

## ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПУСКА И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕТРОУСТАНОВОК ДЛЯ НИЗКОСКОРОСТНЫХ ВЕТРОВ

*В статье приведена математическая модель пускового крутящего момента лопасти трапецеобразной формы с закруткой поверхности, рассмотрены принципиальные и конструктивные схемы ветроэлектрогенераторов для эффективного использования низкоскоростных ветров.*

**Ключевые слова:** безредукторная ветроустановка, оптимальный пусковой угол установки, пусковой момент.

## INCREASE OF INDEXES OF STARTING AND ELECTROMECHANICS TRANSFORMATION OF WIND TURBINE FOR LOWSPEED WINDS

*In the article the mathematical model of starting twisting moment of blade of trapezoid form is resulted with the rollup of surface, the of principle and structural charts of wind elektrogenators are considered for the effective use of low-speed winds.*

**Key words:** unreduced windtubines, optimal starting angel of installation, starting moment.

УДК 629.017

## УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРНОГО ПОЕЗДА

**М.А. Подригало**, докт. техн. наук, проф.,

**Д.М. Клец**, канд. техн. наук,

**В.В. Кириященко**,

*Харьковский НАДУ;*

**В.М. Третяк**, канд. техн. наук,

*ННЦ «ИМЭСХ»*

---

*Розглянуто стійкість руху транспортного машинно-тракторного агрегату проти заносу в тяговому режимі та гальмуванні.*

**Ключові слова:** машинно-тракторний агрегат, гальмування, стійкість руху, занос.

---

**Введение.** Реализация тяговой динамики тракторного поезда является одной из наиболее актуальных задач обеспечения его эффективной и безопасной работы. Динамика тракторного поезда рассматривается

© М.А Подригало, Д.М. Клец, В.В Кириященко, В.М. Третяк.  
Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 95. 2011.

при движении в тяговом режиме и торможении. В обоих режимах движения важным является обеспечение устойчивости тракторного поезда против складывания (заноса). В настоящей статье рассматриваются условия сохранения тракторным поездом устойчивости против заноса в различных режимах движения. В качестве критерия устойчивости принят коэффициент устойчивости, представляющий собой отношение момента возмущающего к моменту стабилизирующему.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Динамике движения тракторных поездов посвящено значительное количество научных исследований [1 – 11]. Объектом исследований большинства работ являлось повышение эффективности использования тракторных поездов и машинно-тракторных агрегатов (МТА) на транспортных и технологических сельскохозяйственных операциях [9, 10, 11]. Устойчивость движения тракторных поездов и МТА рассматривалась как в тяговом [1 – 11], так и в тормозном режимах [12 – 14]. Известные методы оценки устойчивости тракторного поезда предусматривают определение либо угла складывания звеньев в конце торможения (устойчивость при заносе), либо усилия в соединительном устройстве, возникающем при торможении или разгоне (устойчивость против заноса) [1, 5, 6, 12, 13, 14]. При растягивающем усилии в соединительном устройстве движение тракторного поезда устойчиво, а при сжимающем – может вызвать занос.

Из последнего утверждения следует, что в случае отсутствия тормозов на колесах прицепного звена или модулях активного привода на его колесах в сцепке может возникать сжимающее усилие. В соответствии с существующими критериями это влияет на устойчивость движения машины. Однако, известные исследования [15], проведенные для одиночного автомобиля, показали, что более объективным показателем устойчивости колесной машины против заноса (статической курсовой устойчивости) является коэффициент устойчивости

$$k_{уст} = \frac{M_{стб}}{M_{возм}}, \quad (1)$$

где  $M_{стб}$  – момент стабилизирующий (момент сопротивления развороту машины);  $M_{возм}$  – момент возмущающий (вызывающий занос).

Для трактора

$$M_{стб} = b \cdot R_{б2}, \quad (2)$$

$$M_{возм} = a \cdot R_{б1}, \quad (3)$$

где  $a$ ,  $b$  – расстояния от переднего и заднего мостов трактора до проекции центра масс на горизонтальную плоскость,  $R_{\delta 1}$ ,  $R_{\delta 2}$  – боковые реакции на колесах переднего и заднего мостов.

Коэффициент устойчивости [15] является более объективным показателем устойчивости тракторного поезда против заноса как в тормозном, так и в тяговом режимах движения.

**Цель и постановка задачи исследования.** Целью исследования является повышение устойчивости тракторного поезда против заноса в тяговом и тормозном режимах движения.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить коэффициент устойчивости тракторного поезда в тяговом и тормозном режимах движения;
- определить условия устойчивости движения тракторного поезда.

**Результаты исследований.** Определение коэффициента устойчивости тракторного поезда.

На рис. представлены схемы сил, действующих на тракторный поезд в тяговом и тормозном режимах.

Усилие на крюке будет сжимающим ( $P_{кр} \geq 0$ ) в случае (см. рис.)

$$\begin{cases} R_{кн} - m_{np} \dot{V}_n > 0 - n p u \dot{V}_n > 0, \\ m_{np} \dot{V}_n + P_{тп} < 0 - n p u \dot{V}_n < 0, \end{cases} \quad (4), (5)$$

где  $R_{кн}$  - суммарная касательная реакция на ведущих колесах активного прицепного звена;  $P_{тп}$  - общая тормозная сила на колесах прицепа;  $m_{np}$  - общая масса прицепа;  $\dot{V}_n$  - линейное ускорение тракторного поезда.

При появлении угла складывания  $\psi$  тракторного поезда уравнение вращательного движения трактора будет иметь вид

$$I_{zc} \frac{d\omega_z}{dt} = R_{\delta 1} a - R_{\delta 2} b + P_{кр} (d + b) \sin \psi, \quad (6)$$

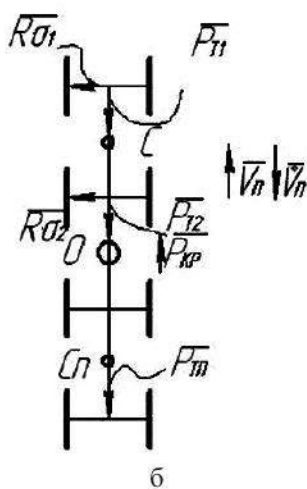
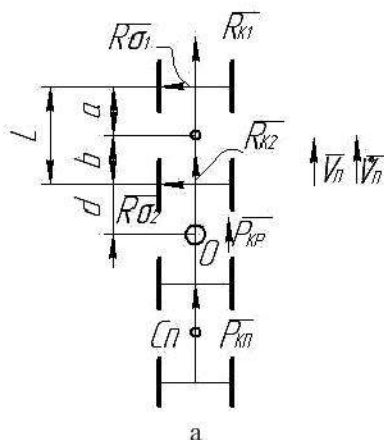
где  $I_{zc}$  – момент инерции остова трактора относительно вращательной центральной оси;  $d$  – расстояние от задней оси трактора до соединительного шарнира;  $\omega_z$  – угловая скорость трактора в плоскости дороги.

При определении возмущающего  $M_{возм}$  и стабилизирующего  $M_{стаб}$  моментов в уравнении (6) будем руководствоваться принципом, согласно которому все моменты от сил, увеличивающие занос, будем считать возмущающими. Все моменты от сил, оказывающие сопроти-

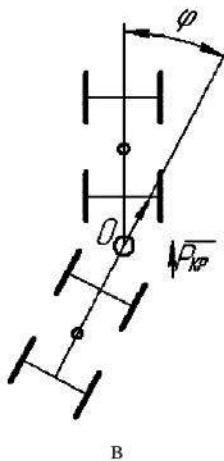
вление заносу трактора, будем относить к стабилизирующим моментам. Таким образом, в уравнении (6)

$$M = \begin{cases} R_{\delta 1} a + P_{кр} (d + l) \sin \psi - n p u P_{кр} \geq 0, \\ R_{\delta 1} a - n p u P_{кр} \leq 0 \end{cases} \quad (7), (8)$$

$$M_{стаб} = \begin{cases} R_{\delta 2} b - n p u P_{кр} \geq 0, \\ R_{\delta 2} - P_{кр} (d + b) \sin \psi - n p u P_{кр} \leq 0 \end{cases} \quad (9), (10)$$



**Рис.** Схемы сил, действующих на звенья тракторного поезда в тяговом и тормозном режиме движения: а – в тяговом режиме движения; б – в тормозном режиме движения; в – усилия  $P_{кр}$  на трактор при наличии угла складывания  $\varphi$



Уравнение (6) можно выразить через коэффициент устойчивости следующим образом[15]

$$J_{ZC} \frac{d\omega_Z}{dt} = M_{\text{возм}} (1 - K_{\text{уст}}^{\Pi}) \quad (11)$$

или

$$\frac{d\omega_Z}{dt} = \dot{\omega}_{Z_{\text{возм}}}^{\text{парц}} (1 - K_{\text{уст}}^{\Pi}), \quad (12)$$

где  $K_{\text{уст}}^{\Pi}$  – коэффициент устойчивости трактора против заноса в составе тракторного поезда;  $\dot{\omega}_{Z_{\text{возм}}}^{\text{парц}}$  – парциальное возмущающее ускорение [16],

$$\dot{\omega}_{Z_{\text{возм}}}^{\text{парц}} = \frac{M_{\text{возм}}}{J_{ZC}} \quad (13)$$

Коэффициент устойчивости трактора против заноса в составе тракторного поезда определяем, используя соотношение (1) с учетом (7) – (10)

$$K_{\text{уст}}^{\Pi} = \frac{M_{\text{стб}}}{M_{\text{возм}}} = \begin{cases} \frac{R_{\delta 1} b}{R_{\delta 1} a + P_{\text{кр}} (d + b) \sin \psi} - n p u P_{\text{кр}} \geq 0; \\ \frac{R_{\delta 3} b - P_{\text{кр}} (d + b) \sin \psi}{R_{\delta 1} a} - n p u P_{\text{кр}} \leq 0. \end{cases} \quad (14), (15)$$

Из выражений (14) и (15) видно, что при  $P_{\text{кр}} = 0$  выполняется равенство  $K_{\text{уст}}^{\Pi} = K_{\text{уст}}$ , поэтому преобразуем (14) и (15) к виду

$$K_{\text{уст}}^{\Pi} = \begin{cases} \frac{K_{\text{уст}}}{1 + \frac{P_{\text{кр}}}{R_{\delta 1}} \frac{d + b}{a} \sin \psi} - n p u P_{\text{кр}} \geq 0 \\ K_{\text{уст}} - \frac{P_{\text{кр}}}{R_{\delta 1}} \frac{d + b}{a} \sin \psi - n p u P_{\text{кр}} \leq 0. \end{cases} \quad (16), (17)$$

В выражениях (16) и (17) величина  $K_{\text{уст}}$  соответствует коэффициенту устойчивости одиночного трактора, а  $K_{\text{уст}}^{\Pi}$  – коэффициенту устойчивости трактора в составе тракторного поезда. Анализ выражений (16) и (17) показывает, что при  $P_{\text{кр}} \geq 0$  существует соотношение  $K_{\text{уст}}^{\Pi} \leq K_{\text{уст}}$ , а при  $P_{\text{кр}} \leq 0$  –  $K_{\text{уст}}^{\Pi} \geq K_{\text{уст}}$ . Чем выше  $P_{\text{кр}}$  по абсолютной величине, тем выше устойчивость тракторного поезда

при  $P_{кр} \leq 0$  и, тем ниже она при  $P_{кр} \geq 0$ .

**Определение условий устойчивого движения тракторного поезда.**

Условием обеспечения устойчивости тракторного поезда против заноса является получение  $K_{уст}^{II} \geq 1$ . Для анализа величины  $K_{уст}^{II}$  необходимо в уравнениях (14) и (15) определить зависимости  $R_{\sigma}$ ,  $R_{\sigma 2}$ ,  $P_{кр}$  от конструктивных параметров и условий движения тракторного поезда.

Усилие на крюке можно определить как

$$P_{кр} = \begin{cases} R_{кп} - M_{np} \dot{V}_{п} - nпу \dot{V}_{п} \geq 0; \\ P_{тп} + m_{np} \dot{V}_{п} - nпу \dot{V}_{п} \leq 0. \end{cases} \quad (18), (19)$$

В выражениях (18) и (19)

$$P_{кр} = P_{кп} - m_{пп} f g; \quad (20)$$

$$P_{тп} = m_{пп} K_G \cdot \phi g, \quad (21)$$

где  $P_{кп}$  – тяговая сила на колесах прицепа;

при  $P_{кQ} = 0$  справедливо соотношение

$$R_{кп} = -m_{пп} f g, \quad (22)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению колес;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\phi$  – коэффициент сцепления колес с опорной поверхностью;  $K_G$  – коэффициент использования сцепного веса прицепа при торможении,

$$K_G = \frac{P_{тп}}{m_{пп} g \phi}. \quad (23)$$

Суммарные боковые реакции на осях трактора

$$R_{\sigma 1} = \sqrt{\phi^2 R_{Z1}^2 - R_{K1}^2} \quad (24)$$

$$R_{\sigma 2} = \sqrt{\phi^2 R_{Z2}^2 - R_{K2}^2}, \quad (25)$$

где  $R_{K1}$ ,  $R_{K2}$  – суммарные касательные реакции опорной поверхности на колесах передней и задней осей;  $R_{Z1}$ ,  $R_{Z2}$  – суммарные вертикальные реакции опорной поверхности на колесах передней и задней оси.

В тяговом режиме движения

$$R_{K1} = k_M \cdot P_K - R_{Z1} f \quad (26)$$

$$R_{K2} = (1 - k_M) P_K - R_{Z2} f, \quad (27)$$

где  $k_M$  – коэффициент распределения крутящих моментов на переднюю ось,

$$k_M = \frac{M_{K1}}{M_{K1} + M_{K2}}, \quad (28)$$

где  $M_{K1}$ ,  $M_{K2}$  – суммарные крутящие моменты на колесах передней и задней осей.

Суммарные вертикальные реакции на колесах передней и задней осей трактора

$$R_{Z1} = m_T g \left( \frac{b}{L} + \frac{P_{KP}}{m_T g} \frac{h_{KP}}{L} - \frac{\dot{V}_{II}}{L} \right) \quad (29)$$

$$R_{Z2} = m_T g \left( \frac{a}{L} - \frac{P_{KP}}{m_T g} \frac{h_{KP}}{L} + \frac{\dot{V}_{II}}{L} \right), \quad (30)$$

где  $m_T$  – общая масса трактора;  $L$  – продольная колесная база трактора;  $h_{KP}$  – высота расположения над опорной поверхностью соединительного устройства звеньев тракторного поезда;  $h$  – высота центра масс трактора.

После подставки выражений (26) и (27) в уравнения (14) и (15), получаем для тягового режима

$$K_{уст}^{II} = \begin{cases} \frac{b\sqrt{\phi^2 R_{Z2}^2 - [(1-k_M)P_K - fR_{Z2}]^2}}{a\sqrt{\phi^2 R_{Z1}^2 - (k_M P_K - fP_{Z1})^2} + P_{KP} \frac{a+b}{a} \psi} n\mu P_{KP} \geq 0; \\ \frac{b\sqrt{\phi^2 R_{Z2}^2 - [(1-k_M)P_K - fR_{Z2}]^2} - P_{KP} \frac{d+b}{a} \psi}{a\sqrt{\phi^2 R_{Z1}^2 - (k_M P_K - fP_{Z1})^2}} n\mu P_{KP} \leq 0 \end{cases} \quad (31), (32)$$

Подставляя выражения (29), (30), (18), (20) в (31) и (32), численными методами можно определить условия устойчивости, соответствующее получению  $K_{уст}^{II} \geq 1$ .

В тормозном режиме движения суммарные боковые реакции на осях трактора

$$R_{\sigma 1} = \sqrt{\phi^2 R_{Z1}^2 - P_{T1}^2} = \sqrt{\phi^2 R_{Z1}^2 - \beta^2 P_T^2} \quad (33)$$

$$R_{\sigma 2} = \sqrt{\phi^2 R_{Z2}^2 - P_{T2}^2} = \sqrt{\phi^2 R_{Z2}^2 - (1-\beta)^2 P_T^2}, \quad (34)$$

где  $P_T$  – общая тормозная сила, создаваемая тормозами трактора;  $\beta$  – коэффициент распределения общей тормозной силы на переднюю

ось,

$$\beta = \frac{P_{T1}}{P_{T1} + P_{T2}}, \quad (35)$$

где  $P_{T1}$ ;  $P_{T2}$  – суммарные тормозные силы на колесах передней и задней оси.

После подстановки выражений (33) и (34) в уравнения (14) и (15) получим для тормозного режима

$$K_{уст}^{\Pi} = \begin{cases} \frac{b\sqrt{\phi^2 R_{Z2}^2 - (1-\beta)^2 P_T^2}}{a\sqrt{\phi^2 R_{Z1}^2 - \beta^2 P_T^2} + P_{KP} \frac{d+b}{a}} \psi n\mu P_{KP} \geq 0; \\ \frac{b\sqrt{\phi^2 R_{Z2}^2 - (1-\beta)^2 P_T^2} - P_{KP} \frac{d+b}{a}}{a\sqrt{\phi^2 R_{Z1}^2 - \beta^2 P_T^2}} \psi n\mu P_{KP} \leq 0 \end{cases} \quad (36), (37)$$

**Выводы.** Условием обеспечения устойчивости тракторного поезда при торможении является  $K_{уст} \geq 1$ .

### БИБЛІОГРАФІЯ

1. *Исследование работы тракторного поезда в сельскохозяйственном производстве:* [Труды НАТИ/науч. Ред. Арутюня А.О.].-М.: ОНТИ-НАТИ – 1964. - Вып 175, -128 с.
2. *Ясеневиц В.Е.* Исследование тракторного поезда, прицеп которого имеет ведущую ось /В.Е. Ясеневиц/ Исследование работы тракторного поезда в сельскохозяйственном производстве. Труды НАТИ.-1964.- № 175. – С. 3-44.
3. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных агрегатов/Л.В. Гячев.- Ростов-на-Дону. Изд-во Ростовского госуниверситета, 1976. - 192 с.
4. *Богдан Н.В.* Определение реакций на осях тракторного поезда / Богдан Н.В. Грейко Г.П., Раклей И.С. //Автотракторостроение. – Минск: Высшая школа.- 1977. – Вып.9. – С. 85-91.
5. *Никольский В.В.* Исследование устойчивости движения прицепов / В.В. Никольский, Т.Р. Паненко// Автомобильная промышленность.-1971.-№10.-С.14-16.
6. *Радоренов Н.А.* Методика экспериментального исследования динамики движения тракторного поезда/ Н.А. Радоренов, В.А. Ким, Н.В. Богдан//В сб. Автомобиле- тракторостроение – Минск:



- Высшая школа.-1975.- Вып. 7.-С. 134-135.
7. *Федотов А.М.* Тормозная динамика тракторного прицепа/А.М. Федотов//Тракторы и сельхозмашины.-1976.-№6.-С.18-19.
  8. *Лысов А.М.* Вопросы кинематики и динамики поворота тягача с прицепом/А.М. Лысов//Труды НАТИ.-М.:ОНТИ-НАТИ, 1959. – 35с.
  9. *Лонарев А.А.* Основные показатели эффективности сельскохозяйственных тракторно-технологических агрегатов по динамическому паспорту /А.А. Лонарев, В.И. Судницин, К.В. Новиков, В.В. Бронников // Тракторы и сельхозмашины. -2009.- №6.-С. 31-33.
  10. *Камбулов С.И.* Механико-технологическое обоснование повышения эффективности функционирования сельскохозяйственных агрегатов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства/ С.И. Камбулов. – Краснодар, 2008.-32 с.
  11. *Терехин С.А.* Методика оценки влияния переменных внешних воздействий на машинно-тракторный агрегат с учетом современных характеристик двигателя и трактора/С.А. Терехин, С.Ю. Журавлев, В.Н. Котельников//Вестник КрасГАУ. -2009.- №11.-С. 171-175.
  12. *Парфенов А.П.* Некоторые вопросы динамики торможения тракторных поездов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.03 – автомобили и тракторы / А.П. Парфенов, -М.: 1964. -20 с.
  13. *Брыков А.С.* Обоснование требований к тормозным системам тракторного поезда / А.С. Брыков, Н.А. Свиянский // Исследование работы и оптимизация параметров тракторных трансмиссий. Труды НАТИ.-1977.-№254. –С. 59-68.
  14. *Тормозные приводы и тормозные свойства тракторных поездов/ [Подригало М.А., Волков В.П., Шепеленко И.Г., Щербань В.А., Коряк А.А., Кириченко В.В.]; под ред. М.А. Подригало. –Х.: Изд-во ХНАДУ, 2007. -476 с.*
  15. *Динамика автомобиля/[Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.А., Клец Д.М., Редько В.В.]; под ред. М.А. Подригало. –Х.: Изд-во ХНАДУ, 2007. -424 с.*
  16. *Артемов М.П.* Метод парціальних прискорень і його застосування при дослідженні динаміки мобільної машини /[М.П. Артемов, А.Т. Лебедев, О.П. Алексеев, В.П. Волков, М.А. Подригало,

О.С. Полянський]. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України.» Секція 2. «Актуальні проблеми технічного забезпечення службово-бойової діяльності сил охорони правопорядку», Харків, 17-18 березня 2010 р. Харків, 2010,- С. 44-46.

---

### СТІЙКІСТЬ РУХУ ТРАКТОРНОГО ПОТЯГУ

*Рассмотрена устойчивость движения транспортного машинно-тракторного агрегата в тяговом режиме и режиме торможения.*

**Ключевые слова:** машинно-тракторный агрегат, торможение, устойчивость движения, занос.

### ESTIMATION OF TRACTOR TRAIN STABILITY

*Motion stability of machine and tractor unit against sideway skidding in traction and braking modes is considered.*

**Key words:** machine and tractor unit, braking, motion stability, sideway skidding.

УДК 67.05:662.767.3

## АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ

**В.О. Дубровін**, докт. техн. наук, проф,

**В.Г. Мироненко**, докт. техн. наук,

**В.М. Поліщук**, канд. техн. наук

*НУБіП України*

---

*Розглянуті технічні засоби виробництва біодизеля, визначені їх переваги та недоліки.*

**Ключовы слова:** біодизель, метиловий ефір, реактор, кавітація, перемішування.

---

**Постановка проблеми.** В зв'язку із глобальною енергетичною кризою людство шукає заміну традиційним видам палива. Для карбюраторних та інжекторних двигунів це може бути біоетанол як в чисто-

© В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, В.М. Поліщук.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 95. 2011.