

## Abstract

### IMPROVING EFFECTIVENESS USE POWER TRACTORS IN THE UNIT WITH VARIABLE MASS AGRICULTURAL MACHINES

M. Shulyak

*The problems of improving the operational efficiency of machine-tractor using agricultural machines with variable mass, by moving the tractor engine at partial speed mode.*

УДК 629.114

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТОРМОЖЕНИЯ ТРАКТОРА С ДВУХОСНЫМ ПРИЦЕПОМ БЕЗ БЛОКИРОВАНИЯ КОЛЕС

Холодов М.П., аспирант

ХНАДУ

*Получена математическая модель процесса торможения тракторного поезда (в составе колесного трактора и двухосного прицепа) на грани блокирования колес. Определены коэффициенты распределения общей тормозной силы тракторного поезда на переднюю, заднюю ось трактора, переднюю и заднюю ось прицепа; с учетом коэффициента устойчивости.*

## Введение

Наряду с автомобильными перевозками широкое распространение получили и тракторные перевозки. Основной комплекс сельскохозяйственных работ, как в нашей стране, так и в других зарубежных странах выполняется колёсными тракторами, не случайно в структуре тракторного парка экономически развитых стран на долю колёсных тракторов приходится 85-95%. т.к. они наиболее полно отвечают возрастающим требованиям сельскохозяйственного производства. Современные колёсные тракторы более универсальны, чем гусеничные имеют меньшую стоимость и эксплуатационные расходы, более высокие транспортные скорости, которые постоянно растут, что влечет за собой ужесточение требований к тормозным свойствам этих машин. Поэтому динамике торможения тракторных поездов посвящено значительное количество монографий, статей и диссертаций.

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

## Анализ последних достижений и публикаций

Выбор распределения тормозных сил между осями оказывает существенное влияние на эффективность торможения, устойчивость и управляемость колесных машин. Наилучшее сочетание показателей указанных свойств реализуется при торможении либо с незаблокированными колесами, либо с колесами, находящимися на пределе блокирования [1,2,3]. При выборе распределения тормозных сил также необходимо учитывать, курсовую устойчивость при торможении этому вопросу посвящено большое количество работ [4,6] и предложен коэффициент устойчивости [5].

### Цель и постановка задачи

Целью исследования является выбор рационального распределения тормозных сил между осями тракторного поезда (в составе колесного трактора и двухосного 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 двухосного прицепа – 2-ПТС 12, обеспечивающих торможение на пределе блокирования колес.

### Курсовая устойчивость трактора с двухосным прицепом при торможении

На рис. 1 показана расчетная схема сил, действующих на тракторный поезд при торможении с незаблокированными колесами.

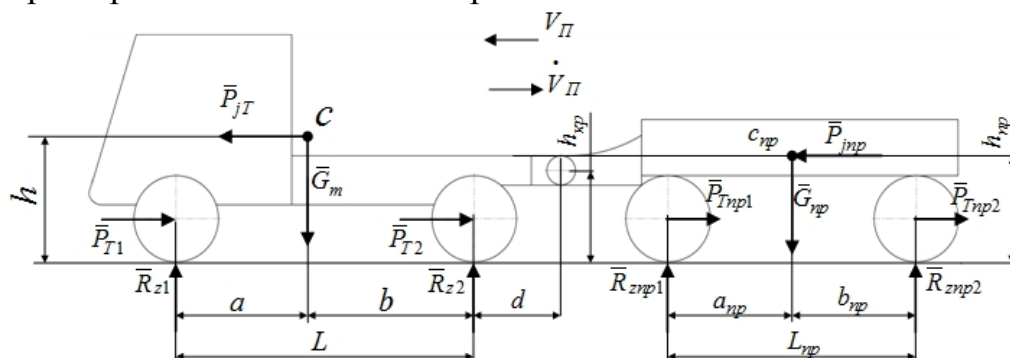


Рис. 1. - Схема сил, действующих на тракторный поезд при торможении с незаблокированными колесами:

$a, b, a_{np}, b_{np}$  - 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;  $R_{z1}, R_{z2}, R_{znp1}, R_{znp2}$  - суммарные нормальные реакции дороги на передней, задней осях трактора, передней и задней осях прицепа;  $r_{o1}, r_{o2}, r_{onp1}, r_{onp2}$  - динамические радиусы передних, задних колес трактора, передних и задних колес прицепа;  $h$  - высота центра масс трактора;  $L$  - продольная колесная база трактора;  $h_{кр}$  - высота соединительного шарнира звеньев тракторного поезда.  $G_T, G_{ПП}$  - общий вес трактора и прицепа, соответственно.

Для тракторного поезда коэффициент устойчивости при торможении будет равен:

$$K_{уст} = \frac{M_{смб}^{II}}{M_{возм}^{II}} = \frac{R\delta_2 b + R\delta_{np1} a_{np}}{R\delta_1 a + R\delta_{np2} b_{np}} \quad (1)$$

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

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

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

$$R\delta_{np1} = \sqrt{\varphi^2 R_{znp1}^2 - \beta_{np1}^2 \frac{(G_{mp} + G_{np})^2}{g^2} \cdot j_{II}^2} ; \quad (4)$$

$$R\delta_{np2} = \sqrt{\varphi^2 R_{znp2}^2 - \beta_{np2}^2 \frac{(G_{mp} + G_{np})^2}{g^2} \cdot j_{II}^2} . \quad (5)$$

$\beta_1, \beta_2, \beta_{np1}, \beta_{np2}$  - коэффициент распределения общей тормозной силы тракторного поезда на переднюю, заднюю ось трактора, переднюю и заднюю ось прицепа.

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

$$R_{z1} = G_T \frac{b}{L} + P_{ТП} \left( \frac{\frac{h - h_{кр}}{L}}{1 + G_{np} / G_T} + \beta_1 \frac{h_{кр} - r_{\delta 1}}{L} + \beta_2 \frac{h_{кр} - r_{\delta 2}}{L} \right) ; \quad (6)$$

$$R_{z2} = G_T \frac{a}{L} - P_{ТП} \left( \frac{\frac{h - h_{кр}}{L}}{1 + G_{np} / G_T} + \beta_1 \frac{h_{кр} - r_{\delta 1}}{L} + \beta_2 \frac{h_{кр} - r_{\delta 2}}{L} \right) ; \quad (7)$$

$$R_{znp1} = G_{np} \frac{b_{np}}{L_{np}} + P_{ТП} \left( \frac{\frac{h_{np} - h_{кр}}{L_{np}}}{1 + G_T / G_{np}} + \beta_{np1} \frac{h_{кр} - r_{\delta np1}}{L_{np}} + \beta_{np2} \frac{h_{кр} - r_{\delta np2}}{L_{np}} \right) ; \quad (8)$$

$$R_{znp2} = G_{np} \frac{a_{np}}{L_{np}} - P_{III} \left( \frac{\frac{h_{np} - h_{kp}}{L_{np}}}{1 + G_T / G_{np}} + \beta_{np1} \frac{h_{kp} - r_{\partial np1}}{L_{np}} + \beta_{np2} \frac{h_{kp} - r_{\partial np2}}{L_{np}} \right). \quad (9)$$

Замедление тракторного поезда на пределе блокирования колес

$$j_{III1} = \frac{g \cdot P_{III}}{(G_T + G_{III})} = \frac{\varphi \cdot g}{1 + \frac{G_{III}}{G_T}} \cdot \frac{\frac{b}{L}}{\beta_1 \left( 1 - \varphi \frac{h_{kp} - r_{\partial 1}}{L} \right) - \varphi \left( \frac{\frac{h - h_{kp}}{L}}{1 + \frac{G_{III}}{G_T}} + \beta_2 \frac{h_{kp} - r_{\partial 2}}{L} \right)}; \quad (10)$$

$$j_{III2} = \frac{g \cdot P_{III}}{(G_T + G_{III})} = \frac{\varphi \cdot g}{1 + \frac{G_{III}}{G_T}} \cdot \frac{\frac{a}{L}}{\beta_2 \left( 1 + \varphi \frac{h_{kp} - r_{\partial 2}}{L} \right) + \varphi \left( \frac{\frac{h - h_{kp}}{L}}{1 + \frac{G_{III}}{G_T}} + \beta_1 \frac{h_{kp} - r_{\partial 1}}{L} \right)}; \quad (11)$$

$$j_{IIIp1} = \frac{\varphi \cdot g}{1 + \frac{G_T}{G_{III}}} \cdot \frac{\frac{b_{np}}{L_{np}}}{\beta_{np1} \left( 1 - \varphi \frac{h_{kp} - r_{\partial np1}}{L_{np}} \right) - \varphi \left( \beta_{np2} \frac{h_{kp} - r_{\partial np2}}{L_{np}} + \frac{h_{np} - h_{kp}}{L_{np} \left( 1 + \frac{G_T}{G_{III}} \right)} \right)}; \quad (12)$$

$$j_{IIIp2} = \frac{\varphi \cdot g}{1 + \frac{G_T}{G_{III}}} \cdot \frac{\frac{a_{np}}{L_{np}}}{\beta_{np2} \left( 1 + \varphi \frac{h_{kp} - r_{\partial np2}}{L_{np}} \right) + \varphi \left( \beta_{np1} \frac{h_{kp} - r_{\partial np1}}{L_{np}} + \frac{h_{np} - h_{kp}}{L_{np} \left( 1 + \frac{G_T}{G_{III}} \right)} \right)}; \quad (13)$$

$P_{III}$  - общая тормозная сила тракторного поезда,

$$P_{III} = \frac{G_T + G_{III}}{g} \cdot j_{III}. \quad (14)$$

## Выбор рационального распределения тормозных сил трактора с двухосным прицепом

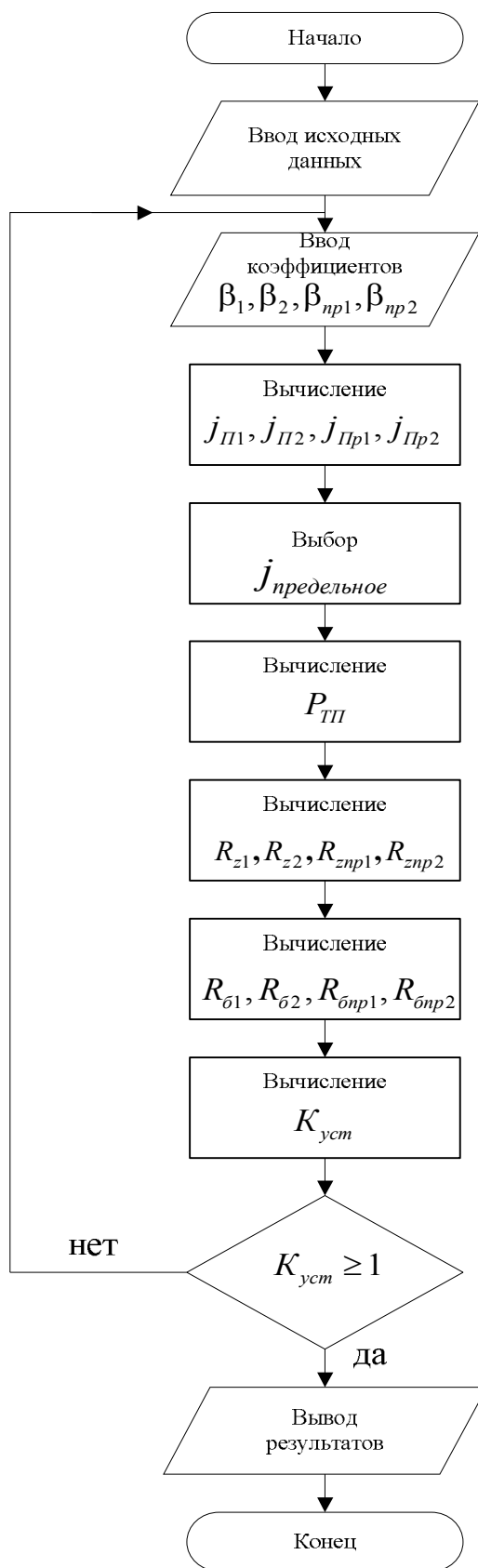


Рис. 2. – Алгоритм выбора распределения тормозных сил между осями тракторного поезда с двухосным прицепом



Рис. 3. – а – трактор ХТЗ-17221; б – прицеп 2-ПТС 12

Таблица 1 – технические характеристики трактора ХТЗ-17221 и прицепа 2-ПТС 12

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	задние	передние	$r_{o_2} = r_{cm_2}, м$	$r_{o_1} = r_{cm_1}, м$	$h_{кр}, м$	$b_{пр}, м$	$L_{пр}, м$
2-ПТС 12	445/65R22.5	445/65R22.5	0,4	0,4	0,6	1,565	4.7

Таблица 2 – Расчет значений коэффициента распределения тормозных сил между осями трактора ХТЗ-17221 с двухосным прицепом 2-ПТС 12

Модель трактора	$\beta$	$\phi$							
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
ХТЗ-17221 (с двухосным прицепом без груза)	$\frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2}$	0,636	0,643	0,651	0,659	0,666	0,673	0,679	0,688
	$\beta_1$	0,368	0,372	0,377	0,381	0,385	0,389	0,393	0,398
	$\beta_2$	0,21	0,206	0,202	0,197	0,193	0,189	0,185	0,18
	$\beta_{пр1}$	0,148	0,155	0,162	0,17	0,177	0,185	0,192	0,199
	$\beta_{пр2}$	0,274	0,267	0,259	0,252	0,245	0,237	0,23	0,223
ХТЗ-17221 (с двухосным прицепом полностью груженный)	$\frac{\beta_{пр1}}{\beta_{пр1} + \beta_{пр2}}$	0,637	0,644	0,652	0,659	0,666	0,675	0,682	0,689
	$\beta_1$	0,271	0,274	0,278	0,281	0,284	0,287	0,29	0,293
	$\beta_2$	0,154	0,151	0,148	0,145	0,142	0,138	0,135	0,132
	$\beta_{пр1}$	0,201	0,211	0,221	0,231	0,241	0,252	0,262	0,272
	$\beta_{пр2}$	0,374	0,364	0,353	0,343	0,333	0,323	0,313	0,303

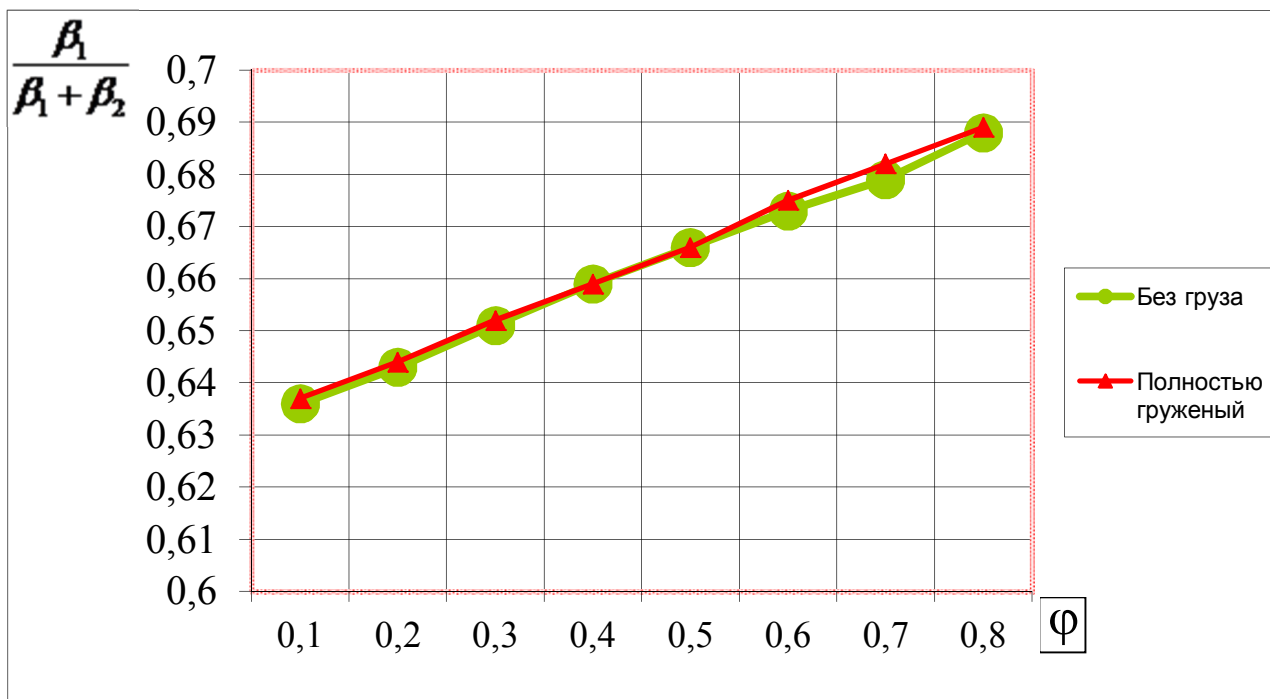


Рис. 4. – Зависимость  $\frac{\beta_1}{\beta_1 + \beta_2}$  от коэффициента сцепления  $\varphi$  трактора с двухосным прицепом ХТЗ – 17221.

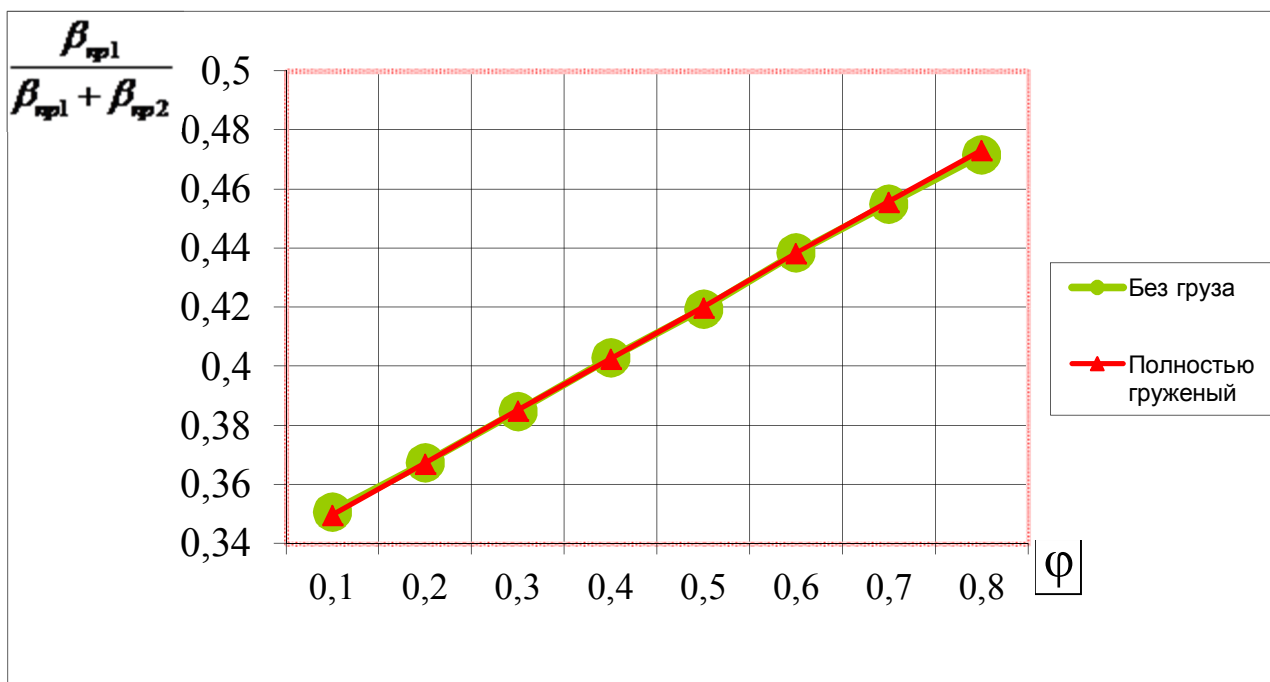


Рис. 5. – Зависимость  $\frac{\beta_{np1}}{\beta_{np1} + \beta_{np2}}$  от коэффициента сцепления  $\varphi$  трактора с двухосным прицепом ХТЗ – 17221.

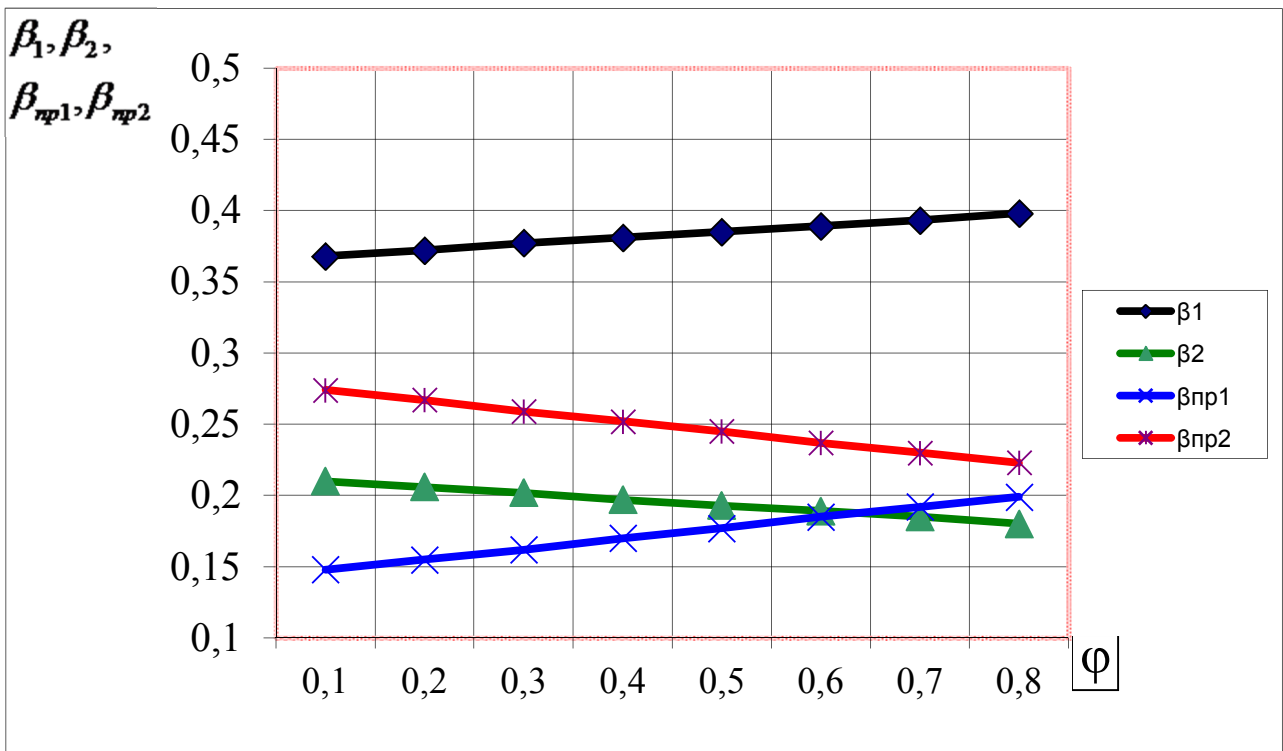


Рис. 6. – Зависимость  $\beta_1, \beta_2, \beta_{np1}, \beta_{np2}$  от коэффициента сцепления  $\varphi$  трактора с двухосным прицепом без груза ХТЗ – 17221.

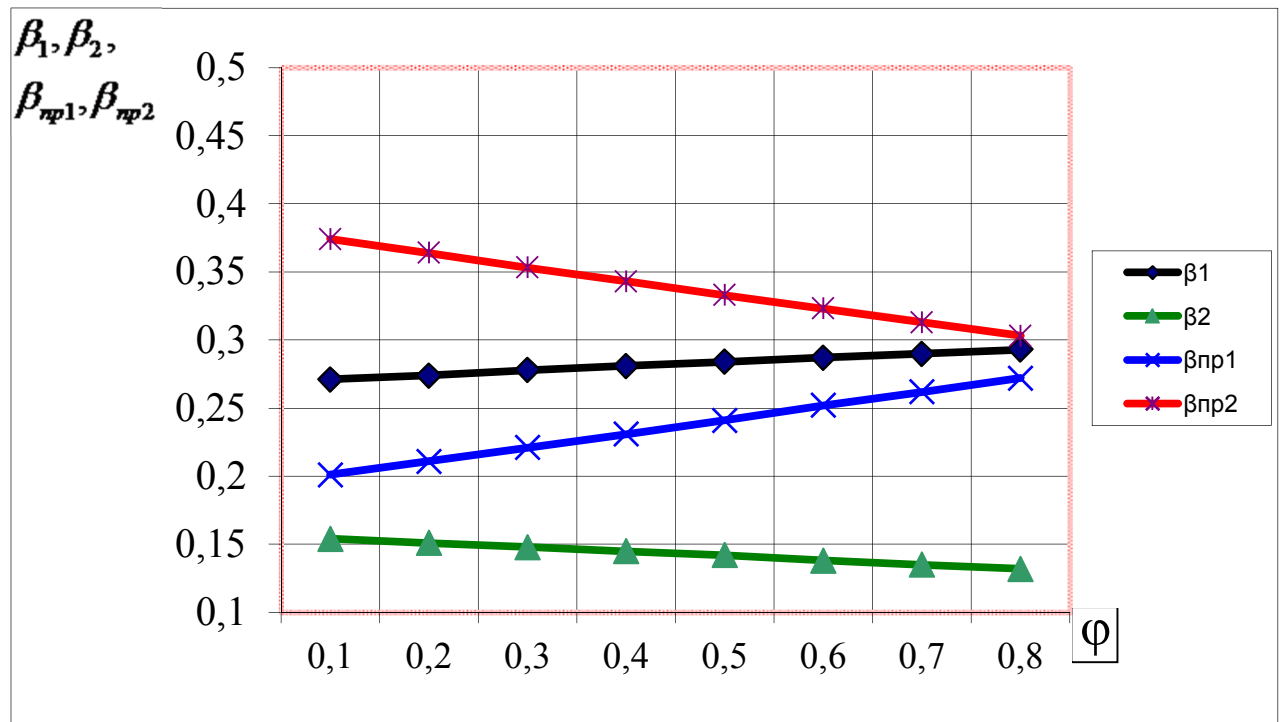


Рис. 7. – Зависимость  $\beta_1, \beta_2, \beta_{np1}, \beta_{np2}$  от коэффициента сцепления  $\varphi$  трактора с двухосным прицепом полностью груженный ХТЗ – 17221.



## **Выводы**

1. Полученные результаты позволяют определить влияние распределения общей тормозной силы между осями на показатели эффективности торможения и курсовой устойчивости тракторного поезда.

2. Предложенная методика позволяет определять коэффициенты распределения тормозных сил между осями тракторного поезда (в составе двухосного прицепа) при условии отсутствия блокирования колес во всем диапазоне коэффициентов сцепления  $\varphi$ . Это необходимо учитывать на стадии проектирования тракторных поездов.

3. С ростом коэффициента сцепления  $\varphi$  колес с дорогой возрастает распределение тормозных сил на переднюю ось, как трактора, так и прицепа. Наличие груза в прицепе оказывает незначительное влияние на распределение тормозных сил не более чем на 5%

## **Список использованных источников**

1. Подригало М.А. Влияние блокировки колес на эффективность торможения колесных тракторов классической компоновки. / М.А. Подригало, Б.В. Савченков, 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. 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.
3. Подригало М.А. Выбор распределения тормозных сил между осями колесных тракторов // М.А. Подригало, В.П. Волков, Павленко, М.П. Холодов // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля науковий журнал № 6 Луганськ 2011 6 – 16. с.
4. Подригало М.А. Устойчивость колесных машин при торможении. М.А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Кирчатый – Харьков: Изд-во ХГАДТУ. 1999. – 93 с.
5. Подригало М.А., Клец Д.М. Определение устойчивости автомобиля против заноса при движении в тяговом режиме // Вісник НТУ «ХП». – Вип. 12 «Автомобіле- та тракторобудування», 2007. – с. 127-136.
6. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. / Д.А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1978. –216 с.

## **Аннотация**

### **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ГАЛЬМУВАННЯ ТРАКТОРА З ДВОВІСНИМ ПРИЧЕПОМ БЕЗ БЛОКУВАННЯ КОЛІС**

Холодов М.

*Отримана математична модель процесу гальмування тракторного поїзда (у складі колісного трактора і двовісного причепа) на межі блокування*

коліс. Визначено коефіцієнти розподілу загальної гальмівної сили тракторного поїзда на передню, задню вісі трактора, передню і задню вісі причепа; з урахуванням коефіцієнта стійкості.

*Ключові слова:* розподілу гальмівних сил, тракторний поїзд, динаміка, гальмування, причіп, трактор.

## **Abstract**

### **MODELING DYNAMICS OF TRACTOR WITH BRAKING AXLE TRAILER WITHOUT WHEEL LOCKING**

M. Kholodov

*A mathematical model of the process of braking tractor train (consisting of the wheel and axle trailer tractor) on the verge of locking the wheels. The coefficients of the overall distribution of braking force to the front tractor train, tractor rear axle, front and rear axle of the trailer, taking into account the stability factor.*

*Keywords:* brake force distribution, tractor train dynamics, braking, trailer, tractor.

**УДК 631.31**

### **ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВИХ ПОКАЗНИКІВ БЛОЧНО-МОДУЛЬНИХ ТЯГОВО-ПРИВОДНИХ АГРЕГАТІВ**

**Макаренко М.Г., доц., Макаренко О.М., інж., Григораш О. Г., магістр**

*Харківський національний технічний університет  
сільськогосподарства імені Петра Василенка*

*Обґрунтовується використання тягово-приводних комбінованих агрегатів. Розглянуті питання по раціональному співвідношенню між масами тягового засобу і сільгоспмашин для систем розосередженого приводу з позицій енергетичного критерію.*

**Вступ.** Останнім часом спостерігається установка на трактори більш потужних двигунів без істотних змін маси. Поліпшення зчіпних властивостей ходових систем колісних тракторів традиційними методами не вирішують корінним чином проблему невідповідності рівня енергонасиченості трактора технологічним можливостям пасивних робочих органів знарядь. Підвищення ефективності використання МТА необхідно здійснювати перш за все за рахунок використання розосередженого приводу та вдосконалення передавальних елементів.

Енергонасичені колісні трактори можна використовувати більш продуктивно, якщо частину енергії двигуна передавати через систему валу відбору потужності (ВВП) трактора до активних робочих органів сільськогосподарських знарядь або до додаткових рушіїв. Розв'язок проблем, що виникають при цьому, сприяє процесу удосконалення як самого трактора,