

Аннотация

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УЛЬТРАЗВУКОМ

Ковжога С.О., Писарев А.В., Лазутский А.Ф., Молодцов В.А. Табуненко В.О

В данной статье рассмотрены некоторые аспекты дезактивации твердых поверхностей с использованием ультразвука и возможные перспективы применения рассмотренных методов в сельском хозяйстве.

Abstract

SOME ASPECTS OF DECONTAMINATION OF HARD SURFACES BY ULTRASOUND

S.Kovzhoga, A.Pisarev, A.Lazutskiy, V.Molodcov, V.Tabunenko

This article discusses some aspects of the decontamination of solid surfaces using ultrasound, and Prospects for application of the methods considered in agriculture.

УДК 629.017

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАШИН ПО УРАВНЕНИЮ ОПРОКИДЫВАНИЯ В ПОПЕРЕЧНОЙ ПЛОСКОСТИ

**Кириенко Н.М., к.т.н., доц., Полянский А.С., д.т.н., проф.,
Задорожня В.В., преп.**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Установлена зависимость конструктивных параметров трактора с шарнирно-сочлененной рамой и параметров динамической устойчивости при движении на поперечном уклоне, что позволяет прогнозировать безопасное выполнении работ машинно-тракторного агрегата на полях с пересеченной местностью

Введение. Сохранение устойчивости положения колесных машин является одним из самых важных направлений обеспечения безопасности движения и охраны труда при работе на тракторах [1]. На примере трактора Т-150К с шарнирно-сочлененной рамой установлено, что более половины зарегистрированных дорожно-транспортных происшествий приводят к опрокидыванию трактора или машинно-тракторного агрегата [2]. Поэтому необходимо проведение исследований опрокидывания тракторов с шарнирно-сочлененной рамой на поперечном уклоне при выполнении работ на полях с пересеченной местностью.

Анализ публикаций и исследований. Исследованию устойчивости колесных

машин при боковом опрокидывании посвящены работы [3,4,5]. В этих работах выполнен анализ причин приводящих к опрокидыванию. Исследовано взаимодействие в системе «дорога – шина – водитель – машина» при опрокидывании. Проведенные разработки касались, в основном, тракторов с классической схемой компоновки. Развитие методов математического моделирования позволит усовершенствовать изучение динамики тракторов с шарнирно-сочлененной рамой с целью обеспечения безопасности оператора при опрокидывании.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является определение влияния конструктивных параметров трактора с шарнирно-сочлененной рамой на его динамическую устойчивость при движении на поперечном уклоне.

Для достижения поставленной цели сформированы следующие задачи исследований:

1. Описать процесс поэтапной потери поперечной устойчивости шарнирно-сочлененного трактора, работающего на уклоне с помощью предложенной математической модели.

2. Получить уравнение опрокидывания, которое позволит прогнозировать безопасное использование машинно-тракторного агрегата при выполнении работ на полях с пересеченной местностью.

Моделирование параметров динамической устойчивости машин по уравнению опрокидывания в поперечной плоскости

Для машин с жесткой рамой параметрами устойчивости являются предельные углы статической устойчивости, при которых обеспечивается устойчивость, как в продольном так и поперечном направлениях [1,2]. Статическая устойчивость трактора с шарнирно-сочлененной рамой определяется минимальным углом склона β , на котором трактор теряет устойчивость при некотором угле складывания δ и угле поворота γ одной секции рамы относительно другой (рис.1).

Для получения зависимости, связывающей угол уклона β с углом поворота секции рамы в поперечной плоскости γ_{x1} , получено уравнение движения для секции, обладающей меньшей устойчивостью против опрокидывания в поперечной плоскости:

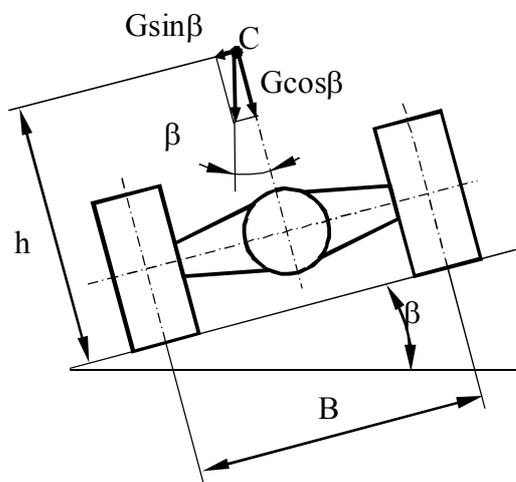


Рис. 1 Силы, действующие на трактор, на уклоне.

$$I_{x_1} \frac{dw_{x_1}}{dt} = m_1 \cdot g \cdot \sin(\beta_i + \gamma_{x_1}) h_1 - m_1 \cdot g \cdot \sin(\beta_i + \gamma_{x_1}) \cdot \frac{B}{2}, \quad (1)$$

где: I_{x_1} - момент инерции секции относительно продольной оси, проходящей через центр масс; w_{x_1} - угловая скорость секции в поперечной плоскости; m_1 - масса секции; g - ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; β_i - угол поперечного уклона пути; γ_{x_1} - угол поворота секции в поперечной плоскости; h_1 - высота центра масс секции; B - колея оси.

Преобразуем выражение (1) таким образом, чтобы выделить угол поворота секции γ_{x_1} , получим:

$$\frac{d^2\gamma_{x_1}}{dt^2} = g \frac{h_1}{i_{x_1}^2} \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \sin(\alpha - \beta - \gamma_{x_1}), \quad (2)$$

где:
$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\frac{gB}{2i_x^2}}{g \frac{h_1}{i_{x_1}^2} \cdot \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}}}\right) = \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4h_1^2}{B^2}}} = \arcsin \cdot \frac{2h}{B}, \quad (3)$$

$$\frac{d^2\gamma_{x_1}}{dt^2} = g \cdot \frac{h_1}{i_{x_1}^2} \cdot \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} [\cos\gamma_{x_1} \cdot \sin(\alpha - \beta) - \sin\gamma_{x_1} \cdot \cos(\alpha - \beta)], \quad (4)$$

$$\frac{d^2\gamma_{x_1}}{dt^2} = g \cdot \frac{h_1}{i_{x_1}^2} \cdot \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \cos\gamma_{x_1} \cdot \sin(\alpha - \beta) [1 - \operatorname{tg}\gamma_{x_1} \cdot \operatorname{ctg}(\alpha - \beta)], \quad (5)$$

При малых углах поворотах секции $\operatorname{tg}\gamma_{x_1} = \gamma_{x_1}$

$$\frac{d^2\gamma_{x_1}}{dt^2} = g \cdot \frac{h_1}{i_{x_1}^2} \cdot \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \cdot \sin(\alpha - \beta) [1 - \gamma_{x_1} \cdot \operatorname{ctg}(\alpha - \beta)], \quad (6)$$

$$\frac{d^2\gamma_{x_1}}{dt^2} = g \cdot \frac{h_1}{i_{x_1}^2} \cdot \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \cos(\alpha - \beta) \cdot \gamma_{x_1} = g \frac{h_1}{i_{x_1}^2} \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \cdot \sin(\alpha - \beta), \quad (7)$$

Получено неоднородное дифференциальное уравнение 2-го порядка, левая часть которого в общем виде описывает движение секции, а правая часть, частный случай – т.е. учитывает определенные параметры рассматриваемой секции. Совместное общее и частное решения этого уравнения позволяют определить время движения первой секции до ограничительных упоров второй [6].

Зная время движения первой секции до ограничительных упоров, можно определить угловую скорость секции:

$$\Delta h = h_{z2} - h_{z1}, \quad (13)$$

$$h_{x2} = \sqrt{h_2^2 + \frac{B^2}{4}} = h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}}, \quad (14)$$

$$h_{x1} = c_2 k \cdot \text{Cos}(\Delta - \beta) = h_{x2} \cdot \text{Cos}(\Delta - \beta) = h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} \text{Cos}(\Delta - \beta), \quad (15)$$

$$h_{x1} = h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} - h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} \text{Cos}(\Delta - \beta) = h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} [1 - \text{Cos}(\Delta - \beta)], \quad (16)$$

учитывая, что: $\text{cos}(\Delta - \beta) = \text{cos} \Delta \cdot \text{cos} \beta - \text{sin} \Delta \cdot \text{sin} \beta,$ (17)

получим:

$$h_{x1} = h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} (1 - \text{Cos} \Delta \cdot \text{Cos} \beta - \text{Sin} \Delta \cdot \text{Sin} \beta), \quad (18)$$

Из рис. 3, видно:

$$\text{Cos} \Delta = \frac{h_2}{h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}}}; \text{Sin} \Delta = \frac{\frac{B}{2h}}{\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}}}, \quad (19)$$

и тогда:

$$\Delta h = h_2 \left(\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} - \frac{\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}}}{\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}}} \text{Cos} \beta - \frac{B \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}}}{2h_2 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}}} \text{Sin} \beta \right), \quad (20)$$

$$\Delta h = h_2 \left(\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} - \text{Cos} \beta \right) - \frac{B}{2} \text{Sin} \beta, \quad (21)$$

Причем, дополнительный угол поворота первой секции будет равен:

$$\Delta = \arcsin \frac{B}{2h_2}, \quad (22)$$

Вращение первой секции прекращается при достижении упоров второй секции горизонтального шарнира. Далее процесс опрокидывания происходит при совместном вращении обеих секций.

Используем энергетический метод для определения динамической устойчивости трактора, работающего на уклоне.

Сущность метода заключается в том, что процесс опрокидывания оценивается затраченной на это работой или энергией.

Исходные данные для расчета приведены на рис. 3.

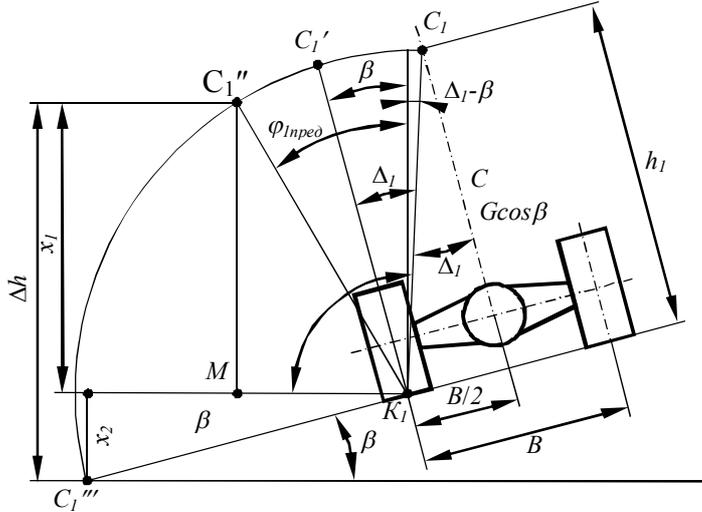


Рис 3. Фазы совместного движения секций трактора при опрокидывании

Уравнение опрокидывания определим из условия, что:

$$W_{k1} + W_{n1} \geq m_2 g \Delta h, \quad (23)$$

То есть, кинетическая энергия вращательного движения первой секции, накопленная при поперечном вращательном движении до упора со второй секцией и ее потенциальная энергия в положении на упоре должны быть больше потенциальной энергии второй секции, которую нужно накопить для опрокидывания.

Величина кинетической энергии первой секции равна:

$$W_{k1} = \frac{m_1 \cdot g^2 \cdot h_1^2}{i_{x1}^2} \left(1 + \frac{B^2}{4h_2^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{x1}^2 n_{пред}}{tg^2(\beta - \alpha)}\right) \sin^2(\beta - \alpha), \quad (24)$$

Высота центра масс второй секции изменится на величину Δh_2 , которая определяется по формуле:

$$\Delta h = h_2 \left(\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} - \cos \beta \right) - \frac{B}{2} \sin \beta, \quad (25)$$

Используя графическую иллюстрацию рис. 3, выведем формулу для определения Δ_1 :

$$x_2 = \bar{c}_1'' k \cdot \sin \beta = h_1 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \sin \beta, \quad (26)$$

$$x_1 = c_1'' k \cdot \cos(\gamma_{пред1} - \Delta_1 + \beta) = h_1 \cdot \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} [\cos(\gamma_{пред1} - \Delta_1 + \beta)], \quad (27)$$

Представим функцию $\cos(\gamma_{npe\partial l} - \Delta_1 + \beta)$ как разность функций:

$$\cos(\gamma_{npe\partial l} - \Delta_1 + \beta) = \cos(\gamma_{npe\partial l} + \beta) \cdot \cos \Delta_1 - \sin(\gamma_{npe\partial l} + \beta) \sin \Delta_1, \quad (28)$$

Из рисунка 3, видно, что:

$$\cos \Delta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}}}, \sin \Delta_1 = \frac{\frac{B}{2h_1}}{\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}}}, \quad (29)$$

Подставляя полученные выражения, получим зависимость для определения Δh :

$$\Delta h = h_1 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \sin \beta + h_1 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \cos(\gamma_{npe\partial l} + \beta) \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}}} - \quad (30)$$

$$h_1 \left[\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \sin \beta + h_1 \sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \cos(\gamma_{npe\partial l} + \beta) \right]$$

Используя полученные зависимости для определения условия динамической устойчивости, получим уравнение опрокидывания трактора с шарнирно-сочлененной рамой.

$$Wk_1 + Wn_1 \geq m_2 g \Delta h_2, \quad (31)$$

$$Wk_1 + m_1 g \Delta h \geq m_2 g \Delta h_2, \quad (32)$$

Условие опрокидывания в общем виде запишем:

$$\frac{m_1 g^2 h_1^2}{i_{x1}^2} \cdot \left(1 + \frac{B^2}{4h_1^2}\right) \cdot \left[1 - \frac{\gamma_{x1npe\partial}^1}{tg^2(\beta - \alpha)}\right] \sin^2(\beta - \alpha) +$$

$$m_1 g h_1 \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_1^2}} \sin \beta + \cos(\gamma_{npe\partial l} + \beta)\right] - \quad (33)$$

$$- \frac{B m_1 g}{2} \sin(\gamma_{npe\partial l} + \beta) \geq m_2 g h_2 \left(\sqrt{1 + \frac{B^2}{4h_2^2}} - \cos \beta\right) - \frac{B m_2 g}{2} \sin \beta$$

Выводы

1. Установлена взаимосвязь конструктивных параметров трактора с шарнирно-сочлененной рамой на уклоне с условиями динамической устойчивости с учетом угла поворота секций шарнирно-сочлененного трактора.

2. Сформировано условие опрокидывания в общем виде, которое позволяет прогнозировать безопасное использование техники, работающей на уклонах.

Список используемых источников

1. Кириенко Н.М. Исследование и разработка средств и методов испытаний защитных устройств (кабин) тракторов с шарнирно-сочлененной рамой. Автореферат дис. канд. техн. наук: 05.05.03.-Москва, 1984.-24с.
2. Кириенко Н.М., Полянский А.С., Задорожня В.В. Прогнозирование параметров динамической устойчивости с шарнирно-сочлененной рамой при работе на поперечном уклоне. Тракторная энергетика в растениеводстве. Сб.н. трудов. Вып. 89.-2009. С.52-58.
3. Смирнов Г. А. Теория движения колёсных машин / Смирнов Г. А. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
4. Боклаг В.М. Анализ общей устойчивости шарнирно-сочленённых машин.: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Харьков, 1964, 22 с.
5. Коновалов В.Ф. Динамическая устойчивость тракторов. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
6. Полянский А.С., Задорожня В.В. Определение кинетической энергии секции трактора с шарнирно-сочлененной рамой при опрокидывании. Механіка та машинобудування.// Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХП».

Анотація

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МАШИН ЗА РІВНЯННЯМ ПЕРЕКИДАННЯ В ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩИНІ

Кириенко Н.М., Полянский А.С., Задорожня В.В.

Встановлена залежність конструктивних параметрів трактора з шарнірно-зчепленою рамою і параметрів динамічної стійкості під час руху на поперечному схилі, що дозволяє прогнозувати безпечне виконання робіт машино-тракторного агрегату на полях з пересіченою місцевістю.

Abstract

SIMULATION PARAMETERS OF DYNAMIC STABILITY OF VEHICLES OVERTURNING THE EQUATION IN THE TRANSVERSE PLANE

Kiriienko N.M., Polyanskyy A.S., V.V. Zadorozhnyaya

The dependence of structural parameters of the tractor with the hinge-meshed frame and parameters of dynamic stability when traveling cross-slope, which allows to predict the safety performance car and tractor unit on fields with rough terrain.