

УДК 631.371.06

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АГРЕГАТА НА НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВНОСТИ ЕГО ХОДА В РЕЖИМЕ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕЕЗДА

В. Б. ПОПОВ, С. Ф. АНДРЕЕВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Мобильный сельскохозяйственный агрегат (МСХА), состоящий из мобильного энергетического средства (МЭС) – трактора, универсального энергетического средства, фронтального погрузчика и агрегатируемой с ним навесной машины (НМ) или орудия, эксплуатируется в трех основных режимах: рабочем, транспортном и режиме перевода навесной машины из рабочего положения в транспортное. Наличие широкого шлейфа сменного рабочего оборудования позволяют МЭС успешно решать проблему механизации труда в случаях, когда использование специализированных машин нецелесообразно.

МСХА, состоящий из универсального энергетического средства УЭС 290/450 и агрегатируемой с ним косилки-плющилки ротационной КПП-9, регулярно работает в режиме транспортного переезда. Несмотря на сравнительно большой объем информации, связанной с моделированием колебаний колесных МЭС [1]–[5], для оценки результатов действия колебаний вышеупомянутого МСХА на некоторые параметры, определяющие его работу, ее недостаточно.

Основная часть

Основным источником низкочастотных колебаний МСХА являются неровности опорной поверхности, т. е. ее микропрофиль, индуцирующий колебания колесных движителей [5]. Вибрация от колес УЭС 290/450 передается на его корпус и навесную машину – КПП-9, что может привести к росту нагрузки на механизм навески (МН) подъемно-навесного устройства с одной стороны, и снижению уровня управляемости МСХА с другой.

Цель работы состоит в оценке влияния колебаний КПП-9, возникающих в процессе транспортного переезда МСХА, на МН подъемно-навесного устройства УЭС 290/450 и управляемость МСХА при экстремальных внешних воздействиях.

Основное влияние на плавность хода МЭС оказывают вертикальные поступательные и продольные угловые колебания [1]–[4]. Наряду со случайным и периодическим характером неровностей опорной поверхности, по которым движется МСХА, отдельные неровности могут иметь вид единичных впадин и возвышенностей. Они более или менее регулярно действуют на колеса МСХА, формируя условия для экстремального нагружения корпуса УЭС и связанной с ним навесной машины. Результаты исследований [2] показывают, что единичные неровности с достаточной для инженерных расчетов точностью можно представить в виде волны синусоидальной формы:

$$q = q_0 \sin\left(\frac{2\pi l}{l_0}\right); \quad 0 \leq l \leq l_0, \quad (1)$$

где $2q_0$, l_0 – высота и длина единичной неровности соответственно.

Периодические неровности можно рассматривать как непрерывное повторение единичных неровностей. Выражения, описывающие микропрофиль в виде единичной и периодической неровностей, целесообразно переписать в виде функций времени t :

$$l = v \cdot t,$$

где v – скорость движения УЭС 290/450.

Тогда для единичной неровности опорной поверхности имеем:

$$q = q_0 \sin(\omega t); \quad 0 \leq t \leq 2\pi/\omega,$$

где $\omega = 2\pi v/l_0$.

Для периодических неровностей имеем:

$$q = q_0 \sin(\omega t); \quad 0 \leq t \leq t_{\text{пер}},$$

где $t_{\text{пер}}$ – время, необходимое МСХА для переезда нескольких неровностей.

При составлении расчетной схемы транспортного переезда МСХА были приняты следующие допущения:

- колебания МСХА рассматриваются в продольной вертикальной плоскости его движения;
- КПП-9 в транспортном положении считается жестко соединенной с корпусом УЭС 290/450; ее влияние учитывается изменениями положения центра тяжести МСХА и момента инерции МСХА;
- возникающие в шинах УЭС 290/450 упругие и диссипативные силы пропорциональны изменению характеристик неровности (q, \dot{q}) опорной поверхности;
- колебания трансмиссии и сидения водителя не влияют на колебания УЭС 290/450, так как они малы;
- в движении колеса сохраняют точечный, но постоянный контакт с опорной поверхностью.

С учетом принятых допущений схема динамической модели УЭС 290/450 с КПП-9 в транспортном положении представляет колебательную систему с двумя степенями свободы (рис. 1).

Важным компоновочным параметром МЭС и МСХА, в зависимости от которого выбирается его расчетная схема, является коэффициент распределения подрессоренных масс:

$$\varepsilon = \rho^2 / L_1 \cdot L_2; \quad \rho = \sqrt{J/M},$$

где ρ – радиус инерции подрессоренного шинами корпуса УЭС и связанной с ним КПП-9; L_1 , L_2 – расстояния от осей заднего и переднего мостов УЭС до центра тяжести МСХА; J , M – момент инерции и масса МСХА.

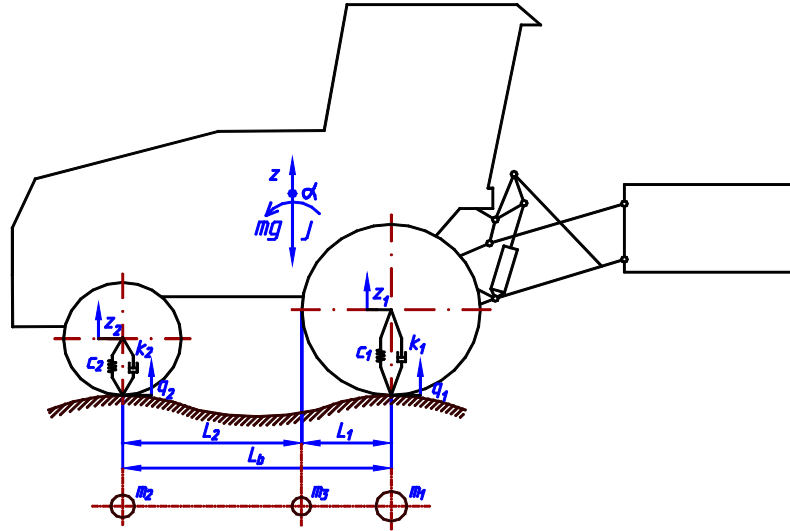


Рис. 1. Схема динамической модели МСХА в режиме транспортного переезда

Если коэффициент распределения подрессоренных масс близок к единице, то колебания передней и задней частей МЭС, МСХА теоретически становятся не связанными между собой [6]. При навешивании на УЭС косилки КПр-9 происходит перераспределение веса МСХА по мостам и соответствующее изменение коэффициента ε , который в этом случае отличается от единицы, что учтено при формировании расчетной схемы.

Для вывода дифференциальных уравнений, описывающих колебания остова МСХА в вертикальной плоскости, воспользуемся уравнениями Лагранжа второго рода. За обобщенные координаты приняты вертикальные перемещения центра тяжести z и угловые перемещения МСХА α . Обобщенные координаты связаны с вертикальными перемещениями через выражения:

$$z = \frac{z_1 L_2 + z_2 L_1}{L_b}; \quad \operatorname{tg} \alpha = (z_2 - z_1) / L_b. \quad (1)$$

При малых угловых перемещениях $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$. Тогда $\alpha = (z_2 - z_1) / L_b$.

В этом случае кинетическая энергия МСХА определяется как:

$$E_k = \frac{1}{2} M \dot{z}^2 + \frac{1}{2} J \dot{\alpha}^2 = \frac{1}{2} M \left(\frac{\dot{z}_1 L_2 + \dot{z}_2 L_1}{L_b} \right)^2 + \frac{1}{2} J \left(\frac{\dot{z}_2 - \dot{z}_1}{L_b} \right)^2 = \frac{1}{2} m_1 \dot{z}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{z}_2^2 + m_3 \dot{z}_1 \dot{z}_2, \quad (2)$$

где $m_1 = M \frac{L_2^2 + \rho^2}{L_b^2}$; $m_2 = M \frac{L_1^2 + \rho^2}{L_b^2}$; $m_3 = M \frac{L_1 L_2 - \rho^2}{L_b^2}$.

Распределение масс по осям УЭС (m_1 и m_2) и появление массы m_3 свидетельствует о существенном отличии коэффициента ε от единицы.

Получив выражение для потенциальной энергии [2] и взяв далее соответствующие производные от выражений для кинетической и потенциальной энергий, и подставив их в уравнения Лагранжа с учетом внешних воздействий, а также выполнив некоторые преобразования, получим уравнения вынужденных колебаний МСХА:

$$\begin{cases} \ddot{z}_1 + 2h_1 \dot{z}_1 + \omega_1^2 z_1 + \eta_1 \ddot{z}_2 = 2h_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1, \\ \ddot{z}_2 + 2h_2 \dot{z}_2 + \omega_2^2 z_2 + \eta_2 \ddot{z}_1 = 2h_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2. \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Здесь } \eta_1 = \frac{m_3}{m_1}; \quad \omega_1^2 = \frac{2c_{\text{ш1}}}{m_1}; \quad 2h_1 = \frac{2k_{\text{ш1}}}{m_1}; \quad \eta_2 = \frac{m_3}{m_2}; \quad \omega_2^2 = \frac{2c_{\text{ш2}}}{m_2}; \quad 2h_2 = \frac{2k_{\text{ш2}}}{m_2},$$

где η_1, η_2 – коэффициенты связи; h_1, h_2 – коэффициенты демпфирования колебаний; ω_1, ω_2 – частоты колебаний осей УЭС.

Таким образом, в функциональной математической модели (ФММ), имитирующей динамику транспортного переезда МСХА, колебания передней и задней осей УЭС связаны между собой. ФММ включает распределенную массу МСХА (M), его момент инерции (J), а также упругие ($c_{\text{ш1}}, c_{\text{ш2}}$) и демпфирующие элементы $k_{\text{ш1}}, k_{\text{ш2}}$ шин, воспринимающие и смягчающие толчки со стороны сельскохозяйственного фона (q_1, q_2). Эквивалентная динамической схеме ФММ описывается нелинейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Решение системы ДУ было получено с помощью метода Рунге–Кутты 4-го порядка в программной среде MathCAD. Рассмотрим движение МСХА со скоростью 2 м/с и переезд им двух единичных неровностей на кукурузном поле после уборки. Безразмерные колебания основных характерных точек МСХА представлены на рис. 2.

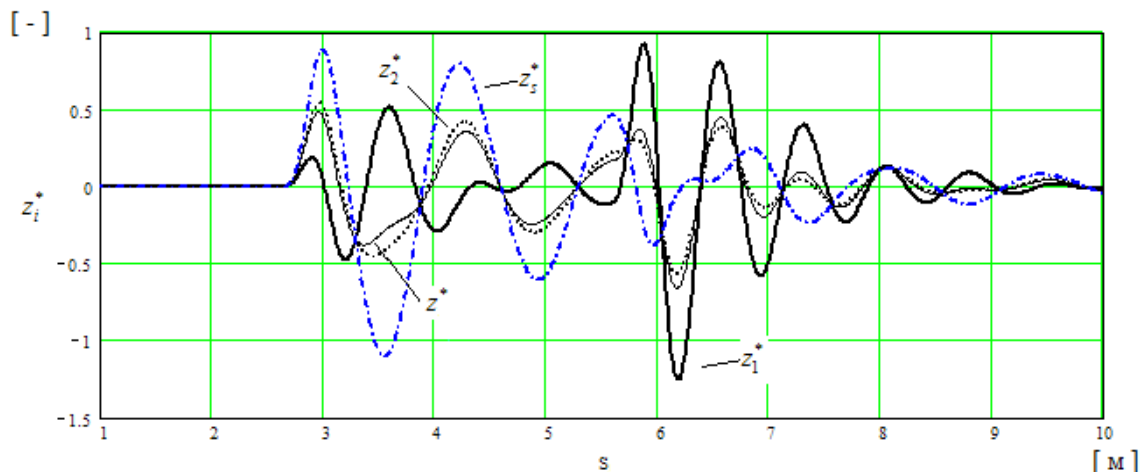


Рис. 2. Колебания (безразмерные) центра тяжести МСХА и КПП-9, передней и задней осей УЭС 290/450

Наиболее критичными к внешним воздействиям оказались колебания центра тяжести КПП-9, амплитуда его колебаний на 9 % выше высоты единичной неровности. При навешивании КПП-9 следует учитывать вероятное перемещение его наиболее близких к опорной поверхности точек, например, колес, которые могут контактировать с ней, что нежелательно.

Весьма важной характеристикой движения МСХА является вертикальное ускорение, приобретаемое КПП-9 в процессе преодоления единичных неровностей. Расчет, выполненный с помощью сформированной ФММ, показал, что ускорения, направленные к опорной поверхности (рис. 3), могут достигать величины 6 м/с^2 . Таким образом, нагрузка, приходящаяся на механизм навески подъемно-навесного устройства (ПНУ) УЭС 290/450, соответственно увеличивается более чем на 60 %, что необходимо учитывать при конструировании звеньев МН и проектировании ПНУ.

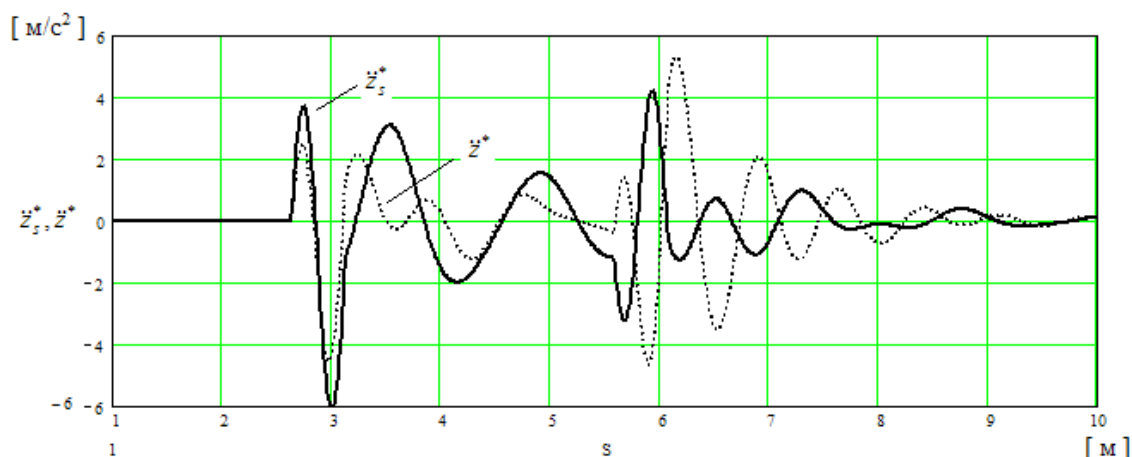


Рис. 3. Колебания ускорения центра тяжести КПр-9 и УЭС 290/450

Весьма важной характеристикой движения МСХА через единичные неровности является динамическое перераспределение его веса. Существующие ограничения, связанные с относительной величиной давления движителей МЭС (МСХА), должны учитываться при проектировании [2]–[4]. Так, например, опорная реакция на передних колесах УЭС 290/450 при агрегатировании его с навесными машинами должна быть не меньше 20 % от веса самого УЭС. Результаты расчета реакций на передних и задних колесах УЭС 290/450 при агрегатировании с КПр-9 и в случае, когда единичные неровности преодолевает только энергосредство, представлены на рис. 4, 5 соответственно. Из иллюстраций следует, что транспортный переезд энергосредства УЭС 290/450 с косилкой КПр-9, поднятой предварительно в верхнее положение, при вышеоговоренных условиях для передних (управляемых) колес малосущественен, а вот задние колеса догружаются еще на 45 %, что необходимо учитывать в процессе проектирования. Интересно то, что наибольшее влияние единичные неровности оказывают на энергосредство без навесной машины. Из расчета следует, что наличие навесной машины в транспортном положении способствует демпфированию колебаний движителей.

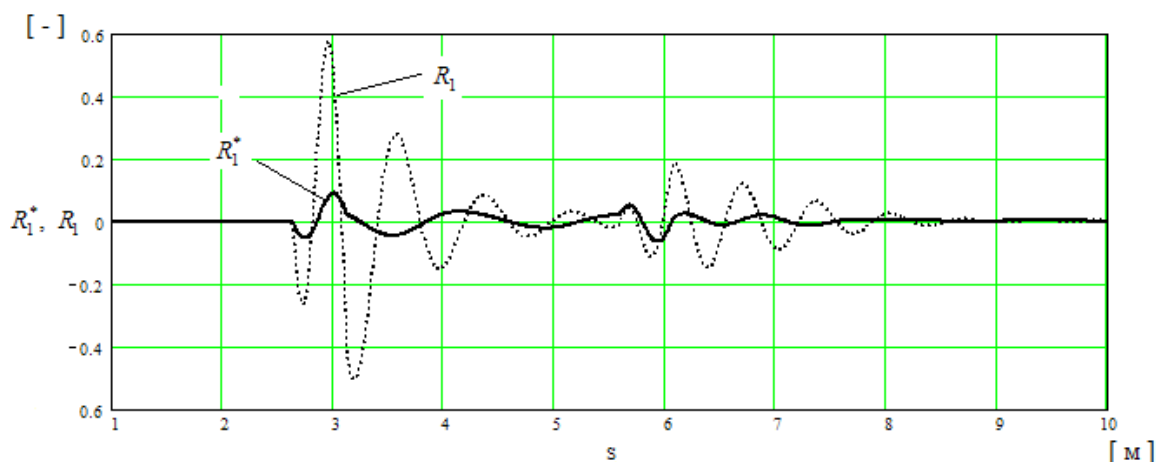


Рис. 4. Динамические реакции (безразмерные) на передних колесах УЭС 290/450 с КПр-9 и без нее

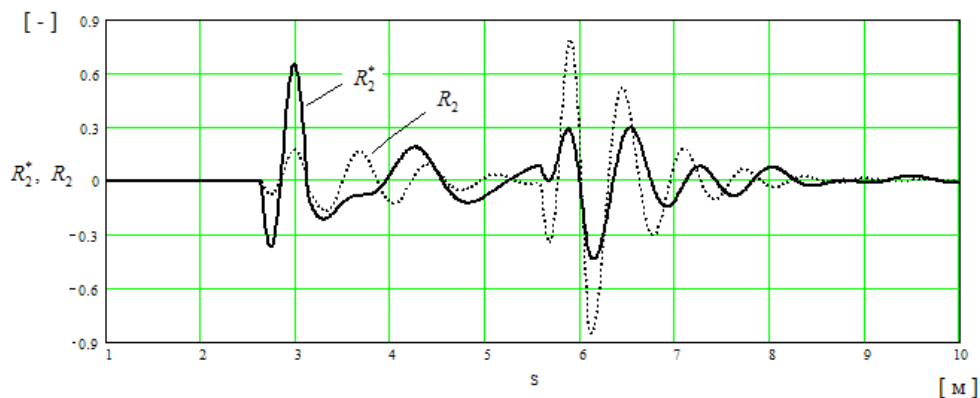


Рис. 5. Динамические реакции (безразмерные) на задних колесах УЭС 290/450 с КПП-9 и без нее

Заключение

На основе разработанной ФММ транспортного переезда МСХА, состоящего из универсального энергетического средства УЭС 290/450 и косилки-плющилки ротационной КПП-9, был выполнен расчет отдельных характеристик плавности его хода. В результате было установлено, что включающий единичные неровности сельскохозяйственный фон оказывает существенное влияние на параметры колебательных процессов, индуцируемых колесными движителями. В частности, были определены рост вертикального ускорения КПП-9, существенно увеличивающего нагрузку на звенья механизма навески УЭС 290/450, и его же влияние на перераспределение веса МСХА на движителях энергосредства.

Рассмотренная функциональная математическая модель транспортного переезда МСХА может быть использована для имитации равномерного движения агрегата и определения параметров колебаний колесных тракторов [7] и агрегируемых с ними сельскохозяйственных орудий.

Литература

1. Тракторы: Теория / В. В. Гуськов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 384 с. : ил.
2. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В. А. Скотников [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1986. – 383 с. : ил.
3. Барский, И. Б. Конструирование и расчет тракторов / И. Б. Барский. – М. : Машиностроение, 1980. – 280 с.
4. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства : учебник для студентов высш. учеб. заведений / Г. М. Кутьков. – М. : КолосС, 2004. – 504 с. : ил.
5. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / под ред. А. А. Хачатурова. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с. : ил.
6. Попов, В. Б. Анализ режимов работы подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства УЭС 290/450 «Полесье» // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. – Минск : Объедин. ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси. – 2012. – С. 99–102.
7. Золотаревская, Д. И. Математическое моделирование колебаний колесного трактора / Д. И. Золотаревская // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 14–18.

Получено 19.02.2014 г.