

ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТЕЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

А.С. Павлюк, С.В. Сафронов

Рассмотрена возможность определения влияния неровностей опорной поверхности на направление движения колесной машины по характеристикам внешних возмущений, поступающих на колеса. При определении характеристик микропрофиля поверхности в качестве копиров могут быть использованы колеса движущейся машины. Для составления уравнений движения использованы уравнения Лагранжа второго рода. Полученные результаты приемлемы при исследовании динамики движения автотранспортных средств и сельскохозяйственных машин и агрегатов.

Ключевые слова: неровность опорной поверхности, движение колесной машины, внешние возмущения, микропрофиль поверхности, уравнение движения, динамика движения.

При управляемом движении колесной мобильной машины можно выделить два вида управляющих воздействий, производимых водителем для обеспечения движения по траектории, близкой к требуемой. Первый вид управляющих воздействий направляет машину, ориентируясь только на форму требуемой траектории. Очевидно, этого вида будет достаточно при условии отсутствия неровностей на опорной поверхности, т.е. при движении по ровной горизонтальной поверхности. Взаимодействие нагруженных колес с опорной поверхностью определится силами и моментами, возникающими при наличии увода, разгона или торможения.

Если движение происходит при наличии неровностей, то на машину дополнительно действуют силы и моменты, вызванные взаимодействием колес с неровностями опорной поверхности. При этом происходит как непосредственное отклонение колес от установленного направления движения, так и изменение траектории движения за счет кинематического увода колес при их перемещении в вертикальной плоскости из-за неровностей. Для компенсации такого влияния на направление движения мобильной машины водитель вынужден производить и управляющие воздействия второго рода, обеспечивая и в этом случае движение по траектории, близкой к требуемой.

Безусловно, водитель не разделяет эти виды управляющих воздействий, он интуитивно, на основании предыдущего опыта управления мобильной машиной, определяет и выполняет суммирующее управляющее воздействие [1].

По мере возрастания второй части управляющих воздействий при увеличении

влияния неровностей ограничиваются рабочие скорости, производительность, снижается качество выполнения технологических операций.

При движении мобильной машины по неровностям, расположение которых и величина носит случайный характер [2], горизонтальные составляющие сил и моментов взаимодействия колес с неровностями стремятся отклонить колеса и изменить траекторию машины, а продольные – скорость.

Для почвообрабатывающих машин неровности поверхности поля также оказывают влияние на тяговое сопротивление рабочих органов, создавая угловые отклонения в горизонтальной плоскости.

Было установлено, что в пределах отдельного поля можно считать микропрофиль поверхности функцией, близкой к эргодической и стационарной [2]. В монографии [3] профиль дороги – сечение рельефа в направлении движения транспортного средства, соответствующее колее движения, был представлен в виде регулярного нормального случайного процесса.

Одним из способов определения характеристик профиля поверхности является запись колебаний движущейся по полю динамической системы в виде мобильной машины или специального устройства с возможностью последующего обратного преобразования записи. Затем по преобразованному сигналу вычисляются характеристики микропрофиля [3, 4]. К параметрам динамической системы обычно устанавливая требование по обеспечению близкого к линейному преобразованию входящего сигнала, определяющего форму опорной поверхности, по отно-

шению к сигналу на выходе, записанному в регистрирующем устройстве.

Такой способ обеспечивает высокую производительность, но не всегда точен. Характеристики работы зависят от выбора датчика динамической системы, колебания которого регистрируются. В качестве датчика находят применение гироскопический прибор [5], копир [6], маятник [5,7].

Кроме того, применяются устройства для непосредственного измерения формы неровностей. В этом случае применяются мерные линейки, нивелиры, лазерные измерители [7,8].

Для практического использования конкретные величины неровностей и их расположение не всегда необходимы при анализе. Колебания мобильной машины как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях зависят не только от формы опорной поверхности, образующейся в результате деформации, но и от характеристик шин, конструкции подвески, количества и расположения колес, конструкции и массово-геометрических характеристик мобильной машины.

Представляется перспективным предложение использовать в качестве копира динамической системы для определения характеристик профиля опорной поверхности непосредственно движители штатных машинно-тракторных агрегатов [9]. В этом случае при измерениях будут учтены действительные деформации почвы под колесами и взаимодействие колес мобильной машины с неровностями опорной поверхности. Наибольший интерес, как отмечено выше, представляют колебания в горизонтальной плоскости. Однако существенным препятствием при использовании этого предложения служит недостаточность теоретических разработок.

Основой применения такого способа может явиться запись параметров характеризующих колебания звеньев мобильной машины при движении по определенному виду опорной поверхности. Затем при помощи обратного пересчета для динамической математической модели используемой мобильной машины производится определение составляющих главного вектора и главного момента внешних возмущений, действующие на колеса мобильных машин со стороны неровностей опорной поверхности. В этом случае учитываются как конструктивные параметры мобильной машины, так и деформация неровностей опорной поверхности при взаимодействии с колесами и соответственно,

определяются возникающие колебания в горизонтальной плоскости.

Следует отметить, что полученные характеристики неровностей опорной поверхности применимы к ограниченному числу мобильных машин, близких по конструктивным параметрам. При значительных отличиях необходимо проведение дополнительных экспериментов.

Рассмотрим движение колесной мобильной машины по опорной поверхности с неровностями. Считаем, что управляющие воздействия водителя будут отсутствовать. Мобильная машина будет отклоняться в горизонтальной плоскости от заданной траектории только лишь под воздействием силового взаимодействия колес с неровностями опорной поверхности. Будем считать систему силовых воздействий со стороны неровностей опорных поверхности на колеса звеньев мобильной машины приведенной к главным векторам и главным моментам относительно центров масс звеньев.

Рассмотрим движение мобильной машины, состоящей из двух звеньев – тягача с шарнирной рамой и прицепного звена с передними управляемыми колесами, по опорной поверхности с неровностями. К такому типу мобильных машин можно отнести машинно-тракторные агрегаты, автомобильные и тракторные поезда и т.п.

На рисунке 1 показана расчетная схема движения тягача, как составного звена мобильной машины. В расчетной схеме использованы следующие обозначения:

$T_{0л}, T_{0п}, T_{1л}, T_{1п}$ – боковые силы, вызывающие увод пневматических шин; $F_{0л}, F_{0п}, F_{1л}, F_{1п}$ – силы тяги на ведущих колесах тягача; $S_{0л}, S_{0п}, S_{1л}, S_{1п}$ – силы сопротивления качению колес; $M_{0л}, M_{0п}, M_{1л}, M_{1п}$ – главные моменты сил упругости шин; $\psi_{0л}, \psi_{0п}, \psi_{1л}, \psi_{1п}$ – углы бокового увода шин; h_0, h_1 – ширина колеи; μ_1 – главный момент силовых воздействий со стороны неровностей; P_{11} и P_{12} – проекции главного вектора силовых воздействий со стороны неровностей опорной поверхностей; $a_{A0}, a_{O2}, a_{A1}, a_{11}$ – расстояния до центров масс секций тягача. Индекс «0» обозначает принадлежность к передней секции тягача, индекс «1» – к задней. Индексами «Л» и «П» определена принадлежность к левой или правой стороне по ходу тягача. Взаимосвязь между параметрами увода пневматических шин могут быть определены по зависимостям, приведенным в работе [1].

Считаем скорость движения тягача постоянной. Во время движения тягача необходимо регистрировать время реализации угла складывания рамы $\alpha_0 = (t)$, курсового угла задней секции $\alpha_1 = (t)$ и бокового ускорения центра масс задней секции тягача $a_B = (t)$. Расположим на задней секции подвижную систему координат $X_1B_1Y_1$ с началом в центре масс задней секции. Считаем, что проекция абсолютной скорости центра масс задней секции тягача V_{Π} на продольную ось B_1X_1

будет постоянной. При относительно небольших угловых отклонениях тягача это не создаст существенной погрешности.

В процессе движения проекция абсолютной скорости центра масс на поперечную ось B_1Y_1 определится как

$$V_B = \int_0^t a_B(t) dt$$

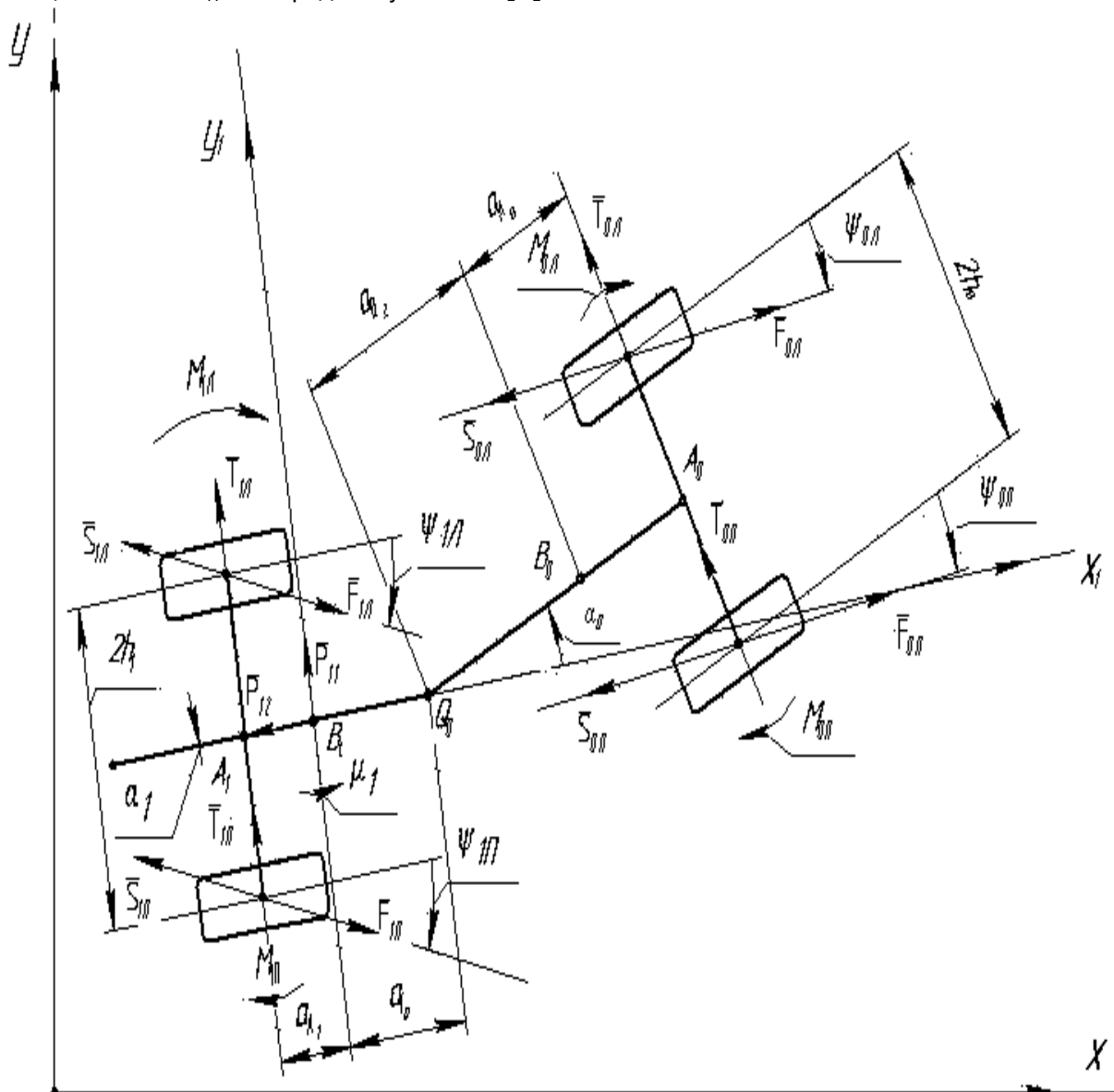


Рисунок 1 - Расчетная схема тягача

Проекции абсолютной скорости центра масс задней секции тягача на неподвижные оси координат OX и OY определяются как

$$V_x = V_H \cos \alpha_1 - V_E \sin \alpha_1;$$

$$V_Y = V_H \sin \alpha_1 - V_E \cos \alpha_1 .$$

Дифференцированием полученных уравнений получаем в результате проекции абсолютного ускорения центра масс задней секции тягача на неподвижные оси:

$$a_X = -V_{II} \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - a_B \sin \alpha_1 - V_B \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1;$$

$$a_Y = V_{II} \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 + a_B \cos \alpha_1 - V_B \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1.$$

Кинетическая энергия тягача в целом определится по формуле:

$$T = \frac{m_1}{2} (V_X^2 + V_Y^2) + \frac{I_1}{2} (\dot{\alpha}_1)^2 + \frac{m_0}{2} \times$$

$$\times ((V_X - a_{11} \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - a_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \times$$

$$\times \sin(\alpha_0 + \alpha_1))^2 + (V_Y + a_{11} \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 +$$

$$+ a_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_1))^2 +$$

$$+ \frac{I_0}{2} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1)^2;$$

где m_0, m_1 – массы передней и задней секций тягача; I_0, I_1 – моменты инерции передней и задней секций относительно осей, проходящих вертикально через центры масс; a_{02}, a_{11} – расстояния от центров масс секций до центрального шарнира тягача.

Уравнения движения тягача могут быть получены с использованием уравнений Лагранжа второго рода. Общий вид уравнений:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i$$

В левых частях уравнения имеют следующий вид:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = m_1 \dot{V}_x + m_0 (\dot{V}_x - \alpha_{11} \ddot{\alpha}_1 \times$$

$$\times \sin \alpha_1 \alpha_{02} (\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_1) - \alpha_{11} \times$$

$$\times (\dot{\alpha}_1)^2 \cos \alpha_1 - \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1)^2 \cos(\alpha_0 +$$

$$+ \alpha_1)) = (m_0 + m_1) \alpha_X - m_0 (\alpha_{11} \ddot{\alpha}_1 -$$

$$- \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_1) - \alpha_{11} \times$$

$$\times (\dot{\alpha}_1)^2 \cos \alpha_1 - \alpha_{02} (\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1)^2 \times$$

$$\times \cos(\alpha_0 + \alpha_1));$$

$$\frac{d}{dy} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial T}{\partial y} = m_1 \dot{V}_y + m_0 (\dot{V}_y - \alpha_{11} \ddot{\alpha}_1 \times$$

$$\times \cos \alpha_1 + \alpha_{02} (\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_1) -$$

$$- \alpha_{11} (\dot{\alpha}_1)^2 \sin \alpha_1 - \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1)^2 \times$$

$$\times \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) = (m_0 + m_1) \alpha_Y - m_0 \times$$

$$\times (\alpha_{11} \ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 + \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \times$$

$$\times \cos(\alpha_0 + \alpha_1) - \alpha_{11} (\dot{\alpha}_0)^2 \sin \alpha_1 -$$

$$- \alpha_{02} (\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1)^2 \sin(\alpha_0 + \alpha_1));$$

$$\frac{d}{d\alpha_1} = I_1 + m_0 ((\dot{V}_x - \alpha_{11} \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \times$$

$$\times (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) (-\alpha_{11} \sin \alpha_1 -$$

$$- \alpha_{02} \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) + (V_Y + \alpha_{11} \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 +$$

$$+ \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1)) (-\alpha_{11} \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \times$$

$$\times \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) + I_0 (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1);$$

$$\frac{d}{d\alpha_1} = m_0 ((\dot{V}_x - \alpha_{11} \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \dot{\alpha}_0 +$$

$$+ \dot{\alpha}_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) - (-V_{II} \sin \alpha_1 - V_B \times$$

$$\times \cos \alpha_1 - \alpha_{11} \dot{\alpha} \cos \alpha_1 - \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \times$$

$$\times \cos(\alpha_0 + \alpha_1)) + V_y \alpha_{11} \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 + \alpha_{02} \times$$

$$\times (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_1)) (V_{II} \cos \alpha_1 -$$

$$- V_B \sin \alpha_1 - \alpha_{11} \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \times$$

$$\times \sin(\alpha_0 + \alpha_1));$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}_1} \right) = I_1 \dot{\alpha}_1 + m_0 ((\alpha_X - \alpha_{11} \ddot{\alpha}_1 \times$$

$$\times \sin \alpha_1 - \alpha_{11} (\dot{\alpha}_1)^2 \cos \alpha_1 - \alpha_{02} (\ddot{\alpha}_0 +$$

$$+ \ddot{\alpha}_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_1) - \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1)^2 \times$$

$$\times \cos(\alpha_0 + \alpha_1)) (-\alpha_{11} \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \times$$

$$\times \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) + (V_X - \alpha_{11} \dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 -$$

$$- \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) (-\alpha_{11} \times$$

$$\times \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \alpha_{02} (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 +$$

$$+ \alpha_1)) (-\alpha_{11} \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \sin(\alpha_0 +$$

$$\begin{aligned}
 & + \alpha_1)) + (V_X - \alpha_{11}\dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \times \\
 & \times (\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_1))(-\alpha_{11}\dot{\alpha}_1 \times \\
 & \times \cos \alpha_1 - \alpha_{02}(\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 + \\
 & + \alpha_1)) + (\alpha_Y + \alpha_{11}\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \alpha_{11} \times \\
 & \times (\dot{\alpha}_1)^2 \sin \alpha_1 + \alpha_{02}(\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1) \times \\
 & \times \cos(\alpha_0 + \alpha_1) - \alpha_{02}(\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1)^2 \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \alpha_1))(\alpha_{11} \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) + V_Y + \alpha_{11}\dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 + \\
 & + \alpha_{02}(\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_1)) \times \\
 & \times (-\alpha_{11}\dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - \alpha_{02}(\alpha_0 + \alpha_1) \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \alpha_1))) + I_0(\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1); \\
 \\
 & \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \alpha_1} = I_1 + m_0((\alpha_X - \alpha_{11}\ddot{\alpha}_1 \times \\
 & \sin \alpha_1 - \alpha_{11}(\dot{\alpha}_1)^2 \cos \alpha_1 - \alpha_{02}(\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1) \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \alpha_1) - \alpha_{02}(\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1)^2 \cos(\alpha_0 + \\
 & + \alpha_1))(-\alpha_{11} \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) + \\
 & + (\alpha_Y + \alpha_{11}\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \alpha_{11}(\dot{\alpha}_1)^2 \sin \alpha_1 + \\
 & + \alpha_{02}(\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_1) - \alpha_{02}(\dot{\alpha}_0 + \\
 & + \dot{\alpha}_1)^2 \sin(\alpha_0 + \alpha_1))(-\alpha_{11} \sin \alpha_1 - \alpha_{02} \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \alpha_1)) + I_0(\ddot{\alpha}_0 + \ddot{\alpha}_1) + m_0 \times \\
 & \times ((V_X - \alpha_{11}\dot{\alpha}_1 \sin \alpha_1 - \alpha_{02}(\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \alpha_1))V_Y + (V_Y + \alpha_{11}\dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 + \\
 & + \alpha_{02}(\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_1))(-V_X));
 \end{aligned}$$

Обобщенные силы определяются как:

$$\begin{aligned}
 Q_X = & (F_{0Л} - S_{0Л}) \cos(\alpha_0 + \alpha_1 - \psi_{0Л}) + \\
 & + (F_{0П} - S_{0П}) \cos(\alpha_0 + \alpha_1 - \psi_{0П}) + \\
 & + (F_{1Л} - S_{1Л}) \cos(\alpha_1 - \psi_{1Л}) + (F_{1П} + \\
 & + S_{1П}) \cos(\alpha_1 - \psi_{1П}) - (T_{0Л} + T_{0П}) \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \alpha_1) - (T_{1Л} + T_{1П}) \sin \alpha_1 - \\
 & - P_{12} \cos \alpha_1 - P_{11} \sin \alpha_1;
 \end{aligned}$$

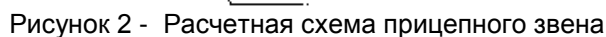
$$\begin{aligned}
 Q_Y = & (F_{0Л} - S_{0Л}) \sin(\alpha_0 + \alpha_1 - \psi_{0Л}) + \\
 & + (F_{0П} - S_{0П}) \sin(\alpha_0 + \alpha_1 - \psi_{0П}) + \\
 & + (F_{1Л} - S_{1Л}) \sin(\alpha_1 - \psi_{1Л}) + (F_{1П} + \\
 & + S_{1П}) \sin(\alpha_1 - \psi_{1П}) - (T_{0Л} + T_{0П}) \times \\
 & \times \cos(\alpha_0 + \alpha_1) + (T_{1Л} + T_{1П}) \cos \alpha_1 + \\
 & + P_{11} \cos \alpha_1 - P_{12} \sin \alpha_1;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\alpha_1} = & \mu_1 - M_{0Л} - M_{0П} - M_{1Л} - \\
 & - M_{1П} - (F_{1Л} - S_{1Л})(h_1 \cos \psi_{1Л}) + \\
 & + \alpha_{A1} \sin \psi_{1Л}) + (F_{1П} - S_{1П})(h_1 \times \\
 & \times \cos \psi_{1П} + \alpha_{A1} \sin \psi_{1П}) - (T_{1Л} + \\
 & + T_{1П})\alpha_{A1} + (T_{0Л} + T_{0П})(\alpha_{02} + \alpha_{A0}) + \\
 & + (S_{0Л} - F_0)(h_0 \cos \psi_{0Л} - (\alpha_{02} + \\
 & + \alpha_{A0}) \sin \psi_{0Л}) + (F_{0П} - S_{0П})h_0 \times \\
 & \times \cos \psi_{0П} - (\alpha_{02} + \alpha_{A0}) \sin \psi_{0П} = \\
 & = ((T_{0Л} + T_{0П}) \cos \alpha_0 + (S_{0Л} - F_0) \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \psi_0) + (F_{0П} - S_{0П}) \times \\
 & \times \sin(\alpha_0 + \psi_{0П})\alpha_{11}.
 \end{aligned}$$

На основании полученной системы уравнений могут быть определены временные реализации составляющих главного вектора и главного момента внешних возмущений на тягач со стороны неровностей опорной поверхности.

При рассмотрении движения прицепного звена примем допущения о том, что его колебания в горизонтальной плоскости независимы от колебаний тягача, а точка соединения звеньев мобильной машины движется равномерно и прямолинейно.

В качестве расчетной схемы для расчетов принимаем схему приведенную на рисунке 2. Эта схема является универсальной, поскольку при передаточном числе, равном единице, она соответствует прицепу с управляемой передней осью. Заранее считаем, что имеются временные реализации двух составляющих в горизонтальной плоскости тягового усилия тягача на сцепном устройстве $F_x(t)$ и $F_y(t)$, а также курсового угла прицепа $\alpha(t)$.


$$\begin{aligned}
m(\alpha_{3I}\ddot{\alpha}\sin\alpha - \alpha_{3I}(\dot{\alpha})^2\cos\alpha) &= F_X - \\
&- R_X - S_{4II}\cos(\alpha + \psi_{4II}) - S_{4II}\cos(\alpha + \\
&+ \psi_{4II}) - (T_{4II} + T_{4II})\sin(\alpha + \varphi) - P_{32} \times \\
&\times \cos\alpha - P_{31}\sin\alpha - S_{3II}\cos(\alpha + \psi_{3II}) - \\
&- S_{3II}\cos(\alpha + \psi_{3II}) - (T_{3II} + T_{3II})\sin(\alpha).
\end{aligned}$$

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК 1/1-2012

Уравнение колебаний вокруг точки О прицепного звена имеет вид:

237

$$\begin{aligned}
 &+ \psi_{4Л})(\alpha_{31} - \alpha_{A4}) - S_{4П} \cos(\varphi + \\
 &+ \psi_{4П})h_4 + S_{4П} \sin(\varphi + \psi_{4П})(\alpha_{31} - \\
 &- \alpha_{A4}) + S_{3Л} \cos \psi_{3Л} h_3 + S_{3Л} \times \\
 &\times \sin \psi_{3Л}(\alpha_{31} + \alpha_{32}) - S_{3П} \cos \psi_{3П} \times \\
 &\times h_3 + S_{3П} \sin \psi_{3П}(\alpha_{31} + \alpha_{32}) - P_{31} \alpha_{31}.
 \end{aligned}$$

Система уравнений, приведенная выше, позволяет определить составляющие главного вектора P_{31} и P_{32} , а также реализацию главного момента μ_3 внешних возмущений в зависимости от времени.

Методика, приведенная в работе [10], позволяет применить принятые расчетные схемы звеньев машинно-тракторного агрегата для расчетных схем с произвольным числом осей и колес. Так же могут быть учтены случайные воздействия от неровностей поля и на рабочие органы почвообрабатывающих машин.

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Павлюк А.С. Моделирование управляемого движения автомобиля: учебное пособие / А.С. Павлюк; Алт. Гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: 2006. – 141 с.
2. Коновалов В.Ф. Устойчивость и управляемость машинно-тракторных агрегатов./В.Ф. Коновалов. - Пермь. 1969. Пермский СХИ. 444 с.
3. Динамика системы дорога - шина - автомобиль - водитель / Хачатуров А.А., Афанасьев В.Л., Васильев В.С. и др. М.: Машиностроение. 1976.- 535 с.
4. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность – машина / М.Г. Беккер. Перевод с англий-

ского. Научный редактор Л.В. Сергеев – М.: Машиностроение, -1973. 520 с.

5. Макаров М.П. Профилограф с гироскопическим датчиком/ М.П. Макаров, В.В. Синицын, В.В. Кузенков. – Механизац. и электриф. соц. сельс. хоз-ва, 1975, № 7, с.21-22

6. Антышев Н.М. Плавность хода скоростного колесного трактора. Механизац. и электриф. соц. сельс. хоз-ва. 1966. № 10, с. 12-13.

7. ГОСТ 12.1.049-86. ССБТ. Вибрация. Методы измерения на рабочих местах самоходных колесных строительно-дорожных машин. Дата введения 1987-01-01.

8. СТО МАДИ 02066517.1-2006. Дороги автомобильные общего пользования. Диагностика. Определение продольного микропрофиля дорожной поверхности и международного показателя ровности IRI. Общие требования и порядок проведения. Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет).- М.: 2006, 28 с.

9. Коневцов М.Д. Влияние микронеровностей поля и твердости почвы на неустановившийся характер движения тракторного навесного агрегата. Автореф. дис. ... канд.техн. наук. - Зерноград. 1978., 33 с.

10. Павлюк А.С. О возможности замены группы колес одним эквивалентным при анализе динамики машинно-тракторного агрегата /А.С. Павлюк, С.Н. Бизяев. // Агрегатирование и приводы сельскохозяйственных машин. Сб. научных трудов. – М.: ВИСХОМ, 1985, с. 52-60.

Павлюк А.С., д.т.н., профессор,
тел. 29-07-91 e-mail: pavlukas@mail.ru

Сафронов С. В., аспирант,
тел. 29-08-90

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»