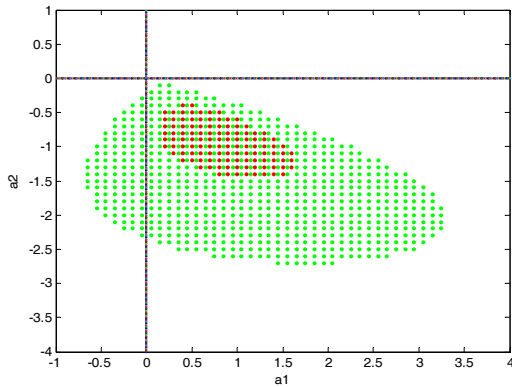


Рис.6.

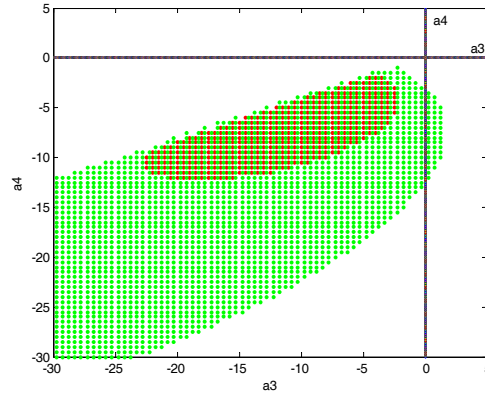


рис.7.

Из рис.9 видно, что точка $\alpha_1=1, \alpha_2=-1$, находится примерно в центре пятна $\Gamma < 0.4$ и эти значения можно, в качестве первого приближения, принять как оптимальные. Аналогично на рис(7) точка с значениями $\alpha_3 = -8, \alpha_4 = -8$ также можно, принять за оптимальные. Из анализа рисунков также можно сделать вывод о малой зависимости функционала Γ от малых изменений значений параметров $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ от оптимальных.

Подобные построения были сделаны и для других наборов параметров. Общий характер областей равного качества, значений параметров и других характеристик функционала при этих численных экспериментах существенно не изменялся.

Для оценки эффективности системы стабилизации положения рабочего органа комбайна представляет интерес сравнение значений

полученных выше результатов расчета критерия оптимальности Γ_{opt} с значением этого критерия Γ_0 при отсутствии управления. Для этого необходимо определить значение функционала Γ при том же наборе базовых параметров, но при нулевом значении параметров управления ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$). При этом необходимо учесть собственную жесткость k крепления гидроцилиндра (параметр α_0).

На рис(8) показана зависимость критерия Γ от параметра затухания ε , который определяется подвеской колес комбайна.

- 1: $\alpha_3 = 0, \alpha_4 = 0$, 2: $\alpha_3 = -35, \alpha_4 = -35$,
 3: $\alpha_3 = -15, \alpha_4 = -15$, 4: $\alpha_3 = -8, \alpha_4 = -8$

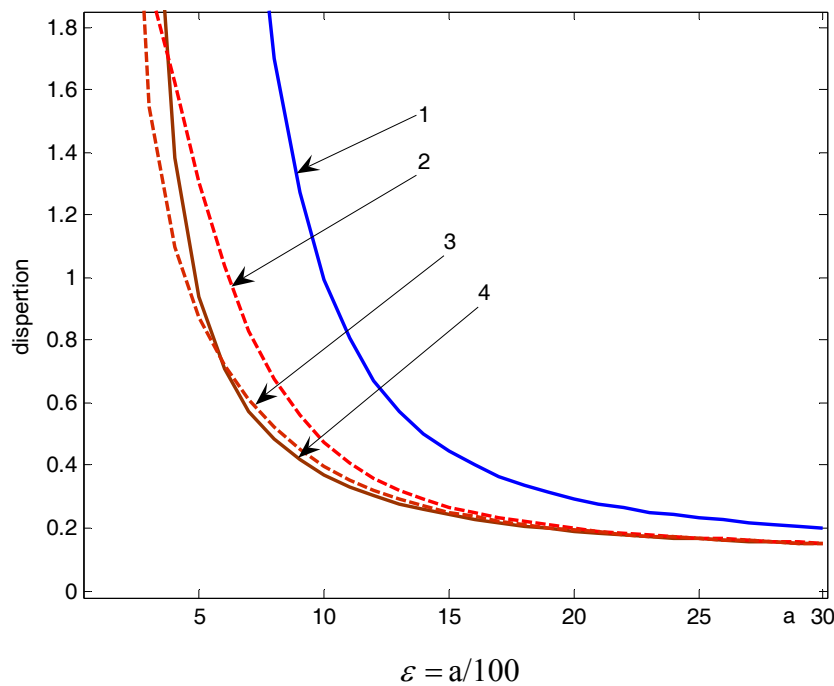


рис.8.

Рассматриваются разные случаи. Случай ($\alpha_3 = \alpha_4 = 0$) соответствует отсутствию управления. При этом параметр $\alpha_0 < -1$ Наилучшим

управлением является случай ($\alpha_3 = \alpha_4 = -8$). Отметим, что значение параметра затухания нам известно с очень малой точностью, поэтому оценка критерия Γ приводится для широкого диапазона значений параметра ε .

Интересным является график значений критерия оптимальности Γ при изменении скорости движения комбайна от 0 до $V = 4 \text{ м/с}$ ($\varepsilon = 0,1$). Как следует из рисунка (9), критерий Γ при оптимальном управлении ($\alpha_3 = \alpha_4 = -8$), по сравнению с отсутствием управления ($\alpha_3 = \alpha_4 = 0$), уменьшается более чем в четыре раза.

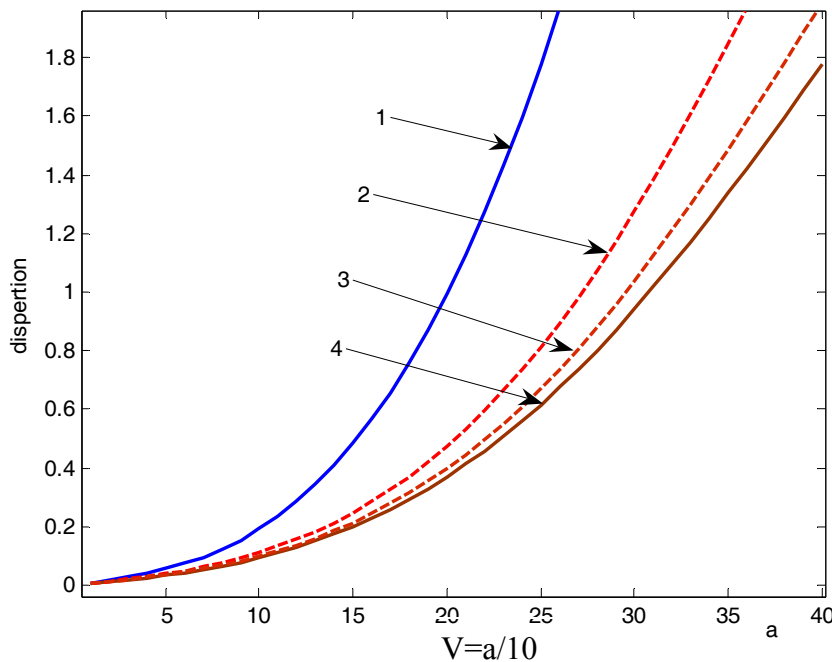


рис.9.

Рисунок показывает очень сильную зависимость критерия качества работы комбайна от скорости. Однако во всех случаях и при всех скоростях введение управления существенно улучшает показатель качества. Лучшие результаты получаются, если в расчетах используется большее значения показателя затухания ε .

Выводы:

Из проведенных расчетов и численных экспериментов можно сделать ряд выводов.

1. В рамках предложенной, механико-математической модели комбайна можно получить интересную и важную информацию о колебаниях элементов комбайна при его движении по неровному рельефу поля и о зависимости интенсивности таких колебаний от параметров конструкции комбайна и возможного управления.
2. Численные эксперименты показали, что увеличение скорости движения комбайна ограничено, прежде всего, наиболее низкой собственной частотой колебаний основной платформы комбайна.
3. Численные эксперименты показали, что применение управления гидроцилиндром для подавления колебаний рабочего органа комбайна целесообразно. Оценка эффективности предложенного способа показывает, что его использование может уменьшить интенсивность колебаний хедера в пять и более раз (размах колебаний в два-три раза).

Заключение

В диссертации рассматривается задача улучшения качества работы комбайнов очесывающего типа. Проблема состоит в том, что в силу свойств конструкции комбайнов этого типа, при движении по неровной поверхности поля, возникают нежелательные интенсивные колебания рабочего органа комбайна. За счет этого увеличиваются потери зерна, снижается производительность и увеличивается стоимость уборки зерна. С ростом скорости движения комбайна ситуация ухудшается.

В диссертации проводится теоретическое исследование и обоснование одного из возможных способов решения этой проблемы. Суть способа состоит в управлении силовым приводом, предназначенным для изменения высоты очесывающего устройства. Предполагается, что это может значительно уменьшить колебания рабочего органа.

В диссертации:

- 1) Рассмотрена система управления силовым приводом, регулирующим высоту очесывающего устройства. Предложены критерии, по которым можно оценивать качество работы устройства; праведно теоретическое и численное исследование эффективности использования системы управления.
- 2) Сформулирована механическая и математическая модель колебаний элементов комбайна и системы управления, приспособленная для исследования колебаний комбайна при его движении.
- 3) На основе имеющихся в литературе данных предложен способ учета неровности поверхности поля, как возбудителя колебаний элементов комбайна.
- 4) Исследована устойчивость движения комбайна в зависимости от параметров системы управления.
- 5) Предложен способ вычисления критерия качества работы комбайна и его минимизации.
- 6) Проведено численное исследование эффективности работы предложенной системы управления. Все численные расчеты

проведены на конкретном примере, близким по параметрам, к реальной ситуации.

При расчетах:

- 6.1) Найдены зоны устойчивости в пространстве параметров.
- 6.2) Определена топография критерия качества в зависимости от параметров системы управления, скорости движения комбайна и, заранее неизвестных, параметров элементов комбайна (жесткости рессор, характеристик амортизаторов, положения центра масс).
- 7) Показано, что при оптимальном выборе коэффициентов управления интенсивность колебаний очесывающего устройства может быть уменьшена в 5 и более раз.

Результаты теоретического и численного исследования, проведенного в диссертации, показали эффективность предложенного способа управления вертикальными колебаниями очесывающего устройства и целесообразность применения его на практике.

Работы автора по теме диссертации

. Основные результаты диссертации представлены в Отчете Института Механики МГУ.<<Резаеи Асл Аббас, Орданович А.Е. Отчет по теме “Способы уменьшения колебаний комбайна при движении”//. Отчет института механики МГУ, № 4834, 11,2006 г., 45 с., 25 рис., библи. 16.>>

Резаеи Асл Аббас

Способы уменьшения колебаний комбайна при движении

М., Издательство Центра прикладных исследований при
механико-математическом факультете МГУ, ...стр.

*Оригинал макет изготовлен издательской группой
механико-математического факультета МГУ*

Подписано в печать г.

Формат Объем 1.5 п.л.

Заказ Тираж.....экз.

Издательство ЦПИ при механико-математическом факультете
МГУ

Г.Москва, Воробьевы горы.

Лицензия на издательскую деятельность ИД №04059 от
20.02.2001 г.

Отпечатано на типографском оборудовании механико-
математического факультета