

К ВОПРОСУ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ КОМБАЙНА НА УБОРКЕ СОИ

В. Б. БАСКИН
Благовещенский СХИ

УДК 633.853.52 : 631.354.2

Исследование колебаний подрессоренных масс уборочно-транспортных машин типа комбайна СКГ-4 — одно из направлений в решении задачи обеспечения минимального среза стеблей сои при уборке урожая. Интенсивность колебаний подрессоренных масс в значительной мере влияет на высоту среза стеблей сои, а динамические нагрузки на опорные катки, связанные с колебаниями, — на проходимость уборочных машин на переувлажненной почве. К существенным особенностям системы подрессорирования в машинах типа комбайна СКГ-4 относятся линейная характеристика упругих элементов и отсутствие амортизаторов. Внутренними силами трения упругих элементов, обычно применяемых в конструкциях подвески рассматриваемых машин, ввиду их малости можно пренебречь. Возмущение колебаний подрессоренных масс происходит от различных источников: вибрации двигателя, работы молотильного барабана, соломотряса, трансмиссии, неровностей дороги и т. д.

Мы рассматриваем только влияние колебаний подрессоренных масс, вызванных неровностями рельефа. Подрессоренные массы включают в себя основную часть гусеничной машины, за исключением опорных кареток, опорной поверхности гусеничной ленты и отдельных деталей подвески. Поскольку коэффициент подрессоренных масс весьма высок ($n=7,92$), влиянием колебаний неподдресоренных масс пренебрегаем.

В процессе исследований принимаем некоторые допущения: 1) влиянием гусеницы с траком конечной длины на характер колебаний пренебрегаем, 2) при движении агрегата подвеска не выключается, 3) каретки реального движителя приводятся к каткам, массы которых включают и массы соответствующих участков гусеницы.

С учетом изложенного схема, принятая для исследования колебаний подрессоренных масс, имеет вид, представленный на рисунке, с подвижной системой координат, начало которой (точка 0) совпадает с центром тяжести машины. Положительное значение оси z направлено вверх и положительное значение угла i при наклоне корпуса — назад. Влияние конструктивных особенностей подвески учитывается при задании возмущающих сил.

Определим частоты собственных колебаний указанной системы с помощью метода обобщенных координат.

Рассматриваемая механическая система имеет две степени сво-

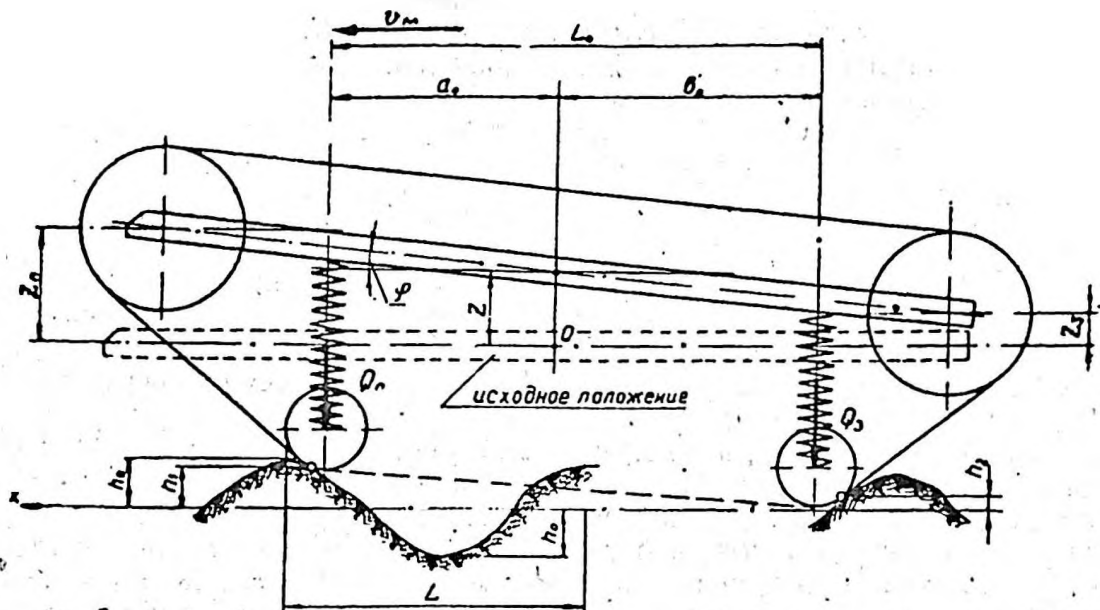


Схема поддресоренных масс гусеничного комбайна.

боды, а следовательно, и две обобщенные координаты z и φ . Решая дифференциальные уравнения движения этой системы, получим частотное биквадратное уравнение (1) относительно p :

$$p^4 - \frac{2C_1}{m\gamma^2} \left[(a'_0)^2 + (b'_0)^2 + 2\gamma^2 \right] p^2 + \frac{4C_1^2}{m^2\gamma^2} (a'_0 + b'_0)^2 = 0, \quad (1)$$

где:

m — масса поддресоренных частей, кг. сек²/см;

γ — радиус инерции, см;

C_1 — жесткость пружины, кг/см.

Величина массы поддресоренных частей m и радиуса инерции γ определялись с помощью экспериментов. Подставляя их значения в уравнение (1) и решая последнее, находим собственные частоты вертикальных — P_z и угловых — P_φ колебаний. Характер вынужденных колебаний системы определим из условия равновесия остова комбайна в данный момент. Согласно принципу Даламбера дифференциальные уравнения движения поддресоренных масс имеют следующий вид:

$$m \ddot{Z} + C_1 (Z_n - h_1) + C_1 (Z_3 - h_2) = 0; \quad (2)$$

$$J \ddot{\varphi} + C_1 (Z_n - h_1) a'_0 - C_1 (Z_3 - h_2) b'_0 = 0. \quad (3)$$

где:

J — момент инерции поддресоренных масс относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести, кг. сек²/см;

$Z_n - h_1$ — дополнительные, по отношению к статическим, деформации пружин соответственно передней и задней подвесок при наезде катка на неровность.

Выразим Z_n и Z_3 через обобщенные координаты системы Z и φ :

$$Z_n = Z + a'_0 \varphi; \quad (3)$$

$$Z_3 = Z - b'_0 \varphi. \quad (4)$$

При этом ошибка, связанная с заменой в уравнениях (3) и (4) $\operatorname{tg} f$ через f , составляет для комбайна СКГ-4 0,22%.

Поставив значения Z_1 и Z_2 в выражении (2) и (3), после соответствующих преобразований имеем:

$$m\ddot{Z} + 2C_1\dot{Z} + (C_1 a_0' - C_1 b_0') \cdot f = C_1 (h_1 + h_2); \quad (4)$$

$$I\ddot{f} + f [C_1 (a_0')^2 + C_1 (b_0')^2] + Z (C_1 a_0' - C_1 b_0') = C_1 (h_1 a_0' - h_2 b_0') \quad (5)$$

(6) и (7) — общие дифференциальные уравнения вертикальных и угловых колебаний подрессоренных масс относительно обобщенных координат Z и f . Наличие координат f в уравнении (5) и координаты Z в уравнении (4) указывает на связь между угловыми и вертикальными колебаниями.

При проектировании подвесок необходимо стремиться к независимости угловых и вертикальных колебаний, что обеспечивается совпадением центра тяжести и центра упругости, то есть произведение расстояний от точек подвески до центра тяжести на жесткость упругих элементов — величина постоянная. Для комбайна СКГ-4 принимаем расстояние от точек подвески передней и задней кареток равными:

$$a_0' = \frac{a_0' + b_0'}{2}.$$

При этом ошибка составляет не более 6,02% для всех случаев размещения масс при заполнении технологических емкостей агрегата. В общем случае вертикальные и угловые колебания подрессоренных масс можно считать независимыми друг от друга. С учетом изложенного уравнения (4) и (5) выглядят следующим образом:

$$m\ddot{Z} + 2C_1\dot{Z} = C_1 (h_1 + h_2); \quad (6)$$

$$I\ddot{f} + f [C_1 (a_0')^2 + C_1 (b_0')^2] = C_1 h_1 a_0' - C_1 h_2 b_0'. \quad (7)$$

Чтобы решить уравнения (8) и (9), определим расчетный профиль неровности пути. Исследования, проведенные НАТИ, показывают, что «достоверная расчетная оценка системы подрессоривания может быть получена, если реальные профили неровных дорог привести к волнообразным профилям синусоидальной формы, так как колебания гусеничной машины зависят главным образом от высоты неровностей, расстояния между ними и очень мало зависят от формы неровностей» (Труды НАТИ, вып. 192, М., 1968).

Выбор расчетного профиля для уборочно-транспортных машин типа комбайна СКГ-4 зависит от производственной поверхности поля. Профилографирование, проведенное В. В. Коптевым, показало, что за расчетный профиль пути при работе на стерне с достаточной точностью можно принять волнообразный профиль синусоидальной формы. Тогда:

$$h = h_0 \sin \frac{2\pi}{L} \cdot X \quad (8)$$

где:

x — текущая координата;

L — длина волны неровностей.

Выборочное профилографирование производственной поверхности поля при исследовании комбайна СКГ-4 показало, что с точностью,

достаточной для практических целей, можно использовать выражение (10). Заменим x через скорость движения машины и время, тогда в общем случае выражение (10) примет вид:

$$h = h_0 \sin P_b t; \quad (9)$$

где:

$$P_b = \frac{2\pi V_m}{L} \text{ 1/сек.}$$

Используя уравнение (11), запишем:

$$h_1 = h_0 \sin P_b t; \quad (10)$$

$$h_2 = h_0 \sin (P_b t - \alpha) \quad (11)$$

Величину угла α находим с помощью графических построений. Подставим значение h_1 и h_2 из выражений (10) и (11) в уравнения (6) и (7), после соответствующих преобразований последние примут вид:

$$\ddot{Z} + P_z^2 Z = h_0 P_z^2 \sin \left(P_b t - \frac{\alpha}{2} \right); \quad (12)$$

$$f \cdot P_f^2 \cdot f = h_0'' \cos \left(P_b t - \frac{\alpha}{2} \right); \quad (13)$$

где:

$$h_0' = n h_0; \quad h_0'' = \frac{a_0'' C_1 e h_0}{l}; \quad n = \cos \frac{\alpha}{2};$$

$$e = \sin \frac{\alpha}{2}; \quad P_z = \frac{2C_1}{m}; \quad P_f^2 = \frac{C_1 (a_0')^2 + C_1 (b_0')^2}{l}$$

коэффициенты, зависящие от характера рельефа и конструктивных параметров агрегата.

Решая уравнения (12) и (13) общепринятыми в теории колебаний методами, получим для общего случая (при $t=0$) $Z_{\text{нр}} = 0$; $f_{\text{нр}} = 0$. Уравнения (14) и (15) колебаний подрессоренных масс для движения комбайна по неровной поверхности:

$$Z = \frac{h_0' P_z^2}{P_z^2 - P_b^2} \left(\sin \frac{\alpha}{2} \cos P_z t + \frac{P_b}{P_z} \cos \frac{\alpha}{2} \sin P_z \cdot t \right) + \frac{h_0' P_z^2}{P_z^2 - P_b^2} \sin \left(P_b t - \frac{\alpha}{2} \right); \quad (14)$$

$$f = -\frac{h_0''}{P_f^2 - P_b^2} \left(\cos \frac{\alpha}{2} \cos P_f t + \frac{P_b}{P_f} \sin \frac{\alpha}{2} \sin P_f t \right) + \frac{h_0}{P_f^2 - P_b^2} \cos \left(P_b t - \frac{\alpha}{2} \right). \quad (15)$$

Анализ возмущающих сил, действующих на уборочно-транспортные машины типа комбайна СКГ-4, показывает, что основной вид колебаний подрессоренных масс — угловые колебания. Этот вывод справедлив при условии независимости угловых и вертикальных колебаний.

ВЫВОДЫ

1. Размещение поддресоренных масс комбайна СКГ-4 позволяет иметь независимость угловых и вертикальных колебаний.
2. Уравнения (14) и (15) можно использовать для исследования колебаний жатки при работе с копированием рельефа поля, в том числе и на уборке сои.