

Выводы

1. Выполненная постановка задачи моделирования и четко определенная структура системы позволили наиболее корректно разработать алгоритм моделирования работы автоматически управляемого пневмогидропривода короснимателя.

2. В предложенном алгоритме функционирования гидропривода учитываются различные нелинейности, поэтому обеспечивается корректность физического описания и точность моделирования работы автоматически управляемого пневмогидропривода короснимателя в процессе окорки лесоматериалов.

3. По разработанному алгоритму математическая модель пневмогидропривода может быть реализована в виде имитационной модели в среде визуального моделирования Simulink приложения MatLab.

Литература

1. <http://www.valonkone.com> [Электронный ресурс].
2. <http://www.debarking.com> [Электронный ресурс].
3. *Побединский В.В., Берстенов А.В., Шуняев С.Н.* Моделирование рабочих процессов роторного окорочного станка в среде MatLab // Сб. докл. к междунар. науч.-техн. конф. УГЛТУ (Екатеринбург, 21-23 сентября 2006). – 2006. – С. 135–137.



УДК 630.37:001.891

В.Н. Холопов, В.А. Лабзин

ПРОДОЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СОЧЛЕНЁННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСА

Рассмотрено влияние на продольную устойчивость сочленённой гусеничной машины конструктивных особенностей сцепного устройства с поперечным горизонтальным шарниром при движении на горном склоне.

Ключевые слова: пищевая продукция леса, сочленённая машина, сцепное устройство, горный склон, движение, опрокидывание, устойчивость,

V.N. Kholopov, V.A. Labzin

ARTICULATED VEHICLE PITCH STABILITY FOR TRANSPORTING THE FOREST FOOD PRODUCTS

Design feature influence of the hitch mechanism with crosscut horizontal hitch on the articulated track-type vehicle pitch stability in the process of motion on a mountain slope is considered

Key words: forest food production, articulated vehicle, hitch mechanism, mountain slope, movement, breakdown, stability.

Введение. На долю Сибири приходится около половины покрытых лесом земель России. Лес является природной кладовой разнообразных дикорастущих плодов, ягод, орехов, грибов, медоносов, лекарственных и пищевых растений.

Расширение источников заготовки недревесной продукции, к которым относятся лесные ресурсы, является важнейшей народнохозяйственной задачей, для решения которой не требуется существенных капитальных вложений.

Основной проблемой для организации рационального сбора недревесного сырья в различных природно-климатических условиях ее произрастания, начиная с просторов лесотундры Крайнего Севера и за-

канчивая горными склонами юга Сибири, является отсутствие малогабаритных и приспособленных к условиям эксплуатации транспортных средств доставки технологического оборудования, обеспечивающего его работы за счет использования ДВС и бережной доставки заготовленной недревесной продукции к месту ее переработки.

Возникшая потребность в разработке универсального малогабаритного транспортного средства для заготовки и эксплуатационных требований к универсальному малогабаритному модульному транспортному средству сформировалась с использованием работ [1–3]. В опубликованных работах [4,5] представлены результаты выполненных научно-исследовательских работ по разработке структурной модели специализированной гусеничной машины для сбора, первичной переработки и транспортировки древесного сырья.

На разработанную конструкцию сочлененной модульной гусеничной машины были получены патенты РФ на изобретения [6 и др.]. Учитывая сложные требования эксплуатации сочлененных машин в горных и труднодоступных районах Сибири, остро ставится проблема обеспечения безопасности работы гусеничной машины на склоне против опрокидывания, что, как следствие, обеспечивает психологическую уверенность водителя в управлении машиной [7,8].

Цель работы. Определить влияние конструктивных параметров сцепного устройства на продольную устойчивость сочлененной гусеничной машины с поперечным шарниром.

Движение сочлененной гусеничной машины, имеющей в сцепном устройстве горизонтальный поперечный шарнир, происходит с улучшенной приспособляемостью движителей к опорной поверхности и с уменьшенными нагрузками в сцепном устройстве. Ограничение движения машины может произойти из-за нарушения устойчивости одной из тележек. При анализе будем считать, что движение машины равномерное без ускорений, катки тележек жесткие и жестко прикреплены к рамам тележек, опорная поверхность гладкая и недеформируемая, на каждой тележке с каждой стороны расположено по два катка. Эти принятые ограничения позволят выявить влияние на устойчивость только конструктивных особенностей сцепного устройства.

Расчетная схема сочлененной машины, движущейся на подъем без ускорения, показана на рисунке, на котором передняя и задняя тележки условно отсоединены друг от друга, а их воздействия друг на друга заменены соответствующими силами.

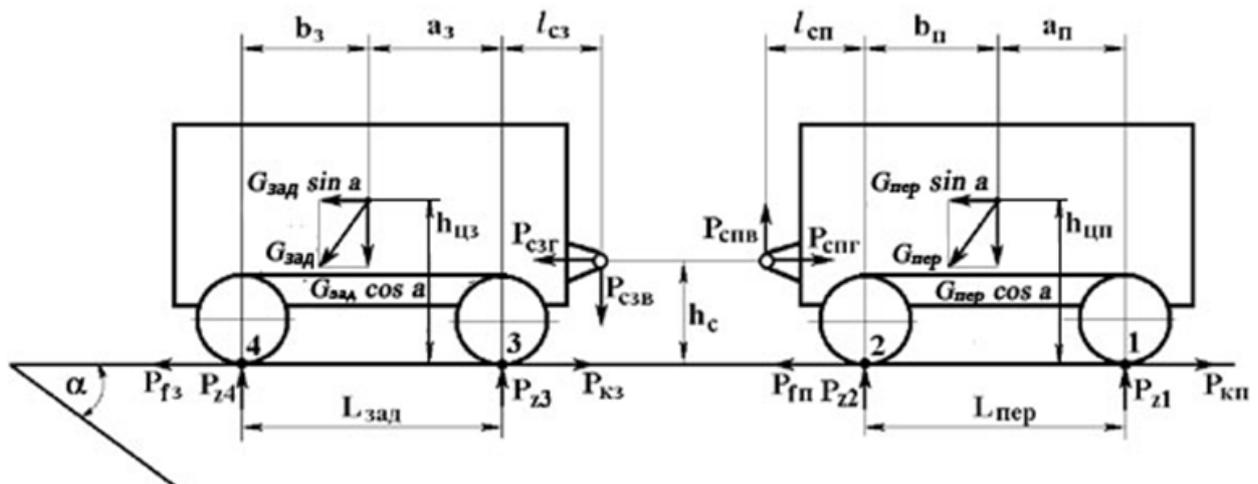


Схема сил, действующих на сочлененную гусеничную машину

Уравнение моментов относительно точки «2» для передней тележки

$$P_{z1}L_{пер} + G_{пер} \sin \alpha h_{цн} - G_{пер} \cos \alpha b_{пер} - P_{сн2} h_c - P_{снв} l_{сн} = 0, \quad (1)$$

где P_{z1} — нормальная реакция опорной поверхности на передние катки передней тележки;

$L_{пер}$ — база передней тележки;

$G_{пер}$ — вес передней тележки;

$h_{цп}$ — вертикальная координата центра тяжести передней тележки;

$b_{пер}$ — горизонтальная координата центра тяжести передней тележки;

$P_{сн2}$ — составляющая усилия в сцепном устройстве, параллельная опорной поверхности;

$P_{снв}$ — нормальная составляющая усилия в сцепном устройстве;

$h_c; l_{сн}$ — соответственно вертикальная и горизонтальная координаты поперечного горизонтального шарнира сцепного устройства;

α — угол подъёма.

Направление действия силы $P_{сн2}$, определяющей взаимодействие тележек в плоскости, параллельной опорной поверхности, зависит от того, в каком соотношении передаётся на движители машины крутящий момент двигателя.

Если

$$P_{кзад} > G_{зад} \sin \alpha + P_{fзад},$$

где $G_{зад}$ — вес задней тележки;

$P_{fзад}$ — сила сопротивления качению задней тележки;

$P_{кзад}$ — тяговая сила задней тележки,

то сила $P_{сн2}$ направлена в сторону движения машины, как это показано на рисунке.

Если же

$$P_{кзад} < G_{зад} \sin \alpha + P_{fзад},$$

то сила $P_{сн2}$ направлена против движения, а при

$$P_{кзад} = G_{зад} \sin \alpha + P_{fзад}$$

сила $P_{сн2}$ равна нулю.

Из суммы проекций на плоскость опорной поверхности действующих на машину внешних сил при движении без ускорений имеем

$$P_{кпер} + P_{кзад} = G_{пер} \sin \alpha + G_{пер} \cos \alpha f_{пер} + G_{зад} \sin \alpha + G_{зад} \cos \alpha f_{зад}, \quad (2)$$

где $P_{кпер}, P_{кзад}$ — соответственно тяговые силы передней и задней тележек;

$f_{пер}, f_{зад}$ — соответственно коэффициенты сопротивления качению передней и задней тележек.

Введём следующие обозначения:

$$\kappa_{мд} = \frac{P_{кпер}}{P_{кзад}}; \quad \kappa_f = \frac{f_{пер}}{f_{зад}}; \quad \kappa_G = \frac{G_{пер}}{G_{зад}}.$$

Тогда уравнение (2) принимает следующий вид:

$$P_{кпер} \left(1 + \frac{1}{\kappa_{мд}} \right) = G_{пер} \sin \alpha + G_{пер} \cos \alpha f_{пер} + \frac{G_{пер} \sin \alpha}{\kappa_G} + \frac{G_{пер} \cos \alpha f_{пер}}{\kappa_G \kappa_f}.$$

Преобразуем это уравнение

$$P_{кпер} = G_{пер} \sin \alpha \frac{(1 + \kappa_G) \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд}) \kappa_G} + G_{пер} \cos \alpha f_{пер} \frac{(1 + \kappa_G \kappa_f) \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд}) \kappa_G \kappa_f}. \quad (3)$$

Составляющая усилия в сцепном устройстве, параллельная опорной поверхности, определится из суммы проекций действующих сил на переднюю тележку (рис.).

$$P_{снз} = G_{пер} \sin \alpha + G_{пер} \cos \alpha f_{пер} - P_{кпер}. \quad (4)$$

Подставим в уравнение (4) значение тяговой силы передней тележки из уравнения (3) и после преобразования получим

$$P_{снз} = G_{пер} \left(\frac{\kappa_G - \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд}) \kappa_G} \sin \alpha + \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд}) \kappa_G \kappa_f} \cos \alpha f_{пер} \right). \quad (5)$$

Опрокидывание передней тележки относительно оси задних катков начнётся после того, как нормальная реакция на передних катках этой тележки станет равной нулю. В начальной фазе при $P_{z1} = 0$ будет равна нулю и вертикальная составляющая усилия в сцепном устройстве.

Из уравнения (1) при $P_{z1} = 0$ и $P_{снв} = 0$ получим

$$G_{пер} \sin \alpha h_{yn} - G_{пер} \cos \alpha b_{пер} - P_{снз} h_c = 0. \quad (6)$$

Подставим значение $P_{снз}$ из (5) в (6) и после преобразования получим

$$\left(h_{yn} - h_c \frac{\kappa_G - \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд}) \kappa_G} \right) \sin \alpha - \left(b_n + h_c f_{пер} \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд}) \kappa_G \kappa_f} \right) \cos \alpha = 0.$$

Откуда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\bar{b}_n \kappa_G (1 + \kappa_{мд}) + \bar{h}_c f_{пер} \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{мд}}{\kappa_f}}{\bar{h}_{yn} \kappa_G (1 + \kappa_{мд}) - \bar{h}_c (\kappa_G - \kappa_{мд})}. \quad (7)$$

$$\text{Здесь } \bar{b}_n = \frac{b_n}{L_{nep}}; \quad \bar{h}_{yn} = \frac{h_{yn}}{L_{nep}}; \quad \bar{h}_c = \frac{h_c}{L_{nep}}.$$

Уравнение (7) определяет угол подъёма пути, при котором положение передней тележки оказывается неустойчивым, и она при дальнейшем увеличении угла подъёма пути начнёт опираться на заднюю тележку через сцепное устройство.

Опрокидывание задней тележки относительно задних её катков начнётся после того, как нормальная реакция опорной поверхности на передних катках этой тележки станет равной нулю. В начальной фазе при $P_{z3a\partial} = 0$ остаётся равной нулю и вертикальная составляющая усилия в сцепном устройстве, то есть $P_{c3в} = 0$. Уравнение моментов внешних сил относительно точки контакта заднего опорного катка задней тележки с опорной поверхностью (точка «4») (рис.) имеет вид

$$P_{z3}L_{3a\partial} + G_{3a\partial}h_{y3} \sin \alpha - G_{3a\partial}b_3 \cos \alpha + P_{c32}h_c - P_{c3в}(L_{3a\partial} + l_{c3}) = 0. \quad (8)$$

При $P_{z3} = 0$ и $P_{c3в} = 0$ уравнение (8) принимает вид

$$G_{3a\partial}h_{y3} \sin \alpha - G_{3a\partial}b_3 \cos \alpha + P_{c32}h_c = 0. \quad (9)$$

Поскольку по модулю $P_{c32} = P_{cн2}$, подставим из уравнения (5) в уравнение (9) значение $P_{cн2}$ ($P_{cн2}$ и P_{c32} противоположны по знакам, которые изменяются в зависимости от того, растягивающие или толкающие усилия будут в сцепке).

$$G_{3a\partial}h_{y3} \sin \alpha - G_{3a\partial}b_3 \cos \alpha \pm \pm G_{nep}h_c \left(\frac{\kappa_G - \kappa_{M\partial}}{(1 + \kappa_{M\partial})\kappa_G} \sin \alpha + \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{M\partial}}{(1 + \kappa_{M\partial})\kappa_G \kappa_f} \cos \alpha f_{nep} \right) = 0. \quad (10)$$

Поскольку $G_{nep} = \kappa_G G_{3a\partial}$, из (10) получим

$$\text{tg } \alpha = \frac{\bar{b}_3 \mp \bar{h}_c f_{nep} \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{M\partial}}{(1 + \kappa_{M\partial})\kappa_f}}{\bar{h}_{y3} \pm \bar{h}_c \frac{\kappa_G - \kappa_{M\partial}}{1 + \kappa_{M\partial}}} = \frac{\bar{b}_3(1 + \kappa_{M\partial}) \mp \bar{h}_c f_{nep} \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{M\partial}}{\kappa_f}}{\bar{h}_{y3}(1 + \kappa_{M\partial}) \pm \bar{h}_c(\kappa_G - \kappa_{M\partial})}, \quad (11)$$

$$\text{где } \bar{b}_3 = \frac{b_3}{L_{nep}}; \quad \bar{h}_{y3} = \frac{h_{y3}}{L_{nep}}.$$

Уравнение (11) определяет угол подъёма пути, при котором положение задней тележки становится неустойчивым, и она при дальнейшем увеличении угла подъёма пути начнёт опираться на сцепное устройство передней тележки.

Если угол подъёма пути окажется больше, чем определённые выше по условию опрокидывания, то на поперечном шарнире сцепного устройства появляется нормальная к опорной поверхности сила. Величина её, в случае нулевой нормальной реакции на передние катки передней тележки, может быть определена из уравнения (1)

$$P_{cнв} = G_{неp} \frac{\bar{h}_{цн}}{\bar{l}_{cн}} \sin \alpha - G_{неp} \frac{\bar{b}_{неp}}{\bar{l}_{cн}} \cos \alpha - P_{cнг} \frac{\bar{h}_c}{\bar{l}_{cн}}, \quad (12)$$

где $\bar{l}_{cн} = \frac{l_{cн}}{L_{неp}}$.

Подставим значение силы $P_{cнг}$ из (5) в (12), разделим правую и левую части уравнения на $G_{неp}$ и после преобразования получим

$$\begin{aligned} \bar{P}_{cнв} = & \left(\frac{\bar{h}_{цн}}{\bar{l}_{cн}} - \frac{(\kappa_G - \kappa_{мд})\bar{h}_c}{(1 + \kappa_{мд})\bar{l}_{cн}\kappa_G} \right) \sin \alpha - \\ & - \left(\frac{\bar{b}_{неp}}{\bar{l}_{cн}} + \frac{(\kappa_G \kappa_f - \kappa_{мд})\bar{h}_c}{(1 + \kappa_{мд})\bar{l}_{cн}\kappa_G \kappa_f} f_{неp} \right) \cos \alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Сила $\bar{P}_{cнв}$ будет стремиться повернуть заднюю тележку относительно её переднего катка.

Сумма моментов действующих внешних сил на заднюю тележку относительно точки контакта переднего катка задней тележки (точка «3»)

$$P_{cзг} h_c + G_{зад} h_{цз} \sin \alpha + G_{зад} a_3 \cos \alpha - P_{z4} L_{зад} - P_{cзв} l_{cз} = 0. \quad (14)$$

Предельный угол подъёма без нарушения устойчивости задней и, следовательно, передней тележек может быть определён из уравнения (14) при условии $P_{z4} = 0$, тогда, после подставления значений сил $P_{cзв} = -P_{cнв}$ из (13) и $P_{cзг} = -P_{cнг}$ из (5), получим после преобразований

$$\begin{aligned} & \left(\bar{h}_c \frac{\kappa_G - \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд})\kappa_G} + \frac{\bar{h}_{цз}}{\kappa_G} - \bar{l}_{cз} \frac{\bar{h}_{цн}}{\bar{l}_{cн}} + \bar{l}_{cз} \frac{(\kappa_G - \kappa_{мд})\bar{h}_c}{(1 + \kappa_{мд})\bar{l}_{cн}\kappa_G} \right) \sin \alpha + \\ & + \left(\frac{\bar{a}_3}{\kappa_G} + \bar{h}_c f_{неp} \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд})\kappa_G \kappa_f} + \frac{\bar{l}_{cз} \bar{b}_{неp}}{\bar{l}_{cн}} + \frac{(\kappa_G \kappa_f - \kappa_{мд})\bar{l}_{cз} \bar{h}_c}{(1 + \kappa_{мд})\bar{l}_{cн} \kappa_G \kappa_f} f_{неp} \right) \cos \alpha = 0, \end{aligned}$$

где $\bar{a}_3 = \frac{a_3}{L_{неp}}$; $\bar{l}_{cз} = \frac{l_{cз}}{L_{неp}}$.

Умножим левую и правую стороны полученного уравнения на $\kappa_G \bar{l}_{cн}$ и преобразуем его

$$\begin{aligned} \bar{a}_3 \bar{l}_{cн} + \bar{l}_{cз} \bar{b}_{неp} \kappa_G + \bar{h}_c f_{неp} \frac{\kappa_G \kappa_f - \kappa_{мд}}{(1 + \kappa_{мд})\kappa_f} (\bar{l}_{cн} + \bar{l}_{cз}) \\ \operatorname{tg} \alpha = \frac{\quad}{\bar{l}_{cз} \bar{h}_{цн} \kappa_G - \bar{l}_{cн} \bar{h}_{цз} - \bar{h}_c \frac{\kappa_G - \kappa_{мд}}{1 + \kappa_{мд}} (\bar{l}_{cн} + \bar{l}_{cз})}. \end{aligned} \quad (15)$$

Уравнение (5) определяет угол, дальнейшее увеличение которого приведёт к складыванию сочленённой машины в вертикальной плоскости.

При нарушении устойчивости передней тележки при движении машины на подъём возможны две фазы опрокидывания: опрокидывание относительно оси заднего катка и опрокидывание относительно поперечного горизонтального шарнира сцепного устройства. В последнем случае этот шарнир может либо находиться на постоянной высоте относительно опорной поверхности, либо опуститься на опорную поверхность из-за поворота задней тележки относительно осей её передних катков.

Выводы

1. Полученные уравнения в относительных величинах позволяют оценивать устойчивость группы сочленённых машин с одинаковыми относительными конструктивными параметрами.

2. Полученные безразмерные уравнения показывают, что тележки сочленённой гусеничной машины, с поперечным горизонтальным шарниром, в сцепном устройстве на крутых склонах опираются одна на другую, обеспечивая возможность работы сочленённой машины на крутых склонах, недоступных по условиям опрокидывания двухгусеничным машинам, имеющим схожие параметры с тележками сочленённой машины.

3. Движение на подъём сочленённой машины с поперечным стержнем в сцепном устройстве будет сопровождаться дифферентом тележек, что приведёт к увеличению глубины колеи, поэтому для исключения дифферента следует проектировать конструкцию сцепного устройства с возможностью блокировки поперечного горизонтального шарнира.

Литература

1. Селиванов Н.И. Эксплуатационные свойства сельскохозяйственных тракторов. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ. – Красноярск, 2010. – С. 347.
2. Невзоров В.Н., Холопов В.Н., Лабзин В.А. К вопросу создания машины для заготовки и транспортировки недревесных лесосырьевых ресурсов // Мат-лы Всерос. очно-заочной науч.- практ. и науч. метод. конф. с междунар. участием. – Красноярск, 2010. – С.103–106.
3. Невзоров В.Н., Лабзин В.А., Холопов В.Н. Сочленённая гусеничная машина // Проблемы современной аграрной науки. – Красноярск, 2011. – С. 238–242.
4. Невзоров В.Н., Холопов В.Н., Лабзин В.А. Структурная модель машины для сбора, первичной переработки и транспортировки недревесного сырья // Проблемы современной лесной аграрной науки. – Красноярск, 2011. – С. 242–247.
5. Лабзин В.А., Холопов В.Н. Лесные сочленённые гусеничные машины. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2006. – 246.
6. Пат. 2089431 Российская Федерация, МПК С1 6В 62 В11/08, 5/06. Устройство для управления сочленённой двухтележечной гусеничной машиной / В.Н. Холопов, В.А. Лабзин; заявитель Краснояр. гос. технол. акад. – № 93036804; заявл. 19.07.1993; опубл. 10.09.1997, Бюл. № 25.
7. А. с. 1613378 СССР, МКИ³ В 62 D 55/00. Двухгусеничная машина / В. Н. Холопов, В.А. Лабзин (СССР). – № 4633737/31-14; заявл. 09.01.89; опубл. 15.12.90, Бюл. № 46.
8. А. с. 2003552 СССР, МКИ³ В 62 D 49/08. Устройство для предотвращения скольжения и опрокидывания трактора / В. Н. Холопов, В.А. Лабзин (СССР). – № 4873396/11; заявл. 12.10.90; опубл. 30.11.93, Бюл. № 43–44.

