

УДК 629.114

М. П. ХОЛОДОВ, аспірант «ХНАДУ», Харків

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОРМОЖЕНИЯ ТРАКТОРА С ОДНООСНЫМ ПРИЦЕПОМ БЕЗ БЛОКИРОВАНИЯ КОЛЕС

Тракторные поезда являются основным транспортным средством в сельскохозяйственном производстве. Тормозные свойства тракторных поездов оказывают значительное влияние на безопасность движения, особенно на дорогах общего пользования при движении с автомобилями в одном транспортном потоке. Поэтому динамика торможения тракторных поездов посвящено значительное количество монографий, статей и диссертаций. Однако общим недостатком известных работ является ошибка в определении точки приложения тормозной силы к незаблокированному колесу.

Основываясь на своих ранее проведенных исследованиях, была получена математическая модель процесса торможения тракторного поезда (в составе колесного трактора и одноосного прицепа) на грани блокирования колес. Определены коэффициенты распределения общей тормозной силы тракторного поезда на переднюю, заднюю ось трактора, и ось прицепа; с учетом коэффициента устойчивости.

Ключевые слова: распределение тормозных сил, тракторный поезд, динамика, торможение, прицеп, трактор, устойчивость, коэффициент сцепления

Введение. Использование тракторных поездов на транспортных работах постоянно растет соответственно и их транспортные скорости тоже увеличиваются, что влечёт за собой ужесточение требований к тормозным свойствам этих машин. Поэтому вопросам исследования динамики торможения автомобильных и тракторных поездов посвящены значительное количество работ.

В настоящей статье, основываясь на своих ранее проведенных исследованиях, была получена математическая модель процесса торможения тракторного поезда (в составе колесного трактора и одноосного прицепа) на грани блокирования колес. Определены коэффициенты распределения общей тормозной силы тракторного поезда на переднюю, заднюю оси трактора, и ось прицепа, обеспечивающие устойчивость тракторного поезда.

Анализ последних достижений и публикаций. Как показывают последние исследования [1,2,4], наиболее эффективное торможение реализуется, когда колеса не заблокированы либо находятся на грани блокирования. Также при выборе распределения тормозных сил между осями реализующие данные условия, следует учитывать курсовую устойчивость. [3,5].

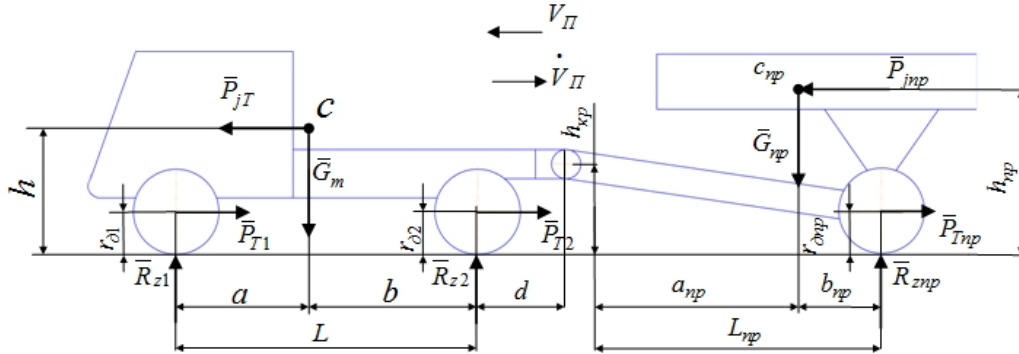
Цель и постановка задачи. Целью исследования является выбор рационального распределения тормозных сил между осями тракторного поезда (в составе колесного трактора и одноосного прицепа) с учетом обеспечения курсовой устойчивости, при торможении.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить влияние коэффициентов распределения тормозных сил на курсовую устойчивость тракторного поезда при торможении.
- провести расчет коэффициентов распределения тормозных сил между осями на примере колесного трактора ХТЗ – 17221 и одноосного прицепа – 1-ПТС 9, обеспечивающих торможение на пределе блокирования колес.

© М. П. Холодов, 2014

Курсовая устойчивость трактора с двухосным прицепом при торможении.
 На рис. 1 показана расчетная схема сил, действующих на тракторный поезд при торможении с незаблокированными колесами.



a, b, a_{np}, b_{np} - расстояние от передней и задней осей до проекции центра масс прицепа на горизонтальную плоскость; h_{np} - высота центра масс прицепа; L_{np} - продольная колесная база прицепа; R_{z1}, R_{z2}, R_{znp} - суммарные нормальные реакции дороги на передней, задней осях трактора, и оси прицепа; $r_{\delta 1}, r_{\delta 2}, r_{\delta np}$ - динамические радиусы передних, задних колес трактора, и колес прицепа; h - высота центра масс трактора; L - продольная колесная база трактора; $h_{кр}$ - высота соединительного шарнира звеньев тракторного поезда. $G_T, G_{ПР}$ - общий вес трактора и прицепа, соответственно; d - горизонтальная координата положения соединительного шарнира звеньев тракторного поезда.

Рисунок 1 – Схема сил, действующих на тракторный поезд при торможении с незаблокированными колесами:

Для тракторного поезда коэффициент устойчивости при торможении будет равен:

$$K_{уст} = \frac{M_{ст\delta}^{II}}{M_{возм}^{II}} = \frac{R\delta_2 b}{R\delta_1 a} \quad (1)$$

Боковые реакции дороги на колесах передней и задней осей трактора, и оси прицепа

$$R\delta_1 = \sqrt{\varphi^2 R_{z1}^2 - \beta_1^2 \frac{(G_{mp} + G_{np})^2}{g^2} \cdot j_{II}^2}; \quad (2)$$

$$R\delta_2 = \sqrt{\varphi^2 R_{z2}^2 - \beta_2^2 \frac{(G_{mp} + G_{np})^2}{g^2} \cdot j_{II}^2}; \quad (3)$$

$$R\delta_{np} = \sqrt{\varphi^2 R_{znp}^2 - \beta_{np}^2 \frac{(G_{mp} + G_{np})^2}{g^2} \cdot j_{II}^2}; \quad (4)$$

$\beta_1, \beta_2, \beta_{np1}$ - коэффициент распределения общей тормозной силы тракторного поезда на переднюю, заднюю ось трактора, и ось прицепа.

Вертикальные реакции дороги на передней и задней осях трактора, и задней оси прицепа (рис. 1)

$$R_{z1} = G_T \frac{b}{L} - G_{np} \frac{b_{np}}{L_{np}} \cdot \frac{d}{L} + P_{III} \left(\frac{h - h_{kp}}{1 + \frac{G_{np}}{G_T}} + \beta_1 \frac{h_{kp} - r_{\delta 1}}{L} + \beta_2 \frac{h_{kp} - r_{\delta 1}}{L} - \frac{d}{L} \cdot \left(\frac{h_{np} - h_{kp}}{1 + \frac{G_T}{G_{np}}} + \beta_{np} \cdot \frac{h_{kp} - r_{\delta np}}{L_{np}} \right) \right); \quad (5)$$

$$R_{z2} = G_T \frac{a}{L} + G_{np} \frac{b_{np}}{L_{np}} \cdot \left(1 + \frac{d}{L} \right) - P_{III} \left(\frac{h - h_{kp}}{1 + \frac{G_{np}}{G_T}} + \beta_1 \frac{h_{kp} - r_{\delta 1}}{L} + \beta_2 \frac{h_{kp} - r_{\delta 1}}{L} - \left(1 + \frac{d}{L} \right) \cdot \left(\frac{h_{np} - h_{kp}}{1 + \frac{G_T}{G_{np}}} + \beta_{np} \cdot \frac{h_{kp} - r_{\delta np}}{L_{np}} \right) \right); \quad (6)$$

$$R_{znp} = G_{np} \frac{a_{np}}{L_{np}} - P_{III} \left(\frac{h_{np} - h_{kp}}{1 + G_T / G_{np}} + \beta_{np} \frac{h_{kp} - r_{\delta np}}{L_{np}} \right); \quad (7)$$

Замедление тракторного поезда на пределе блокирования колес

$$j_{III} = \frac{g}{G_{III} + G_T} \cdot \frac{G_T \cdot \frac{b}{L} - G_{III} \frac{b_{III}}{L_{III}} \cdot \frac{d}{L}}{\beta_1 - \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{G_{III}}{G_T}} - \beta_{np} \right) \frac{h_{kp} - r_{\delta 2}}{L} + \frac{G_T \cdot \frac{b}{L} - G_{III} \frac{b_{III}}{L_{III}} \cdot \frac{d}{L}}{\left(\frac{h_{np} - h_{kp}}{1 + \frac{G_T}{G_{III}}} + \beta_{np} \frac{h_{kp} - r_{\delta np}}{L_{np}} \right) \frac{d}{L} - \left(\frac{h - r_{\delta 2}}{1 + \frac{G_{III}}{G_T}} + \beta_1 \cdot \frac{r_{\delta 2} - r_{\delta 1}}{L} \right)}; \quad (8)$$

$$j_{II2} = \frac{g}{G_{IIIP} + G_T} \cdot \frac{G_T \cdot \frac{a}{L} + G_{IIIP} \frac{b_{np}}{L_{np}} \cdot \left(1 + \frac{d}{L}\right)}{\frac{\beta_2}{\varphi} - \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{G_{IIIP}}{G_T}} - \beta_{np}\right) \cdot \frac{h_{kp} - r_{\delta 2}}{L}} ; \quad (9)$$

$$\frac{G_T \cdot \frac{a}{L} + G_{IIIP} \frac{b_{np}}{L_{np}} \cdot \left(1 + \frac{d}{L}\right)}{- \left(\frac{\frac{h_{np} - h_{kp}}{L_{np}} + \beta_{np} \frac{h_{kp} - r_{\delta np}}{L_{np}}}{1 + \frac{G_T}{G_{IIIP}}} \right) \left(1 + \frac{d}{L}\right) + \left(\frac{\frac{h - r_{\delta 2}}{L}}{1 + \frac{G_{IIIP}}{G_T}} + \beta_1 \cdot \frac{r_{\delta 2} - r_{\delta 1}}{L} \right)}$$

$$j_{IIIP} = \frac{g}{G_{IIIP} + G_T} \cdot \frac{G_{IIIP} \cdot a_{np}}{\frac{\beta_{np1}}{\varphi} + \left(\beta_{np} \frac{h_{kp} - r_{\delta np}}{L_{np}} + \frac{h_{np} - h_{kp}}{L_{np} \left(1 + \frac{G_T}{G_{IIIP}}\right)} \right)} . \quad (10)$$

P_{III} - общая тормозная сила тракторного поезда,

$$P_{III} = \frac{G_T + G_{IIIP}}{g} \cdot j_{II} . \quad (11)$$

Выбор рационального распределения тормозных сил трактора с одноосным прицепом



Рисунок 2 – а – трактор XТЗ-17221; б – прицеп 1 – ПТС 9

Таблица 1 – технические характеристики трактора ХТЗ-17221 и прицепа 1-ПТС9

Модель трактора	Шины		$r_{o_2} = r_{cm_2}, м$	$r_{o_1} = r_{cm_1}, м$	$h, м$	$b, м$	$L, м$
	задние	передние					
ХТЗ-17221	23,1R26	23,1R26	0,886	0,886	1,095	1,800	2,86
Модель прицепа	445/65R22.5		$r_{опр} = r_{cm}, м$		$h_{кр}, м$	$b_{пр}, м$	$L_{пр}, м$
1-ПТС 9			0,4				

Таблица 2 – Расчет значений коэффициента распределения тормозных сил между осями трактора ХТЗ-17221 с одноосным прицепом 1-ПТС 9

Модель трактора	β	φ							
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
ХТЗ-17221 (с одноосным прицепом без груза)	$\frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2}$	0,588	0,587	0,585	0,584	0,584	0,581	0,579	0,576
	β_1	0,4	0,403	0,406	0,408	0,413	0,413	0,414	0,415
	β_2	0,28	0,283	0,287	0,29	0,293	0,294	0,301	0,305
	$\beta_{пр}$	0,32	0,314	0,307	0,302	0,297	0,29	0,285	0,28
ХТЗ-17221 (с одноосным прицепом полностью груженный)	$\frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2}$	0,551	0,543	0,536	0,527	0,521	0,513	0,504	0,499
	β_1	0,271	0,274	0,278	0,281	0,284	0,287	0,29	0,293
	β_2	0,154	0,151	0,148	0,145	0,142	0,138	0,135	0,132
	$\beta_{пр}$	0,201	0,211	0,221	0,231	0,241	0,252	0,262	0,272

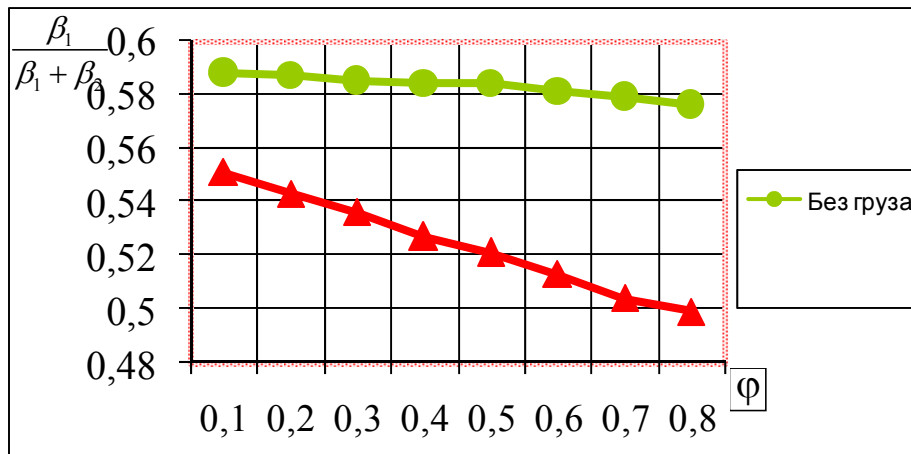


Рисунок 3 – Зависимость $\frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2}$ от коэффициента сцепления φ трактора ХТЗ – 17221 с одноосным прицепом 1-ПТС 9.

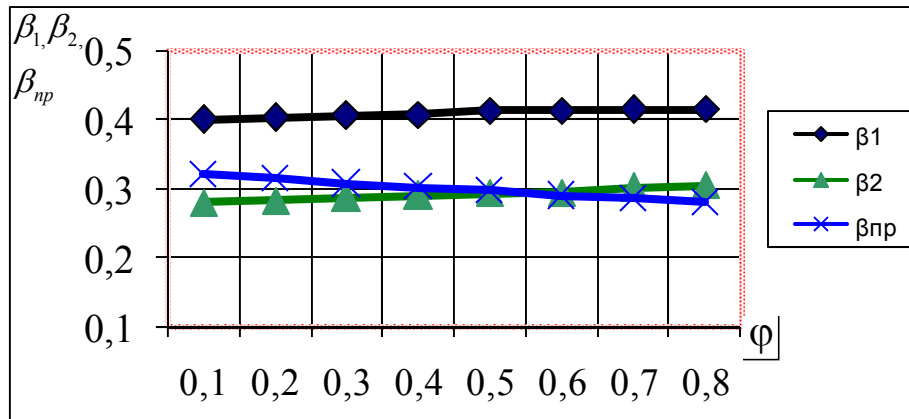


Рисунок 4 – Зависимость $\beta_1, \beta_2, \beta_{np}$ от коэффициента сцепления φ тректора ХТЗ – 17221 с одноосным прицепом 1-ПТС 9 без груза.

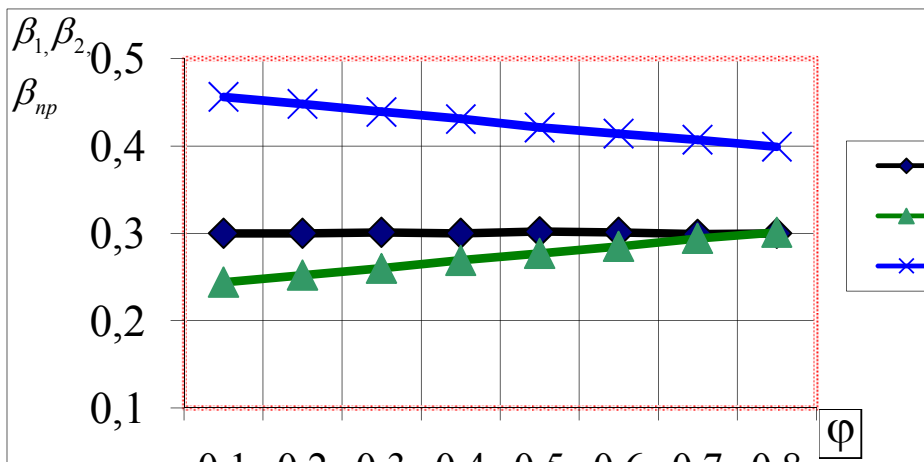


Рисунок 5 – Зависимость $\beta_1, \beta_2, \beta_{np}$ от коэффициента сцепления φ тректора ХТЗ – 17221 с одноосным прицепом 1-ПТС 9 полностью груженым.

Выводы. Анализ графиков показывает, что доля тормозной силы приходящейся на переднюю ось тректора, характеризуемая соотношением $\frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2}$ при торможении с одноосным прицепом без груза измеряется в небольших пределах от 0,59 до 0,57 при изменении коэффициента сцепления колес с дорогой φ от 0,1 до 0,8 при полностью груженом прицепе это изменение составляет от 0,55 до 0,5. Доля тормозной силы приходящейся на прицеп β_{np} по условиям обеспечения наилучшей эффективности торможения должна составлять 0,3 от общей тормозной силы тракторного поезда.

Обычно наиболее опасным случаем, при котором может возникнуть, опережающее блокирование задних колес возникает на дороге с высоким коэффициентом сцепления, это позволяет сделать вывод о том, что принимая значения $\frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2} = 0,58$, мы обеспечиваем опережающее по отношению к задним колесам тректора блокирование передних колес во всем диапазоне коэффициента сцепления φ и загрузке прицепа.

Список литературы: 1. Подригало М.А. Влияние блокировки колес на эффективность торможения колесных тракторов классической компоновки. / М.А. Подригало, Б.В. Савченко, М.П. Холодов // Вісник Харківського національного технічного

університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки «Механізація сільськогосподарського виробництва». – 2011. – Вип.107. – с.22-30. **2** Исследование работы тракторного поезда в сельскохозяйственном производстве: [Сб. науч. трудов] – М.: ОНТИ – НАТИ, 1993 – № 175. – 128 с. **3.** *Подригало М.А., Клец Д.М.* Определение устойчивости автомобиля против заноса при движении в тяговом режиме // Вісник НТУ «ХПІ». – Вип. 12 «Автомобіле- та тракторобудування», 2007. – с. 127-136. **4.** *Бендас И.М.* О распределении тормозных сил между осями автомобильного поезда / *И.М. Бендас* // Автомобильный транспорт. – К.: техника, – 1970. –№ 7. – с. 62 – 69. **5.** *Волков В.П.* Сравнительная оценка устойчивости тракторного поезда в процессе торможения / *В.П. Волков, М.А. Подригало, А.А. Коряк* // Автомобильный транспорт. – Харьков, ХГАДТУ. – 1998. – № 1. – с. 8–12. **6.** *Подригало М.А.* Торможение трактора с двухосным прицепом без блокирования колес // *М.А. Подригало, М.П. Холодов, Е.М. Воронова* // Ученые записки Крымского инженерно – педагогического университета. Технические науки. – Симферополь, 2013, Вып. 23 – 28 с. **7.** *Туренко А.Н.* Анализ требований, предъявляемых к торможению тягача с прицепом (полуприцепом) // *А.Н. Туренко, В.И. Клименко, В.А. Богомолов* // Автомобильный транспорт. – Харьков, ХГАДТУ.–1999. – №3. – с. 5–8. **8.** *Топалиди В.А.* Повышение тормозных свойств многосвязных автопоездов / *В.А. Топалиди* // Автомобильный транспорт. – Харьков, ХГАДТУ. – 2000. – № 4 – с. 10–13. **9.** *Гуськов А.В.* Устойчивость движения транспортного агрегата на базе мобильного энергетического средства в процессе торможения: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *А.В. Гуськов*. – Минск, 1993. – 21 с. **10.** *Коряк О.О.* Удосконалення гальмівного управління тракторного поїзда на базі колісного трактора малого класу: автореф. дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02. “Автомобілі та трактори” / *О.О. Коряк*. – Харків. 1999. – 20 с. **11.** *Розанов В.Г.* Торможение автомобиля и автопоезда / *В.Г. Розанов*. – 1964. – 243 с. **12.** *Парфенов А.П.* Некоторые вопросы динамики торможения тракторных поездов: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.195 “Автомобили и тракторы” / *А.П. Парфенов*. – М., 1964. – 20 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Podrigalo M. A.* Effect of wheel lock braking efficiency wheeled tractors classic layout . / *M. A. Podrigalo , B. V. Savchenko , M. P. Kholodov* // News Harkivskogo natsionalnogo tehnicnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Peter Vasilenko . Tehnichni science " Mehanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva ." - 2011 . - Vip.107 . - p.22- 30. **2** Investigation of tractor train in agricultural production [Sat scientific . works] - M: DSTI - NATI 1993 - № 175 . - 128 p. **3 .** *Podrigalo M. A., D. M. Klets* Determination of resistance against skidding car while driving under throttle // News NTU " KhPI ." - Vip . 12 " Avtomobile traktorobuduvannya -ta ", 2007 . - With . 127-136 . **4 .** *Bendas I. M.* On the distribution of braking forces between the axles car drive / *I. M. Bendas* // Road transport . - K.: technique - 1970 . - № 7. - With . 62 - 69. **5 .** *Volkov V. P.* Comparative evaluation of the stability of tractor train during braking / *V. P. Volkov, M. A. Podrigalo , A. A. Koryak* // Road transport . - Kharkov, HGADTU . - 1998 . - № 1. - With . 8-12 . **6.** *Podrigalo M. A.* Braking tractor axle trailer without locking wheels // *M. A. Podrigalo , M. P. Kholodov , E. M. Voronova* // Proceedings of the Crimean Engineering - Pedagogical University. Engineering. - Simferopol , 2013, Vol. 23 - 28 seconds. **7.** *A. N. Turenko* Analysis of the requirements for braking a trailer (semi-trailer) // *A. N. Turenko , V. I. Klimenko, V. A. Bogomolov* // Road transport . - Kharkov, HGADTU. -1999. - № 3 . - With . 5-8 . **8.** *Topalidi V. A.* Increased brake properties multilink trains / *V. A. Topalidi* // Road transport . - Kharkov, HGADTU . - 2000 . - № 4 - c. 10-13 . **9.** *Andrei A.* Stability of a traffic unit on the basis of mobile energy during braking : Author. dis. on scientific . Ph.D. degree . tehn. Sciences : special. 05.05.03 " Car wash and tractors " / *AV Jibs* . - Minsk , 1993 . - 21 . **10 .** *Koryak O .O.* Udoskonalennya galmivnogo upravlinnya tractor poїzda on bazi kolisnogo small tractor Klas : Author. dis. On zdobuttya Sciences . Candidate stage . tehn. Sciences : special. 05.22.02 . " Avtomobili and tractors " / *O. O. Koryak* . - Harkiv . 1999 . - 20 . **11.** *Rozanov V.* Braking of the car and the train / *V. G. Rozanov* . - 1964 . - 243 p. **12.** *Parfenov A. P.* Some aspects of the dynamics of braking tractor trains : Author. dis. on scientific . Ph.D. degree . tehn. Sciences : special. 05,195 " Car wash and tractors " / *A. P. Parfenov* . - M. , 1964 . - 20.

Поступила (received) 14.03.2014