

УДК 631.37

UDC 631.37

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ
УНИВЕРСАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО
СРЕДСТВА ПО ПОЛЮ**

**MATHEMATICAL MODEL OF MOTION OF
AN UNIVERSAL VEHICLE ACROSS THE
FIELD**

Юхин Иван Александрович
к.т.н.

Yukhin Ivan Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., профессор
*Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Uspensky Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor
*Ryazan State Agrotechnological University named
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

В статье разработана математическая модель движения универсального транспортного средства по полям, имеющим продольные и поперечные уклоны поверхности

The article developed a mathematical model of movement of the universal vehicle through the fields, having longitudinal and transverse slope of the surface

Ключевые слова: СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, УНИВЕРСАЛЬНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВА, ТРАНСПОРТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АПК, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Keywords: AGRICULTURE, VERSATILE VEHICLE, TRANSPORT SERVICES FOR AGROINDUSTRIAL COMPLEX, INCREASING OF OPERATING EFFICIENCY OF ROAD TRANSPORT

Универсальность – это свойство конструкции машины, характеризующее возможность выполнять этой машиной определенную совокупность функционально разнородных производственных операций.

Если унификация технических средств призвана сократить номенклатуру их составных частей и при этом не обязательно изменяется номенклатура самих машин в целом, то универсализация техники дает возможность сократить номенклатуру машин, предназначенных для выполнения определенной совокупности операций производственных процессов. Универсализация машин придает ее конструкции такие свойства, которые позволяют ей выполнять одновременно или разновремено функционально разнородные операции, либо однородные операции, отличающиеся друг от друга объектами обработки.

Целесообразность создания универсальных машин и агрегатов диктуется наличием определенных условий, основными из которых являются [1]:

разновременность работ (операций) по срокам и периодам их выполнения;

выполнение работ в территориально близких регионах (районах), обеспечивающих минимальные затраты времени на переброску машин из одних регионов в другие;

простота и нетрудоемкое выполнение монтажно-демонтажных работ со сменными рабочими органами;

возможность совмещения по времени технологических и (или) нетехнологических операций (для комбинированных агрегатов);

наличие объема работ, обеспечивающего достаточно высокую загрузку универсальной машины в течение определенного периода или всего года.

Для улучшения транспортного обслуживания АПК необходимо совершенствовать технологии перевозок с применением транспортной логистики, пополнять и обновлять имеющийся транспортный парк, но в связи с низкой платежеспособностью сельскохозяйственных предприятий и высокими ценами на автотракторную технику проблема обеспечения сельского хозяйства транспортными средствами приобретает наиболее острый характер. Цены на транспортные средства постоянно растут. Приобретение специализированных транспортных средств снижает коэффициент использования пробега, увеличивает капиталовложения на подвижной состав и себестоимость перевозок и, как следствие, цены на сельскохозяйственную продукцию. Специализированный подвижной состав в отличие от универсальных транспортных средств выполняет транспортно-производственные процессы в определенных условиях с меньшими затратами трудовых ресурсов. Однако специализация приводит к усложнению конструкции, увеличению материалоемкости и стоимости транспортных средств, а также значительному сокращению номенклатуры выполняемых работ. Для решения этих проблем при организации

транспортных работ целесообразно использовать универсальные транспортные средства, которые позволят минимизировать затраты на уборочно-транспортные работы, повысить производительность перевозок и сохранить качество плодоовощной продукции при доставке её к потребителям и местам хранения [1, 2].

Транспортной агрегат представляет собой сложную механическую систему, состоящую из большого числа элементов, соединенных различного рода связями. В процессе движения происходят перемещения его отдельных элементов друг относительно друга, влияющие в той или иной мере на общие параметры движения, в том числе на управляемость и устойчивость транспортного агрегата. Исследование параметров движения транспортного агрегата с учетом всех связей между его отдельными элементами представляет собой сложную задачу. Поэтому при исследовании любых эксплуатационных свойств транспортного агрегата, в том числе его управляемости и устойчивости, он заменяется расчетной моделью, в большей или меньшей степени отражающей реальный объект. Сложность расчетной модели и степень ее приближения к реальному транспортному средству диктуется рядом соображений [3].

При выборе расчетной модели, прежде всего, следует учитывать задачи исследования. Например, в тех случаях, когда нужно установить в основном качественные характеристики транспортного средства в целом, расчетная модель может быть весьма простой и в ней могут не приниматься во внимание характеристики связей отдельных элементов с кузовом или рамой (например, характеристики подвески передних и задних колес, механизмов, распределяющих крутящий момент между колесами и др.). При этом если требуется получить более или менее точные количественные результаты, то часть этих характеристик, существенно влияющих на параметры движения, необходимо учитывать. Причем для разных условий движения и транспортных средств,

выполненных по различным схемам, следует учитывать различные связи и с неодинаковой степенью упрощения их характеристик [4].

Для того чтобы при транспортировании плодоовощной продукции в кузове не происходило её повреждения выше требуемого по агротехнике уровня необходимо выполнение условия [4]:

$$V_{доп} \geq V_{зн}, \quad (1)$$

где $V_{доп}$ — допустимая скорость при ударе продукции о пол кузова, м/с;

$V_{зн}$ — скорость колебаний грузовой платформы транспортного агрегата, м/с.

Для определения $V_{доп}$ воспользуемся следующим выражением:

$$E_{кин} = \frac{m_k \cdot V_{доп}^2}{2}, \quad (2)$$

где m_k — средняя масса перевозимой продукции, кг;

$E_{кин}$ — максимальная кинетическая энергия, при которой повреждения не превышают требуемой величины, Дж.

Так, например, согласно [5] кинетическая энергия соударения яблок друг с другом для сорта Антоновка обыкновенная $E_{кин} = 0,092$ Дж, для сорта Пепин шафранный $E_{кин} = 0,102$ Дж, а при соударении их со стальной пластиной соответственно $E_{кин} = 0,076$ Дж и $E_{кин} = 0,086$ Дж. Согласно [6, 7, 8], принимаем работу деформации клубня картофеля, при которой уровень повреждений в ворохе не превышает 4%, равной $W_g = 0,17$ Дж — при падении на деревянную поверхность и $W_g = 0,095$ Дж — на металлическую поверхность. Тогда согласно закону сохранения энергии запишем:

$$W_g = E_{кин} \quad (3)$$

Выразив $V_{\text{доп}}$ из выражения (2), с учетом (3), получим следующее выражение для определения допустимой скорости:

$$V_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{E_{\text{кин}} \cdot 2}{m_k}} = \sqrt{\frac{W_g \cdot 2}{m_k}} \quad (4)$$

Например, для плодов сорта Антоновка обыкновенная массой $m_k=0,108$ кг и сорта Пепин шафранный массой $m_k=0,064$ кг, получим $V_{\text{доп}}=1,305$ м/с и $1,79$ м/с соответственно – на деревянную поверхность, $V_{\text{доп}}=1,19$ м/с и $1,64$ м/с – на металлическую; для клубней картофеля массой $m_k = 0,06$ кг, получим $V_{\text{доп}}=2,38$ м/с — на деревянную поверхность, $V_{\text{доп}}=1,78$ м/с — на металлическую. Таким образом, с учетом (1) условием неповреждения перевозимой продукции является условие: для сорта Антоновка обыкновенная $V_{\text{зн}} \leq 1,305$ м/с (для деревянных кузовов) и $V_{\text{зн}} \leq 1,19$ м/с (для металлических кузовов); для сорта Пепин шафранный $V_{\text{зн}} \leq 1,79$ м/с (для деревянных кузовов) и $V_{\text{зн}} \leq 1,64$ м/с (для металлических кузовов); для картофеля $V_{\text{зн}} \leq 2,38$ м/с (для деревянных кузовов) или $V_{\text{зн}} \leq 1,78$ м/с (для металлических кузовов).

В данном случае не учитывался коэффициент восстановления, что характеризует наиболее неблагоприятный случай для сохранности картофеля, когда вся кинетическая энергия при ударе переходит в энергию деформации, тем самым, повреждая мякоть клубня.

При движении вдоль уклона транспортное средство уводит вниз по склону. Водитель начинает подруливать. В результате поворота водителем рулевого колеса с целью изменения направления движения, груз начинает «встряхиваться», т.е. появляются боковые скорости и ускорения, которые являются частью общей скорости $V_{\text{зн}}$, что оказывает влияние на повреждение груза. При движении транспортного агрегата по полю

неровности заставляют его колебаться, тем самым так же возникают предпосылки к повреждению груза [4]. Помимо этого на повреждения плодоовощной продукции влияет режим движения транспортного средства – резкое трогание или торможение также будут способствовать дополнительным повреждениям перевозимой продукции.

С учетом вышеуказанного, скорость колебаний грузовой платформы $V_{гп}$, при которых появляются повреждения перевозимой плодоовощной продукции, определяется из выражения:

$$V_{гп} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad (5)$$

где X - продольная составляющая общей скорости колебаний кузова, м/с;

Y — горизонтальная составляющая общей скорости колебаний кузова, м/с;

Z — вертикальная составляющая общей скорости колебаний кузова, м/с.

Из выражения (5) видно, что скорость колебаний грузовой платформы, вызывающая повреждение перевозимого груза, имеет три составляющие: вертикальную, горизонтальную (направленную поперёк движения транспортного агрегата) и продольную. Если при определении скорости колебаний грузовой платформы не учитывать горизонтальную составляющую, как указывалось ранее, она может составлять 70...80% от уровня вертикальной [9], то полученная из выражения (5) скорость колебаний будет в 1,22...1,28 раз меньше фактической. Следовательно, при текущей скорости движения транспортного агрегата уровень повреждений перевозимой плодоовощной продукции будет выше, чем ожидается в результате расчета. Поэтому при определении скорости колебаний грузовой платформы, при которой уровень повреждений плодоовощной продукции в кузове не превысит допустимого, нельзя не

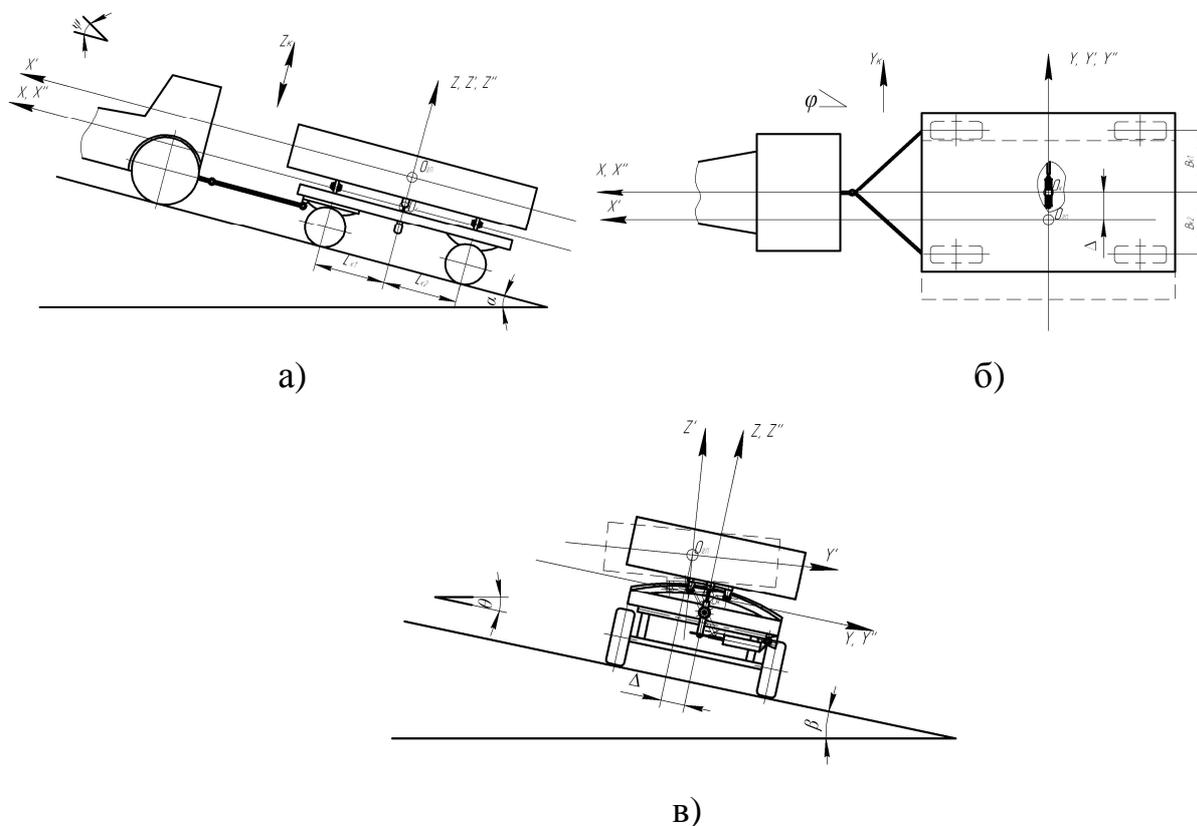
учитывать колебания транспортного агрегата в горизонтальной плоскости [4]. Продольная составляющая должна учитываться только при следующих условиях движения транспортного средства: резкое трогание или аналогичное торможение.

С целью определения допустимой скорости транспортирования продукции была составлена математическая модель движения универсального транспортного средства. Его движение описывалось системой дифференциальных уравнений, для составления которых воспользовались уравнением Лагранжа второго рода. При этом принимались следующие допущения: осто́в, рама, подвеска и оси колес универсального транспортного средства считаются абсолютно жесткими; универсальное транспортное средство движется по полю с постоянной скоростью; жесткости шин правой и левой сторон на каждой из осей универсального транспортного средства одинаковы; пренебрегаем силой сопротивления воздуха; управляемые колеса универсального транспортного средства имеют одинаковый угол поворота; коэффициенты сопротивления в подвеске и шинах правой и левой сторон каждой из осей прицепа одинаковы; считаем все массы подрессоренными.

У перемещающегося по полю универсального транспортного средства рассматривались следующие виды движения (рисунок 1): линейное перемещение транспортного агрегата в направлении перпендикулярном поверхности поля (подпрыгивание) - Z_k ; линейное перемещение транспортного агрегата вниз по склону (увод) - Y_k ; линейное перемещение транспортного агрегата в направлении параллельном поверхности поля (торможение) - X_k ; вращение транспортного агрегата вокруг оси, перпендикулярной поверхности уклона (виляние) - j ; поворот транспортного средства вокруг поперечной оси (галомирование) -

y ; поворот транспортного средства вокруг продольной оси (покачивание)

– q ;



а) в продольно-вертикальной плоскости; б) в горизонтальной плоскости; в) в поперечно-вертикальной плоскости.

O_k – центр масс транспортного агрегата; O_{zn} – центр масс грузовой платформы транспортного агрегата; a – угол продольного уклона поверхности дороги; b – угол поперечного уклона поверхности дороги; L_{k1} – расстояние от центра масс транспортного до оси передних колес; L_{k2} – расстояние от центра масс транспортного до оси задних колес; B_{k1} – расстояние от правых колес до оси OX ; B_{k2} – расстояние от левых колес до оси OX ; Δ - смещение грузовой платформы.

Рисунок 1 - Система отсчета и основные геометрические параметры универсального транспортного средства.

Движение универсального транспортного средства рассматривалось в двух системах координат. Одна система координат

$X'Y'Z'$ – подвижная с началом в центре масс грузовой платформы (рисунок 1). Эту систему координат свяжем с грузовой платформой универсального транспортного средства и дадим следующие направления её осей: $O_{zn}X'$ – по продольной оси грузовой платформы (кузова) транспортного средства; $O_{zn}Z'$ – перпендикулярно оси $O_{zn}X'$ в вертикальной плоскости симметрии, ось $O_{zn}Y'$ – перпендикулярно плоскости симметрии в поперечном направлении вверх по склону. Другая система координат XYZ с началом также в центре масс транспортного агрегата O_k , движется вместе с ним поступательно вдоль оси OX . Будем считать, что система координат XYZ движется вместе с транспортным средством равномерно со скоростью V_k . Оси OZ и OY этой системы определяют перемещения в перпендикулярных направлениях. В исходном положении, когда транспортное средство в покое, обе системы координат совпадают, что соответствует начальному положению осей. При движении, в силу внешних возмущающих факторов, жёстко связанная с кузовом транспортного агрегата, подвижная система координат $X'Y'Z'$ будет постоянно отклоняться от первоначального положения.

Для удобства исследования в центре масс рамы данного транспортного средства построим дополнительно подвижную систему координат $X''Y''Z''$ оси которой при движении транспортного средства всегда остаются параллельными соответствующим осям системы координат XYZ .

С учетом принятых допущений и обобщенных координат получена следующая система уравнений (6-12), описывающая движение универсального транспортного средства:

по обобщенной координате X_k :

$$\begin{aligned}
 m_{np} \cdot \ddot{X}_k &= m_m \frac{I}{(1+I)} j_{cy} g + P_{sp} - G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{knn} - \\
 &- G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{kni} - \frac{G_{np} \cdot (h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a)}{L} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{kni} - \\
 &- G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{kni}
 \end{aligned} \tag{6}$$

ИЛИ

$$\begin{aligned}
 m_{np} \cdot \ddot{X}_k &= m_m \left(j_0 \frac{1}{1+I} + \frac{I}{1+I} \right) j_{cy} g + P_{sp} - G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{knn} - \\
 &- G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{kni} - \frac{G_{np} \cdot (h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a)}{L} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{kni} - \\
 &- G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{kni}
 \end{aligned} \tag{7}$$

по обобщенной координате Y_k :

$$\begin{aligned}
 m_{np} \cdot \ddot{Y}_k + C_{\mathcal{D}} \cdot (2Y_k - 2 \cdot q \cdot \Delta - Y_{k1} - Y_{k2}) + k_{k1} \cdot Y_k + k_{k1} \sum_{i=1}^n j_{ki} H_{i1} - \\
 - k_{k1} \sum_{i=1}^n q_{ki} \Delta - k_{k1} \sum_{i=1}^n Y_{ki1} + k_{k2} \cdot Y_k - k_{k2} \sum_{i=1}^n j_{ki} H_{i2} - k_{k2} \sum_{i=1}^n q_{ki} \Delta - k_{k2} \sum_{i=1}^n Y_{ki2} = \\
 = G_{np} \cdot \sin a - p_{\text{шппп}} \cdot \arctg \left(\frac{Y_k}{V_a \cdot t} \right) - p_{\text{шппл}} \cdot \arctg \left(\frac{Y_k}{V_a \cdot t} \right) - \\
 - p_{\text{шзп}} \cdot \arctg \left(\frac{Y_k}{V_a \cdot t} \right) - p_{\text{шзл}} \cdot \arctg \left(\frac{Y_k}{V_a \cdot t} \right)
 \end{aligned} \tag{8}$$

по обобщенной координате Z_k :

$$\begin{aligned}
 m_{np} \cdot \ddot{Z}_k + G_{np} \cdot \cos a \cdot \cos b + 2 \cdot (C_{\mathcal{D}k} + C_{\mathcal{D}3k}) \cdot Z_k + 2 \cdot (C_{\mathcal{D}k} + C_{\mathcal{D}3k}) \cdot (L_{k2} - L_{k1}) \cdot Y - \\
 - (C_{\mathcal{D}k} + C_{\mathcal{D}3k}) \cdot (B_{k2} + B_{k1}) \cdot q - \left[C_{\mathcal{D}k} \cdot (Z_{k1}' + S_{k1} + Z_{k2}' + S_{k2}) + C_{\mathcal{D}3k} \cdot (Z_{k3}' + S_{k3} + Z_{k4}' + S_{k4}) \right] + \\
 + 2 \cdot (k_{k\mathcal{D}k} + k_{k\mathcal{D}3}) \cdot Z_k + (k_{k\mathcal{D}k} + k_{k\mathcal{D}3}) \cdot (L_{k2} - L_{k1}) \cdot Y - 2 \cdot (k_{k\mathcal{D}k} + k_{k\mathcal{D}3}) \cdot \Delta \cdot q - \\
 \left[k_{k\mathcal{D}k} \cdot (Z_{k1}' + Z_{k2}') + k_{k\mathcal{D}3} \cdot (Z_{k3}' + Z_{k4}') \right] = -G_{np} \cdot \left[\left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) + \right. \\
 \left. + \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) + \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) + \right. \\
 \left. + \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \right]
 \end{aligned} \tag{9}$$

по обобщенной координате q

$$\begin{aligned}
 & I_{kX'} \cdot \varphi^4 + (C_{\text{ЭПК}} + C_{\text{ЭЗК}}) \cdot (B_{k2}^2 - 2\Delta \cdot (B_{k2} + B_{k1}) - B_{k1}^2) \cdot q - (C_{\text{ЭПК}} + C_{\text{ЭЗК}}) \cdot (B_{k2} + B_{k1}) \cdot Z_k + \\
 & + (C_{\text{ЭПК}} + C_{\text{ЭЗК}}) \cdot (B_{k1} - B_{k2} + 2\Delta) \cdot (L_{k1} - L_{k2}) \cdot y + \left[C_{\text{ЭПК}} \cdot \left((Z_{k1}' + S_{k1}) \cdot (B_{k1} + \Delta) - (Z_{k2}' + S_{k2}) \cdot (B_{k2} - \Delta) \right) + \right. \\
 & + C_{\text{ЭЗК}} \cdot \left((Z_{k3}' + S_{k3}) \cdot (B_{k1} + \Delta) - (Z_{k4}' + S_{k4}) \cdot (B_{k2} - \Delta) \right) \left. \right] + C_{\text{Э}} \cdot (2\Delta Y_k + 2q \cdot \Delta^2 + \Delta \cdot (Y'_{k1} + Y'_{k2})) - \\
 & - 2 \cdot (k_{k\text{ЭП}} + k_{k\text{ЭЗ}}) \cdot \Delta \cdot \mathcal{Z}_{k2} + 2\mathcal{Z}_{k2}^2 \left[k_{k\text{ЭП}} \cdot (B_{k1}^2 + \Delta^2) + k_{k\text{ЭЗ}} \cdot (B_{k2}^2 + \Delta^2) \right] + 2 \cdot \Delta \cdot (k_{k\text{ЭП}} \cdot L_{k1} - k_{k\text{ЭЗ}} \cdot L_{k2}) \cdot \mathcal{Y}_{k2} + \\
 & + \left[k_{k\text{ЭП}} \cdot \left((B_{k1} + \Delta) \cdot \mathcal{Z}_{k1} - (B_{k1} - \Delta) \cdot \mathcal{Z}_{k2} \right) + k_{k\text{ЭЗ}} \cdot \left((B_{k2} + \Delta) \cdot \mathcal{Z}_{k3} - (B_{k2} - \Delta) \cdot \mathcal{Z}_{k4} \right) \right] - \\
 & - k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \cdot \mathcal{Y}_{ki} - k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \cdot \mathcal{Y}_{ki} H_{i1} + k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_{ki}^2 \Delta^2 + k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \cdot \mathcal{Y}_{ki1} - k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \cdot \mathcal{Y}_{ki} + \\
 & + k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \cdot \mathcal{Y}_{ki} H_{i2} + k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_{ki}^2 \Delta^2 + k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \cdot \mathcal{Y}_{ki2} = \\
 & = G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot (B_{k2} - \Delta) + G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot \\
 & \cdot (B_{k2} - \Delta) - G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot (B_{k1} + \Delta) - G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \\
 & \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot (B_{k1} + \Delta) - p_{\text{ШПП}} \cdot j \cdot h - p_{\text{ШПЛ}} \cdot j \cdot h - p_{\text{ШЗП}} \cdot j \cdot h - p_{\text{ШЗЛ}} \cdot j \cdot h
 \end{aligned} \tag{10}$$

по обобщенной координате y

$$\begin{aligned}
 & I_{kY'} \cdot \mathcal{Y}_{k2} \cdot \cos^2 b + 2 \cdot (C_{\text{ЭПК}} \cdot L_{k1}^2 + C_{\text{ЭЗК}} \cdot L_{k2}^2) \cdot y + 2 \cdot (C_{\text{ЭПК}} + C_{\text{ЭЗК}}) \cdot (L_{k2} - L_{k1}) \cdot Z_k + \\
 & + (C_{\text{ЭПК}} + C_{\text{ЭЗК}}) \cdot (B_{k1} - B_{k2} + 2\Delta) \cdot (L_{k1} - L_{k2}) \cdot q + \\
 & + \left[C_{\text{ЭПК}} \cdot L_{k1} \cdot (Z_{k1}' + S_{k1} + Z_{k2}' + S_{k2}) - C_{\text{ЭЗК}} \cdot L_{k2} \cdot (Z_{k3}' + S_{k3} + Z_{k4}' + S_{k4}) \right] + \\
 & + 2 \cdot (k_{k\text{ЭП}} \cdot L_{k1}^2 + k_{k\text{ЭЗ}} \cdot L_{k2}^2) \cdot \mathcal{Y}_{k2} + (k_{k\text{ЭП}} + k_{k\text{ЭЗ}}) \cdot (L_{k2} - L_{k1}) \cdot \mathcal{Z}_{k2} + \\
 & + 2 \cdot \Delta \cdot (k_{k\text{ЭП}} \cdot L_{k1} - k_{k\text{ЭЗ}} \cdot L_{k2}) \cdot \mathcal{Z}_{k2} + \left[k_{k\text{ЭП}} \cdot L_{k1} \cdot (\mathcal{Z}_{k1} + \mathcal{Z}_{k2}) - k_{k\text{ЭЗ}} \cdot L_{k2} \cdot (\mathcal{Z}_{k3} + \mathcal{Z}_{k4}) \right] = \\
 & = G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot (L_1 + f_{\text{КПП}} \cdot h) + \\
 & + G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot (L_1 + f_{\text{КПЛ}} \cdot h) - \\
 & - G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot (L_2 - f_{\text{КЗП}} \cdot h) - \\
 & - G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot (L_2 - f_{\text{КЗЛ}} \cdot h)
 \end{aligned} \tag{11}$$

по обобщенной координате j

$$\begin{aligned}
 & I_{kZ'} \cdot \mathcal{Z}_{k2} \cdot \cos^2 b + C_{\text{Э}} \cdot (2 \cdot H_2^2 \cdot j - H_2 \cdot (Y_{k1}' - Y_{k2}')) - \\
 & - k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n H_{i1} \cdot \mathcal{Y}_{ki} - k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_{ki} \cdot H_{i1}^2 - k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Y}_{ki1} \cdot H_{i1} - k_{k1} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_{ki}^2 \Delta \cdot H_{i1} - \\
 & - k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n H_{i2} \cdot \mathcal{Y}_{ki} + k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_{ki} \cdot H_{i2}^2 + k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Y}_{ki2} \cdot H_{i2} + k_{k2} \cdot \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_{ki}^2 \Delta \cdot H_{i2} = \\
 & = p_{\text{ШПП}} \cdot j \cdot L_1 + p_{\text{ШПЛ}} \cdot j \cdot L_1 - p_{\text{ШЗП}} \cdot j \cdot L_2 - p_{\text{ШЗЛ}} \cdot j \cdot L_2 + P_{kp} - \\
 & - G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{\text{КПП}} \cdot (B_{k2} - \Delta) + \\
 & + G_{np} \cdot \left(\frac{L_2 \cdot \cos a - h \cdot \sin a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{\text{КПЛ}} \cdot (B_{k1} + \Delta) - \\
 & - G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{h \cdot \sin b + (B_{k2} - \Delta) \cdot \cos b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{\text{КЗП}} \cdot (B_{k2} - \Delta) + \\
 & + G_{np} \cdot \left(\frac{h \cdot \sin a + L_1 \cdot \cos a}{L} \right) \cdot \left(\frac{(B_{k1} + \Delta) \cdot \cos b - h \cdot \sin b}{B_{k1} + B_{k2}} \right) \cdot f_{\text{КЗЛ}} \cdot (B_{k1} + \Delta)
 \end{aligned} \tag{12}$$

где m_{np} — полная масса прицепа с грузом, кг; $C_{ЭПк}$ и $C_{ЭЗк}$ — эквивалентная жесткость системы «подвеска-шина» транспортного средства, Н/м; G_{np} — сила тяжести тракторного прицепа, Н; a — угол продольного уклона поверхности поля, рад; b — угол поперечного уклона поверхности поля, рад; L_{k1} и L_{k2} — расстояние от центра масс прицепа до передней и задней осей соответственно, м; B_{k1} и B_{k2} — расстояние от центра масс до оси правых и левых колес соответственно, м; S_{ki} — деформация системы подвеска-шина от статического нагружения, м; V_k — скорость поступательного движения транспортного средства, м/с; $I_k X'$ — момент инерции транспортного агрегата относительно оси X' , кг·м²; $I_k Y'$ — момент инерции транспортного агрегата относительно оси Y' , кг·м²; $I_k Z'$ — момент инерции транспортного агрегата относительно оси Z' , кг·м²; Z'_{ki} — изменение координаты центра масс при движении по неровностям, м; $C_э$ — эквивалентная жесткость группы комбинированных упругих элементов, Н/м; Y'_{ki} — изменение координаты центра масс при движении по неровностям, м; L — колесная база тракторного прицепа, м; f_k — коэффициент сопротивления качению при движении транспортного средства; $k_{кЭП}$ и $k_{кЭЗ}$ — коэффициент сопротивления системы «подвеска-шина» передних и задних колес соответственно, (Н·с)/м; h — расстояние от центра масс до поверхности дороги, м; k_{ki} — коэффициент сопротивления i -го упругого элемента устройства стабилизации положения кузова, (Н·с)/м; H_i — расстояние от i -го упругого элемента до оси OX , м; $p_{и}$ — коэффициент сопротивления боковому уводу, Н/рад.; Δ — смещение грузовой платформы, м; $P_{кр}$ — крюковая нагрузка на трактор, Н; $j_{сц}$ — коэффициент сцепления колес с поверхностью; g — ускорение свободного

падения, м/с²; j_o – замедление тягача без прицепа, м/с²; I - относительный вес прицепа; m_m – масса прицепа с грузом, кг; t – время движения, с.

Эквивалентный коэффициент сопротивления системы «подвеска-шина» определялся из выражения (13):

$$k_{кШ} \cdot \left(\frac{c_{кП}}{c_{кП} + c_{кШ}} \right)^2 + k_{кП} \cdot \left(\frac{c_{кШ}}{c_{кП} + c_{кШ}} \right)^2 = k_{кЭКВ} \quad (13)$$

где $c_{кП}$ – действительная жесткость подвески прицепа, н/м; $c_{кШ}$ – действительная жесткость шины прицепа, н/м; $k_{кШ}$ – действительный коэффициент сопротивления шины, (Н·с)/м; $k_{кП}$ – действительный коэффициент сопротивления подвески, (Н·с)/м.

Движение универсального транспортного средства по полю описано системой из шести нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. Как видно, система (6-12) имеет сложную структуру. Поэтому для её решения использовалась программа MathCAD 11. Решение системы производилось по методу Рунге-Кутты 4-го порядка с фиксированным шагом. Система (6-12) решалась дважды: первый раз с нулевыми, начальными условиями ($\dot{X}_k = 0; \dot{Y}_k = 0; \dot{Z}_k = 0; \dot{y} = \dot{q} = \dot{j} = 0; X_k = 0; Y_k = 0; Z_k = 0; y = 0; q = 0; j = 0$). И второй раз с отличным от нуля начальными условиями [10] ($\dot{X}_k = \dot{Y}_k = \dot{Z}_k = 0,01$ м/с; $\dot{y} = \dot{q} = \dot{j} = 0,017$ рад/с; $X_k = Y_k = Z_k = 0,005$ м; $y = j = q = 0,0087$ рад) при следующих постоянных величинах: жесткость передней и задней подвески транспортного средства $C_{П} = 203$ кН/м; жесткость шин $C_{Ш} = 960$ кН/м; коэффициент сопротивления подвески транспортного средства $k_{кП} = 51$ (Н·с)/м; коэффициент сопротивления шины транспортного средства $k_{кШ} = 1,9$ (Н·с)/м; ширина колеи прицепа $B_k = 1,81$ м; колесная база прицепа $L_k = 2,715$ м. Эти величины взяты из паспортных

данных на прицеп 2ПТС-4, протокола №13-41-98 (2030011) периодических испытаний прицепа тракторного самосвального 2-ПТС-4 модели 887, результатов исследований ученых [11, 12]. Остальные параметры при проведении экспериментальных исследований менялись в той либо иной степени.

По результатам решения системы (6-12) при условии действия возмущающих факторов было установлено, что условие устойчивости по Ляпунову соблюдается. Следовательно, вероятность возникновения резонанса по каждой из обобщенных координат при движении транспортного средства не более 5-7%.

Скорость колебаний участков грузовой платформы, в которых повреждения будут максимальные, определяется из выражения:

$$V_{III} = \sqrt{\left(\dot{X}_k - j\dot{Y}' + y\dot{Z}'\right)^2 + \left(\dot{Y}_k + j\dot{X}' - q\dot{Z}'\right)^2 + \left(\dot{Z}_k - y\dot{X}' + q\dot{Y}'\right)^2} \quad (14)$$

где \dot{X}_k , \dot{Y}_k , \dot{Z}_k , \dot{X}' , \dot{Y}' , \dot{Z}' и \dot{u} - скорости движения по обобщенным координатам X_k , Y_k , Z_k и u соответственно.

Расчет согласно выражению (14) показал: доля горизонтальной и продольной составляющей амплитуды скорости наиболее удаленных от центра масс точек грузовой платформы при угле уклона поверхности более 6° достигает 85% от скорости вертикальных колебаний. Скорость движения транспортного агрегата, при которой уровень повреждений продукции не превышает 4% для картофеля и 5% для яблок, составляет: для серийного варианта 19,9 км/ч при транспортировке яблок и 20,1 км/ч при перевозке картофеля, модернизированного — 23,9 км/ч и 24,6 км/ч соответственно при загрузке 80% от номинальной. При обшивке металлических или деревянных внутренних поверхностей кузова мягким материалом скорость транспортировке яблок и картофеля модернизированным транспортным средством может быть увеличена до 25,6 км/ч и 26,3 км/ч соответственно, что позволяет повысить

производительность и подтверждает ранее сказанное о перспективности внедрения предлагаемых устройств [13, 14, 15].

Список литературы

1. Бышов Н.В. Универсальное транспортное средство для перевозки продукции растениеводства [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.А. Юхин // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина (Москва, ВИМ, 17-18 сентября 2013 г.). Ч. 2. – М.: ВИМ, 2013. – С. 241-244.
2. Юхин И.А. Предпосылки к разработке универсальных транспортных средств для внутрихозяйственных перевозок плодоовощной продукции [Текст] / И.А. Юхин, И.А. Успенский, К.А. Жуков // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы международной научно-практической конференции ППС, научных сотрудников и аспирантов СПбГАУ, Ч.1, Санкт-Петербург – Пушкин, 24 – 26 января 2013г. – Спб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 397-399.
3. Успенский, И. А. Исследование движения тракторно-транспортного агрегата [Текст] / И. А. Успенский [и др.] // Сельский механизатор. – 2013. - №5. – С. 36-37.
4. Юхин, И.А. Агрегат для внутрихозяйственных перевозок плодоовощной продукции с устройством стабилизации положения кузова: дис ... канд. техн. наук. 05.20.01 / И.А. Юхин – Рязань: 2011. – 148 с.
5. Четвертаков А.В. Теоретическое и экспериментальное исследование упаковки яблок с уплотнением вибрацией: Автореф. дисс... канд. техн. наук – Саратов, 1968 – 29 с.
6. Заводнов, А.В. Обеспечение сохранности клубней картофеля при ударном взаимодействии с рабочими органами сельскохозяйственных машин [Текст] / А.В. Заводнов, В.С. Заводнов // Технологическое и техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Научные труды ВИМ, Т. 141, Ч. 1 – М. : ВИМ, 2002. – С. 212-214.
7. Махароблидзе, Р.М. Исследование деформации и разрушения корнеплодов ударной нагрузкой. / Р.М. Махароблидзе // Вопросы сельскохозяйственной механики. Т.ХV – Минск: Урожай, 1965. – С. 4-44.
8. Чекмарев, В.Н. Повышение эффективности эксплуатации транспортных средств в сельском хозяйстве (на примере перевозки картофеля): дисс ... канд. техн. наук. 05.20.01, 05.20.03 / В.Н. Чекмарев – Саранск: 2004. – 144 с.
9. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р.В. Ротенберг – М.: Машиностроение, 1972, с. 329.
10. Гячев Л.В. Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов. / Л.В. Гячев – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета 1976. 185 с.
11. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допустимых режимов работы машинно-тракторных агрегатов / Л.Е. Агеев – М.: Колос, 1978. – 294с.
12. Гамаюнов П.П. Возможность повышения эксплуатационных показателей транспортных агрегатов посредством применения стабилизирующего устройства / П.П. Гамаюнов, Д.В. Сивицкий // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: Материалы Межгосударственного научно-технического семинара. Вып. №16 – ФГОУ ВПО СГАУ – Саратов – 2004 – С.6-7.

13. Пат 96547 РФ, МПК51 В 62 D 1/00. Прицепное транспортное средство для перевозки сельскохозяйственных грузов [Текст] / Безруков Д.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Пименов А.Б., Юхин И.А., Николотов И.Н. (RU); заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева - № 2010100253/22; заявл. 11.01.2010; опубл. 10.08.2010, бюл. № 22. – 2 с. : ил.

14. Пат 47312 РФ, МПК51 В 62 D 33/10. Подвеска кузова транспортного средства [Текст] / Аникин Н.В., Чекмарев В.Н., Борычев С.Н., Успенский И.А., Бышов Н.В., Рябчиков Д.С. (RU); заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. П.А.Костычева - № 2005100671/22; заявл. 11.01.2005; опубл. 27.08.2005, бюл. № 24. – 2 с. : ил.

15. Пат 81152 РФ, МПК51 В 62 D 37/00 Устройство для стабилизации положения транспортного средства [Текст] / Минякин С. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Аникин Н. В., Гречихин С. Ю., Рембалович Г. К. (RU); заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации агрохимического и материально-технического обеспечения сельского хозяйства. - № 2008139805; заявл. 07.10.2008; опубл. 10.03.2009, бюл. № 7. – 2 с. : ил.

References

1. Byshov N.V. Universal'noe transportnoe sredstvo dlja perevozki produkcii rastenievodstva [Tekst] / N.V. Byshov, S.N. Borychev, I.A. Uspenskij, I.A. Juhin // Sistema tehnologij i mashin dlja innovacionnogo razvitija APK Rossii: Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvjashhennoj 145-letiju so dnja rozhdenija osnovopolozhnika zemledel'cheskoj mehaniki V.P. Gorjachkina (Moskva, VIM, 17-18 sentjabrja 2013 g.). Ch. 2. – M.: VIM, 2013. – S. 241-244.

2. Juhin I.A. Predposylki k razrabotke universal'nyh transportnyh sredstv dlja vnutrihozajajstvennyh perevozok plodoovoshhnoj produkcii [Tekst] / I.A. Juhin, I.A. Uspenskij, K.A. Zhukov // Nauchnoe obespechenie razvitija APK v uslovijah reformirovanija: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii PPS, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov SPbGAU, Ch.1, Sankt-Peterburg – Pushkin, 24 – 26 janvarja 2013g. – Spb. : Izd-vo Politehn. un-ta, 2013. – S. 397-399.

3. Uspenskij, I. A. Issledovanie dvizhenija traktorno-transportnogo agregata [Tekst] / I. A. Uspenskij [i dr.] // Sel'skij mehanizator. – 2013. - №5. – S. 36-37.

4. Juhin, I.A. Agregat dlja vnutrihozajajstvennyh perevozok plodoovoshhnoj produkcii s ustrojstvom stabilizacii polozhenija kuzova: dis ... kand. tehn. nauk. 05.20.01 / I.A. Juhin – Rjazan': 2011. – 148 s.

5. Chetvertakov A.V. Teoreticheskoe i jeksperimental'noe issledovanie upakovki jablok s uplotnieniem vibracij: Avtoref. diss... kand. tehn. nauk – Saratov, 1968 – 29 s.

6. Zavodnov, A.V. Obespechenie sohrannosti klubnej kartofelja pri udarnom vzaimodejstvii s rabochimi organami sel'skohozajajstvennyh mashin [Tekst] / A.V. Zavodnov, V.S. Zavodnov // Tehnologicheskoe i tehničeskoe obespechenie proizvodstva produkcii rastenievodstva. Nauchnye trudy VIM, T. 141, Ch. 1 – M. : VIM, 2002. – S. 212-214.

7. Maharoblidze, P.M. Issledovanie deformacii i razrushenija korneplodov udarnoj nagruzkoj. / P.M. Maharoblidze // Voprosy sel'skohozajajstvennoj mehaniki. T.XV – Minsk: Urozhaj, 1965. – S. 4-44.

8. Chekmarev, V.N. Povyshenie jeffektivnosti jekspluatacii transportnyh sredstv v sel'skom hozajajstve (na primere perevozki kartofelja): diss ... kand. tehn. nauk. 05.20.01, 05.20.03 / V.N. Chekmarev – Saransk: 2004. – 144 s.

9. Rotenberg R. V. Podveska avtomobilja. Kolebanija i plavnost' hoda / R.V. Rotenberg – M.: Mashinostroenie, 1972, s. 329.

10. Gjachev L.V. Dinamika mashinno-traktornyh i avtomobil'nyh agregatov. / L.V. Gjachev – Rostov-na-Donu: Izd-vo Rostovskogo universiteta 1976. 185 s.

11. Ageev L.E. Osnovy rascheta optimal'nyh i dopustimyh rezhimov raboty mashinno-traktornyh agregatov / L.E. Ageev – M.: Kolos, 1978. – 294s.

12. Gamajunov P.P. Vozmozhnost' povyshenija jekspluatacionnyh pokazatelej transportnyh agregatov posredstvom primenenija stabilizirujushhego ustrojstva / P.P. Gamajunov, D.V. Sivickij // Problemy jekonomichnosti i jekspluataciji dvigatelej vnutrennego sgoranija: Materialy Mezghosudarstvennogo nauchno-tehnicheskogo seminar. Vyp. №16 – FGOU VPO SGAU – Saratov – 2004 – S.6-7.

13. Pat 96547 RF, MPK51 B 62 D 1/00. Pricepnoe transportnoe sredstvo dlja perevozki sel'skohozjajstvennyh грузов [Tekst] / Bezrukov D.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Kokorev G.D., Pimenov A.B., Juhin I.A., Nikolotov I.N. (RU); zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet imeni P.A.Kostycheva - № 2010100253/22; zajavl. 11.01.2010; opubl. 10.08.2010, bjul. № 22. – 2 s. : il.

14. Pat 47312 RF, MPK51 B 62 D 33/10. Podveska kuzova transportnogo sredstva [Tekst] / Anikin N.V., Chekmarev V.N., Borychev S.N., Uspenskij I.A., Byshov N.V., Rjabchikov D.S. (RU); zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Rjazanskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija im. prof. P.A.Kostycheva - № 2005100671/22; zajavl. 11.01.2005; opubl. 27.08.2005, bjul. № 24. – 2 s. : il.

15. Pat 81152 RF, MPK51 B 62 D 37/00 Ustrojstvo dlja stabilizacii polozhenija transportnogo sredstva [Tekst] / Minjakin S. V., Uspenskij I. A., Juhin I. A., Anikin N. V., Grechihin S. Ju., Rembalovich G. K. (RU); zajavitel' i patentoobladatel' Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mehanizacii agrohimicheskogo i material'no-tehnicheskogo obespechenija sel'skogo hozjajstva. - № 2008139805; zajavl. 07.10.2008; opubl. 10.03.2009, bjul. № 7. – 2 s. : il.