

УДК 629.017

ДУБИНИН Е.А., к.т.н., доцент
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОПРОКИДЫВАНИЯ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Установлена зависимость угла поворота одной секции рамы шарнирно-сочлененной колесной машины относительно другой в вертикальной плоскости при наезде на препятствие от конструктивных и эксплуатационных параметров. Полученные результаты могут быть использованы для повышения безопасности эксплуатации шарнирно-сочлененных машин.

Ключевые слова: шарнирно-сочлененная машина, препятствие, динамическое возмущение, безопасность эксплуатации.

Постановка проблемы

Устойчивость положения шарнирно-сочлененного колесного трактора определяется минимальным углом уклона, на котором он теряет устойчивость при некотором угле складывания и угле поворота одной секции рамы относительно другой. Критическим углом устойчивости следует считать угол уклона, соответствующий отрыву от опорной поверхности одного из колес наименее устойчивой секции трактора, поскольку при этом ухудшается управляемость и работа на склоне становится небезопасной [1]. Поэтому исследования, направленные на установление взаимосвязей между параметрами, определяющими статическую и динамическую устойчивость шарнирно-сочлененных колесных машин, являются актуальными.

Анализ последних исследований

Вопросам повышения устойчивости положения шарнирно-сочлененных колесных машин посвящен ряд работ [1-4]. В них рассмотрено влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на продольную и поперечную устойчивость положения таких машин, определены основные направления повышения безопасности их эксплуатации на уклонах. При этом недостаточно исследованным остался вопрос определения динамических возмущений от неровностей рельефа местности при движении шарнирно-сочлененных машин и их влияния на характер взаимодействия секций, который требует дальнейшего изучения.

Цель исследования

Целью исследования является установление взаимосвязи угла поворота одной секции рамы шарнирно-сочлененной колесной машины относительно другой в вертикальной плоскости при наезде на препятствие от конструктивных и эксплуатационных параметров.

Материалы исследований

Для получения зависимости, связывающей угол поворота секции рамы в поперечной плоскости γ_{xl} вследствие воздействия динамического возмущения P_g при наезде на препятствие с конструктивными и эксплуатационными параметрами, получено уравнение движения для секции, обладающей меньшей устойчивостью против опрокидывания в поперечной плоскости, в данном случае – первой

$$I_{0_1} \cdot \frac{d^2 \gamma_{x_1}}{dt^2} = m_1 \cdot g \cdot \sin(\beta + \alpha_n + \alpha_\kappa + \gamma_{x_1}) \cdot h_{c_1} + P_\epsilon \cdot B - m_1 \cdot g \cdot \cos(\beta + \alpha_n + \alpha_\kappa + \gamma_{x_1}) \cdot \frac{B}{2}, \quad (1)$$

где I_{0_1} – момент инерции первой секции относительно оси опрокидывания;

γ_{x_1} – угол поворота секции в поперечной плоскости вследствие воздействия возмущающего фактора (наезд одного из колес секции на препятствие);

m_1 – масса первой секции;

$\beta' = \beta + \alpha_n + \alpha_\kappa$ – угол наклона центра масс секции с учетом влияния жесткостей подвески (α_n) и системы «Шины-грунт» (α_κ);

β – угол поперечного уклона поверхности;

h_{c_1} – высота центра масс секции;

P_ϵ – вертикальное динамическое возмущение вследствие наезда одного из колес секции на препятствие;

B – колея машины;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Преобразуем выражение (1) таким образом, чтобы выделить угол поворота секции γ_{x_1} . Для этого разделим обе части уравнения на I_{0_1} .

Получим

$$\frac{d^2 \gamma_{x_1}}{dt^2} = \frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c_1}}{I_{0_1}} \cdot \sin(\beta' + \gamma_{x_1}) + \frac{P_\epsilon \cdot B}{I_{0_1}} - \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{0_1}} \cdot \cos(\beta' + \gamma_{x_1}). \quad (2)$$

При малых углах поворотах секции $\cos \gamma_{x_1} = 1$, $\sin \gamma_{x_1} = \gamma_{x_1}$ имеем уравнение вида

$$\frac{d^2 \gamma_{x_1}}{dt^2} - \left(\frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c_1}}{I_{0_1}} \cdot \cos \beta' + \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{0_1}} \cdot \sin \beta' \right) \cdot \gamma_{x_1} = \frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c_1}}{I_{0_1}} \cdot \sin \beta' - \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{0_1}} \cdot \cos \beta' + \frac{P_\epsilon \cdot B}{I_{0_1}}. \quad (3)$$

В результате преобразований получено неоднородное линейное дифференциальное уравнение 2 порядка. Решение этого уравнения позволяет установить взаимосвязь между углом поворота первой секции до контакта с упорами второй, а также конструктивными и эксплуатационными факторами.

Характеристическое уравнение полученного неоднородного линейного дифференциального уравнения 2 порядка будет иметь вид

$$K^2 - \left(\frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c_1}}{I_{0_1}} \cdot \cos \beta' + \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{0_1}} \cdot \sin \beta' \right) = 0. \quad (4)$$

Откуда

$$K_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c1}}{I_{01}} \cdot \cos \beta' + \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{01}} \cdot \sin \beta'}. \quad (5)$$

Решение дифференциального уравнения (3) будет иметь вид

$$\gamma_{x_1}(t) = C_1 \cdot e^{\sqrt{\frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c1}}{I_{01}} \cdot \cos \beta' + \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{01}} \cdot \sin \beta'} \cdot t} + C_2 \cdot e^{-\sqrt{\frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c1}}{I_{01}} \cdot \cos \beta' + \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{01}} \cdot \sin \beta'} \cdot t} + \frac{\frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{01}} \cdot \cos \beta' - \frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c1}}{I_{01}} \cdot \sin \beta' - \frac{P_6 \cdot B}{I_{01}}}{\frac{m_1 \cdot g \cdot h_{c1}}{I_{01}} \cdot \cos \beta' + \frac{m_1 \cdot g \cdot B}{2 \cdot I_{01}} \cdot \sin \beta'}, \quad (6)$$

где t – время опрокидывания первой секции на упоры второй;

C_1, C_2 – константы.

Получить решение данного дифференциального уравнения в аналитической форме достаточно трудно, поэтому решение проведено численным методом при помощи ПЭВМ. Решение проведено для исходного дифференциального уравнения и линеаризованного с целью проверки адекватности примененных упрощений. Анализ результатов показал, что на этапе опрокидывания первой секции на упоры второй (время опрокидывания не более 0,5 с) графики функций исходного дифференциального уравнения и линеаризованной модели совпадают, что говорит о возможности применения упрощений.

При движении по поверхностям с различными углами поперечных уклонов необходимым условием динамической устойчивости является отсутствие отрыва менее нагруженного колеса наименее устойчивой первой секции от поверхности, то есть когда реакция на этом колесе $R_z = 0$. При динамическом воздействии, превышающем вес, приходящийся на это колесо, достижение граничного угла перемещения первой секции относительно второй (принимаям $\gamma_{гран} = 15^\circ$) до удара об ограничительные упоры возможно за определенный промежуток времени t . При этом на колесо будет оказывать влияние вертикальное динамическое возмущение P_6 вследствие наезда на препятствие, которое для движения шарнирно-сочлененного трактора тягового класса 30 кН с постоянной транспортной скоростью $V = 4,2$ м/с на различных уклонах рассчитано и приведено в виде таблицы 1. Для расчетов приняты следующие параметры первой секции трактора: $m_1 = 6580$ кг, $h_{c1} = 1,04$ м, $B = 1,86$ м, $I_{01} = 11430$ кг·м².

Таблица 1

Значения вертикальных динамических возмущений при наезде на единичное препятствие при движении на уклонах ($t = 0,12$ с, $l_{неровн} = 0,5$ м)

β , град	0	5	10	15
β' , град	0	6	12	18
R_z , кН	32,3	28,6	24,8	20,8
P_6 , кН	250	240	230	220
P_6/R_z	7,7	8,4	9,3	10,6

Реакция на менее нагруженном колесе в поперечной плоскости находится с учетом влияния деформации подвески. Приведенная жесткость системы "Шины-грунт" в случае движения по твердой поверхности не учитывается, так как дополнительный угол крена не превышает 1° [5]. Время проезда неровности ($l_{\text{неровн}}=0,5$ м) колесами первой секции трактора для диапазона скоростей его равномерного движения от 1,4 до 14 м/с составляет от 0,36 до 0,04 с соответственно при принятой колесной базе трактора $L=2,86$ м. При этом разница во времени наезда на неровность колесами первой и второй секций составляет от 1,7 до 0,17 с. То есть в реальных условиях эксплуатации вторая секция может не успевать наехать на неровность до достижения предельного угла $\gamma_{\text{гран}} = 15^\circ$. При этом первая секция может ударять об ограничительные упоры второй, снижая устойчивость машины в целом и надежность работы шарнира трактора, который является одним из нагруженных узлов [6].

При наезде на препятствие упругие деформации деталей подвески и шин снижают устойчивость трактора тем больше, чем круче склон и значительнее неровность пути. При наезде на выступ малой протяженности шины низкого давления несколько смягчают удар, уменьшая его опрокидывающее действие. При длине препятствия более 0,5 м ударная деформация исчезает, движущаяся по препятствию шина успевает распрямиться, и по мере перераспределения реакций создается дополнительный крен [2].

Исследованиями [7] установлено, что при движении по ровной поверхности наезд на препятствие и отрыв колеса от поверхности в этом случае не представляет серьезной опасности, поэтому соответствующие расчеты проведены для угла уклона поверхности в 9° [8] при наезде на препятствие с транспортной скоростью $V=4,2$ м/с (при различном времени опрокидывания первой секции на упоры второй). Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2

Значения вертикальных динамических возмущений при наезде на единичное препятствие при движении с транспортной скоростью $V=4,2$ м/с

$t, \text{ с}$	0,2	0,3	0,4	0,5
$P_g, \text{ кН}$	100	57	42,5	35,5

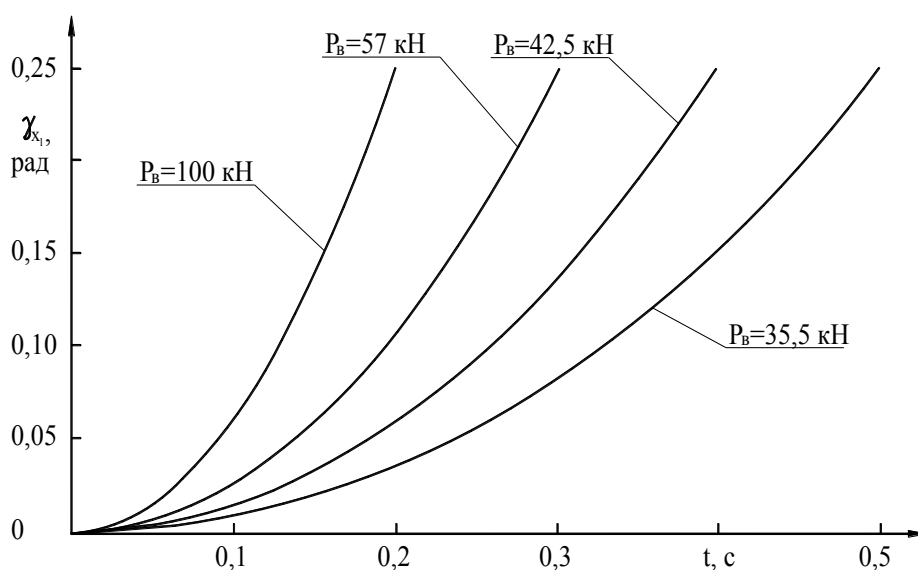


Рис.1. Результаты моделирования процесса опрокидывания первой секции шарнирно-сочлененной машины на упоры второй

Полученное граничное время опрокидывания первой секции на упоры второй при наезде на препятствие не превышает 0,6 с при транспортной скорости более 4,2 м/с, что позволяет для шарнирно-сочлененного трактора тягового класса 30 кН сделать вывод о необходимости автоматического предотвращения ударных нагрузок между секциями при движении для повышения устойчивости и надежности колесного трактора.

Выводы

Получена зависимость угла поворота одной секции рамы шарнирно-сочлененного колесного трактора относительно другой в вертикальной плоскости при наезде на препятствие от конструктивных и эксплуатационных факторов. Время опрокидывания первой секции шарнирно-сочлененного колесного трактора тягового класса 30 кН на упоры второй (при максимальном угле взаимного перемещения секций в поперечной плоскости $\gamma_{x_1 \max} = 15^\circ$) лежит в диапазоне до 0,6 с при транспортной скорости более 4,2 м/с, поэтому необходимой является автоматизация процесса предотвращения ударных нагрузок при движении шарнирно-сочлененного колесного трактора для повышения его устойчивости положения и надежности.

Список литературы

1. Корчан Н.С. Особенности исследования поперечной устойчивости колёсных машин с шарнирно-сочлененной рамой при опрокидывании / Н.С. Корчан, М.А. Подригало, А.С. Полянский, В.В. Задорожная // Теорія та практика судової експертизи і криміналістики: Зб. наук. пр. – Х.: Право, 2010. – Вип.10. – С. 449-455.
2. Коновалов В.Ф. Динамическая устойчивость тракторов / В.Ф. Коновалов – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
3. Боклаг В.М. Анализ общей устойчивости шарнирно-сочленённых колесных машин: автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук / В.М. Боклаг. – Харьков, 1964. – 21 с.
4. Кириенко Н.М. Исследование и разработка средств и методов испытаний защитных устройств (кабин) тракторов с шарнирно-сочлененной рамой: автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук / Н.М. Кириенко. – Москва, 1983. – 24 с.
5. Дубинин Е.А. Прогнозирование динамической устойчивости положения шарнирно-сочлененных средств транспорта методом парциальных ускорений / Е.А. Дубинин, А.С. Полянский // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета: Сб. науч. трудов, Вып. 40. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2013. – С.37-41.
6. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов / В.Г. Кухтов. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – 292 с.
7. Шувалов Е.А. Теория и расчет трактора „Кировец” / Е.А. Шувалов, А.В.Бойков, Б.А. Добряков, М.Г. Пантюхин. Под общей редакцией А.В. Бойкова. – Л.: Машиностроение, 1980. – 208 с.
8. Двали Р.Р. Механическая тяга в горной местности / Р.Р. Двали, В.В. Махалдиани. – М.: Наука, 1970. – 233 с.

Дубінін Є.О. Визначення параметрів процесу перекидання шарнірно-зчленованої колісної машини

Анотація. Встановлено залежність кута повороту однієї секції рами шарнірно-зчленованої колісної машини щодо іншої у вертикальній площині при наїзді на перешкоду від конструктивних і експлуатаційних параметрів. Отримані результати можуть бути використані для підвищення безпеки експлуатації шарнірно-зчленованих машин.

Ключові слова: шарнірно-зчленована машина, перешкода, динамічне збурення, безпека експлуатації.

Dubinin Ye.A. Determination of parameters of articulated wheeled vehicle tipping process

Abstract. *The dependence of the one section rotation angle of the frame articulated wheeled vehicle relative to the other in a vertical plane when approaching an obstacle on the design and operational parameters is obtained. The results can be used to enhance operational safety of articulated trucks.*

Keywords: *articulated vehicle, obstruction, dynamic perturbation, safety of operation.*

Стаття надійшла до редакції 26.02.2014 р.