

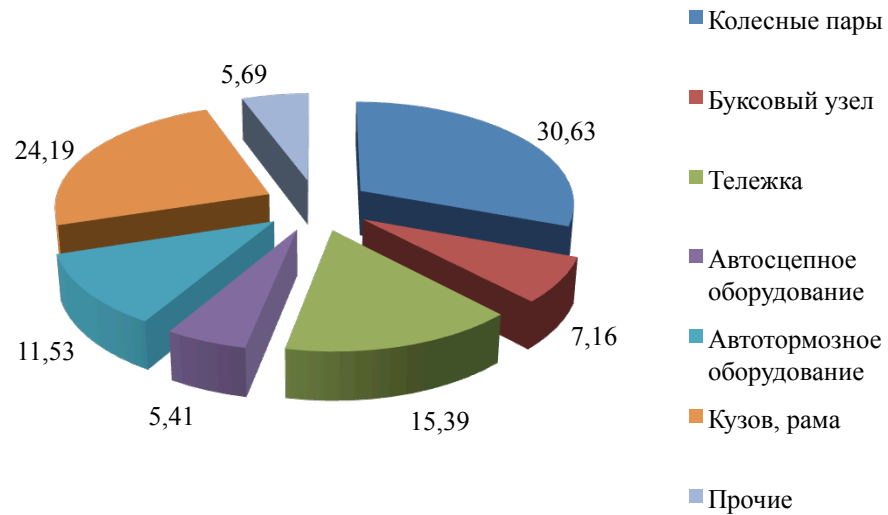
Комплексная оценка параметров тормозной системы  
грузовых вагонов из условия недопущения  
юза колесной пары

Докладчик: Андреев Павел Александрович (МИИТ)

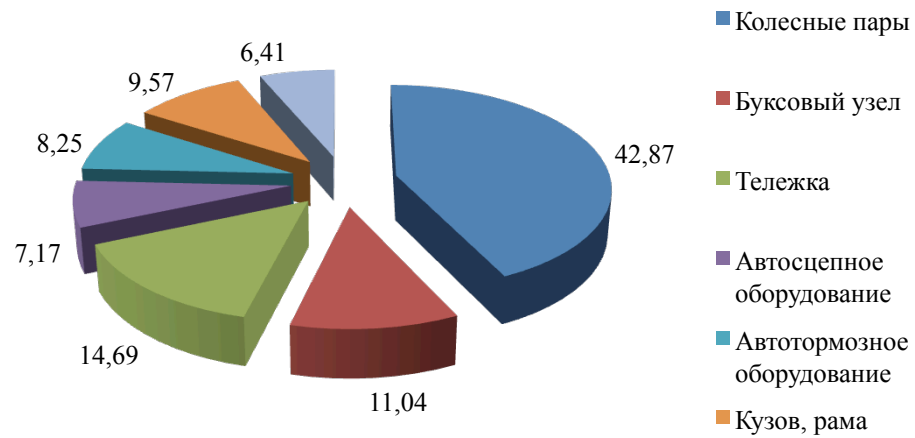
# ПЛАКАТ 1

## Данные по отцепкам грузовых вагонов в текущий ремонт вследствие неисправностей их основных узлов

2006 год



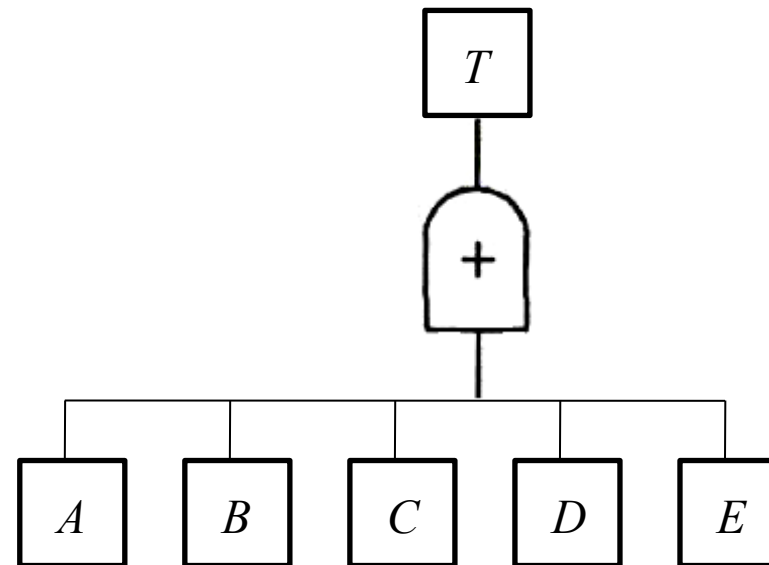
2007 год



## ПЛАКАТ 2

### Вершинное событие $T$ и его взаимосвязь с событиями следующего уровня

$T = \{ \text{Тормозная система поезда не обеспечивает достаточную эффективность управления, безаварийность эксплуатации, требуемую работоспособность агрегатов и сохранность груза} \}$



$A = \{ \text{Нарушение рабочего цикла тормозной системы поезда (ТСП)} \};$

$B = \{ \text{Необеспечение потребной эффективности рабочего цикла ТСП} \};$

$C = \{ \text{Неравномерность и величина осевых усилий в составе превышает допустимую величину} \};$

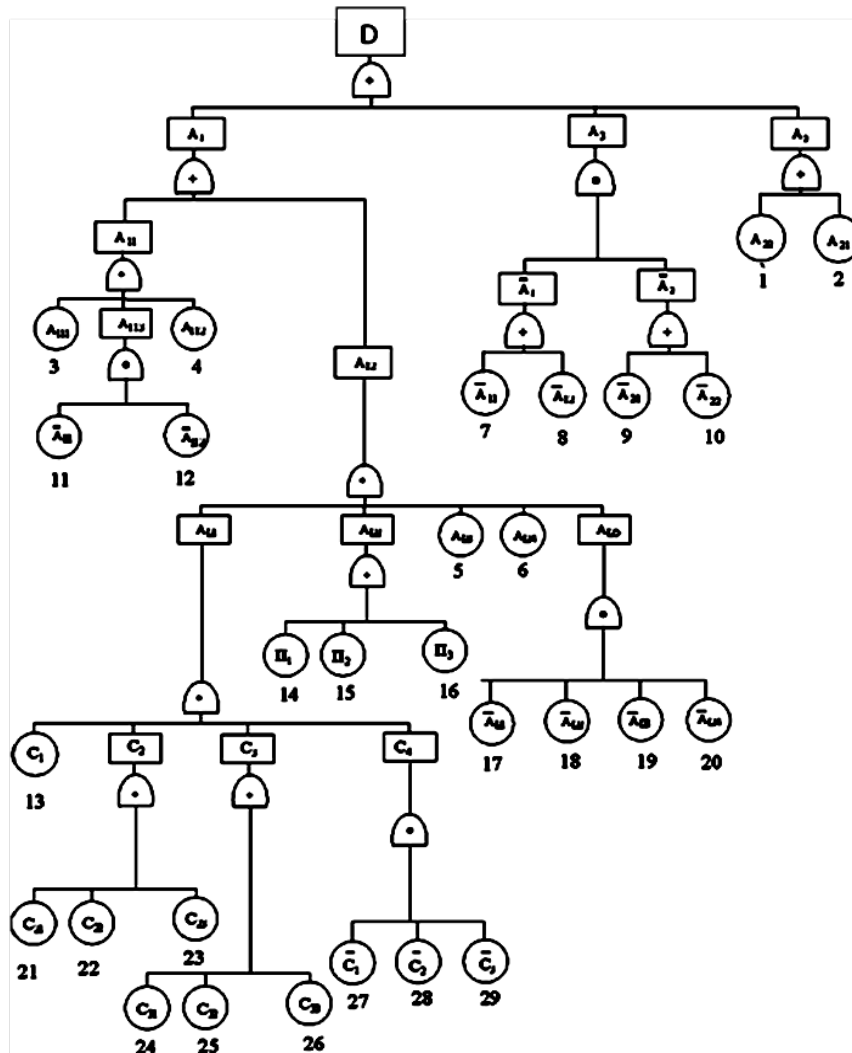
$D = \{ \text{Имеет место юз колесной пары хотя бы одного вагона} \};$

$E = \{ \text{Неэффективное использование тормозных колодок} \}.$

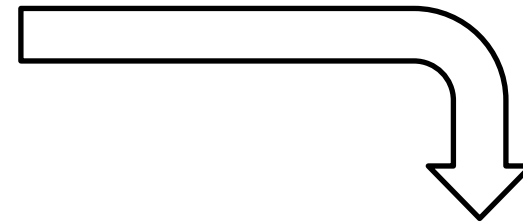
# ПЛАКАТ 3

## Наработки по событию D

Ветвь дерева событий с вершинным D



Преобразование

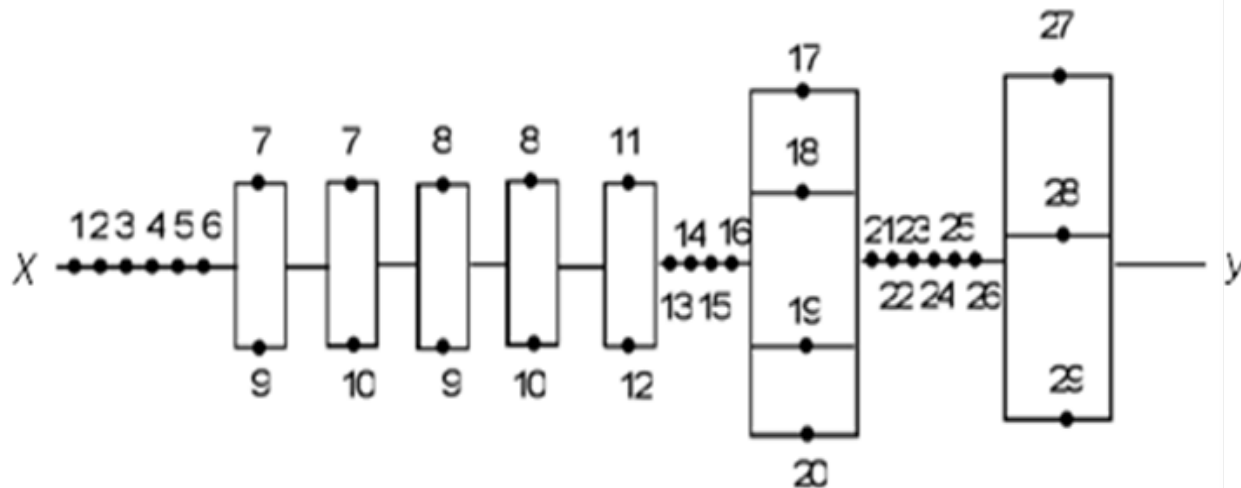


Математическая модель оценки вероятности  $F(D)$  юза колесной пары при условии равной вероятности ( $p$ ) появления всех элементарных событий

$$F(D) = 1 - (1-p)^6(1-p^2)^5(1-p)^4(1-p^4)(1-p)^6(1-p^3)$$

# ПЛАКАТ 4

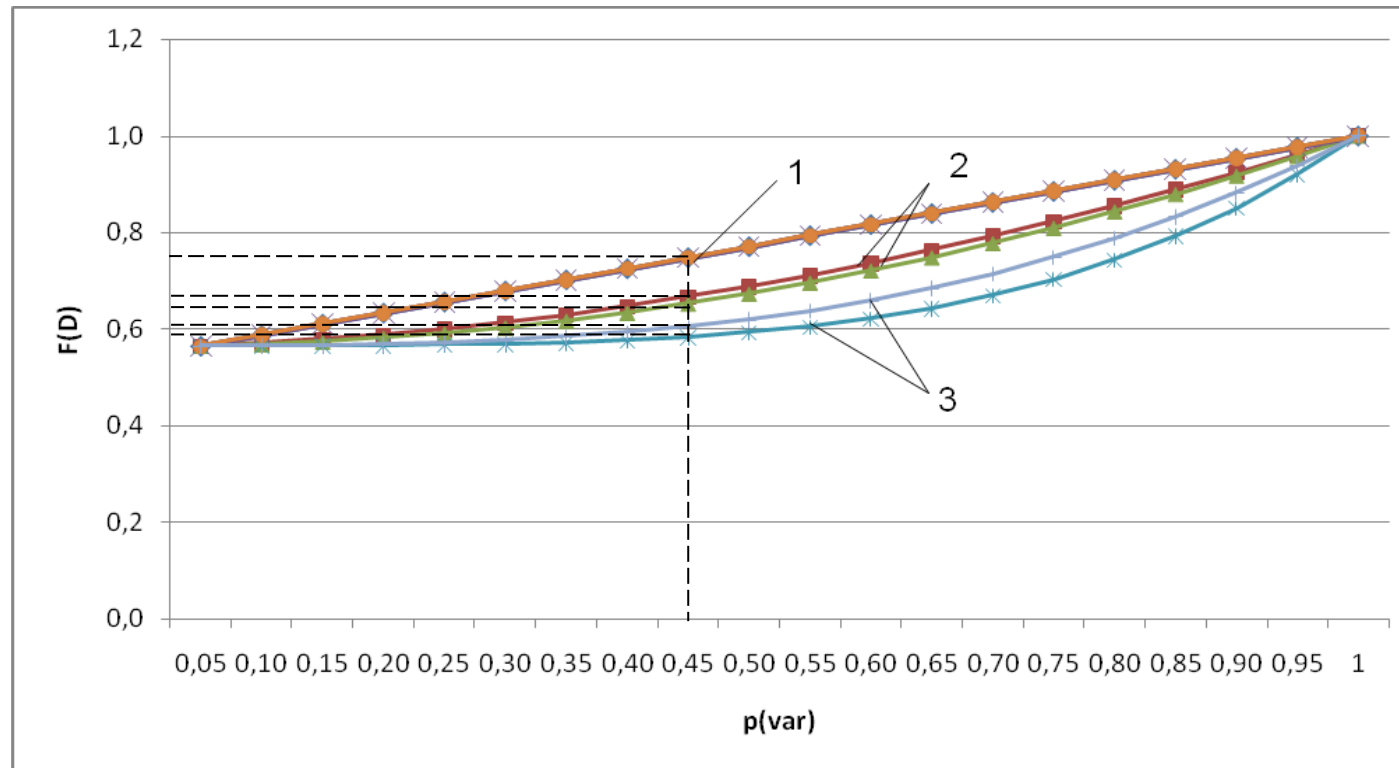
## Группировка элементарных событий по структуре связи



№ блока	Исходный перечень событий	Структура связи событий
1	D1 – D6	Последовательная
2	D7 – D12	Последовательно-параллельная
3	D13 – D16	Последовательная
4	D17 – D20	Параллельная
5	D21 – D26	Последовательная
6	D27 – D29	Параллельная

## ПЛАКАТ 5

Сравнительный анализ зависимостей вероятности  $F(D)$  вершинного события  $D$  от вероятностей  $p(\text{var})$  элементарных событий  $D_i$  с различными типами взаимосвязи в дереве



- 1 – варьируемая вероятность имеет последовательную взаимосвязь;
- 2 – варьируемые вероятности имеют последовательно-параллельную взаимосвязь;
- 3 – варьируемые вероятности имеют параллельную взаимосвязь.

Выполнено ранжирование элементарных событий по уменьшению степени воздействия на вероятность  $F(D)$

## ПЛАКАТ 6

**Уточнение исходного перечня элементарных событий из условия их принадлежности к тормозной системе грузовых вагонов без учета человеческого фактора**

Исходный перечень элементарных событий :  $D1 \div D29$

Элементарные события, неучтенные на уровне ввода исходных данных:  $D1, D2, D5, D7 \div D10, D13, D15, D16, D19, D23, D27$

Неучтенные события охватывают: неисправности в подшипниках букс, попадание между колесом и рельсом посторонних предметов, несоответствие режима работы автотормоза загрузке вагона (ручное переключение режимов), ошибки машиниста, неправильную регулировку рычажной передачи и авторежима.

## ПЛАКАТ 7

### Формулировки элементарных событий первого блока (блок 1) с последовательным типом связи

- $D3 = \{ \text{Уменьшение коэффициента сцепления между колесом и рельсом на величину, превышающую допустимое значение} \};$
- $D4 = \{ \text{Имеет место обезгрузка колесной пары на величину, превышающую допустимую} \};$
- $D6 = \{ \text{Нештатное перемещение обрессоренных частей вагона на величину, превышающую критическое значение} \}.$



## ПЛАКАТ 8

### Формализация условий наступления событий $D3, D4, D6$

Для формализации выделен параметр  $\Delta\psi$ , определяемый как разница расчетного и реализуемого коэффициентов сцепления :

$$\Delta\psi = [\psi_p] - \delta_r \varphi_{кр} \geq 0,$$

где:  $\Delta\psi$  – запас по сцеплению из условия невозникновения юза колесной пары;

$[\psi_p]$  – расчетный коэффициент сцепления колеса с рельсом;

$\delta_r \varphi_{кр}$  – реализуемый коэффициент сцепления в паре колодка-колесо.

## ПЛАКАТ 9

### Формализация условий наступления событий $D3, D4, D6$

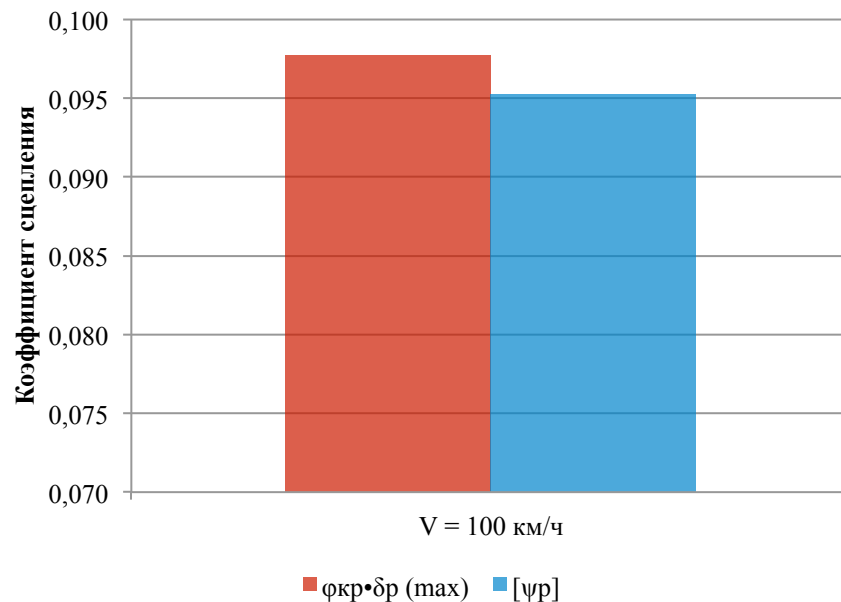
- при нулевом запасе по сцеплению ( $\Delta\psi = 0$ ) для реализации юза посредством любого из элементарных событий  $D3, D4, D6$  достаточно самого явления, отраженного в формулировке любого из них;
- при наличии запаса по сцеплению ( $\Delta\psi > 0$ ) для реализации юза посредством любого из элементарных событий  $D3, D4, D6$  необходимо знать еще и степень их проявления в вероятностном аспекте;
- при реализации условия  $\Delta\psi < 0$  элементарные события  $D3, D4, D6$  не существуют.

# ПЛАКАТ 10      **Количественная оценка запаса по сцеплению $\Delta\psi$ при минимальной загрузке вагона на различных режимах автотормоза**

Наиболее неблагоприятные, с позиции выполнения условия  $\Delta\psi > 0$ , сочетания нормативных значений переменных параметров ТС ( $P_{тц}$ ;  $F_2$ ;  $l_{шт}$ ):

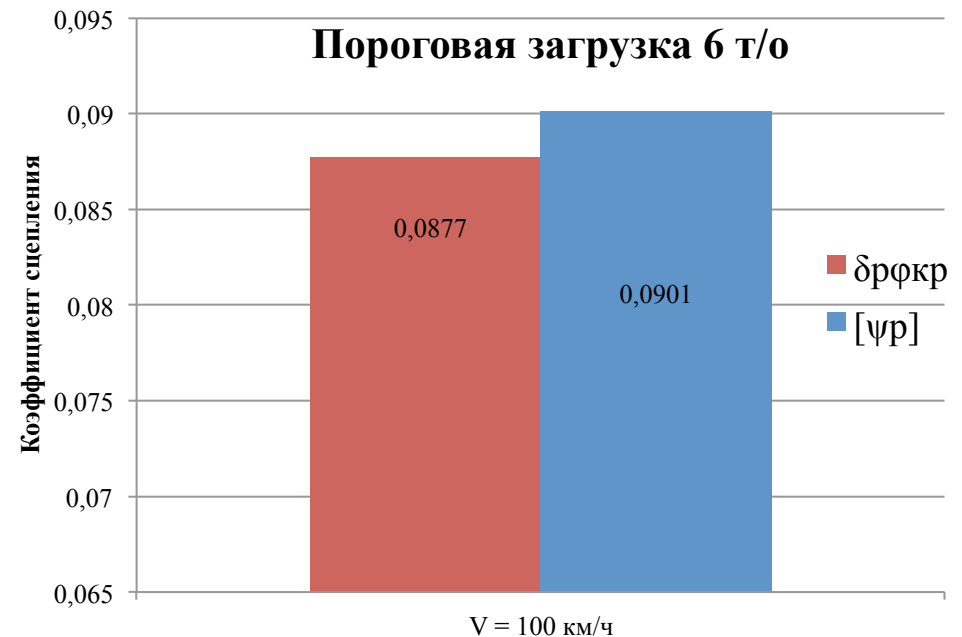
- $P_{тц} = 1,8 \text{ кгс/см}^2$ ;  $F_2 = 90,5 \text{ кгс}$ ;  $l_{шт} = 5 \text{ см}$  (порожний режим);
- $P_{тц} = 3,4 \text{ кгс/см}^2$ ;  $F_2 = 90,5 \text{ кгс}$ ;  $l_{шт} = 5 \text{ см}$  (средний режим).

**Порожний режим автотормоза**



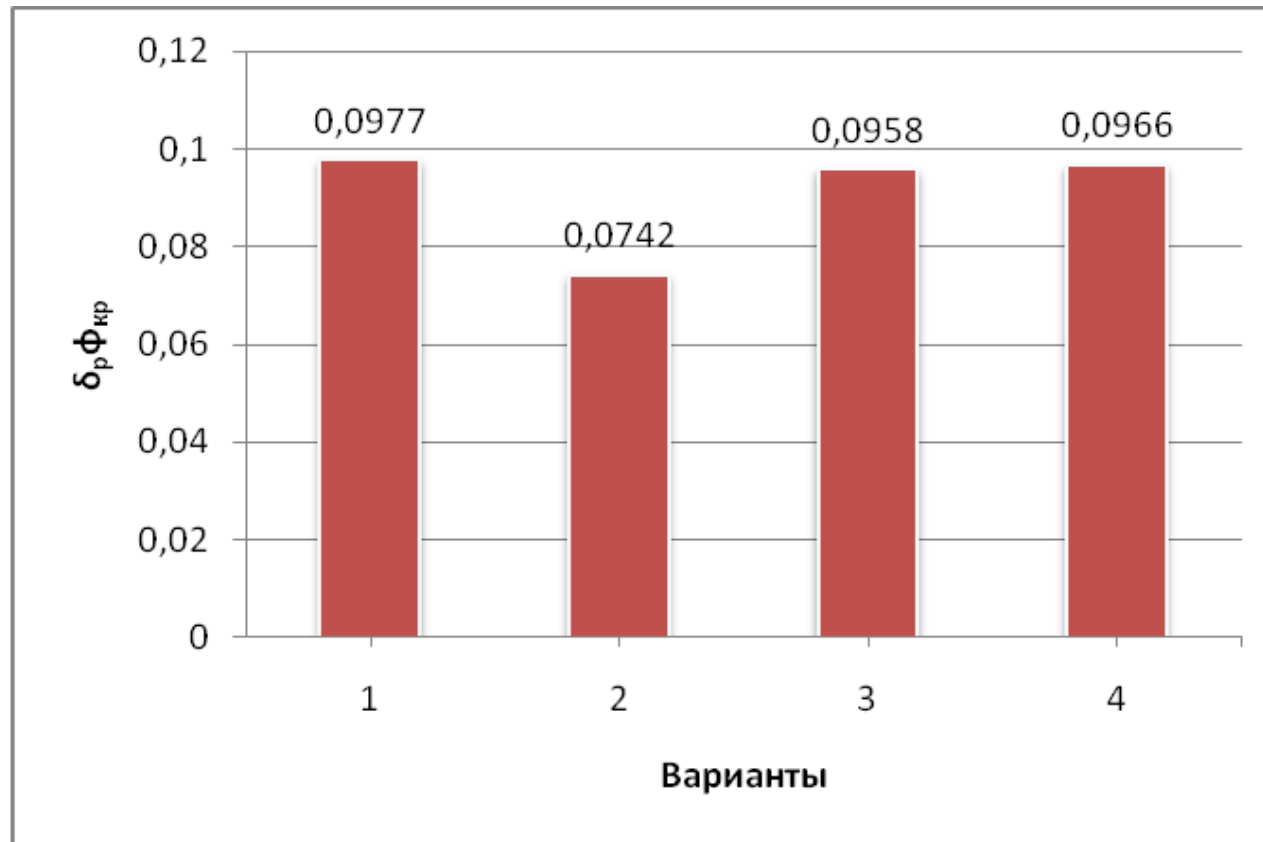
$$\Delta\psi = [\psi_r] - \delta_r \cdot \phi_{кр} < 0$$

**Средний режим автотормоза**



$$\Delta\psi = [\psi_r] - \delta_r \cdot \phi_{кр} > 0$$

**ПЛАКАТ11 Оценка влияния переменных параметров тормозной системы грузового вагона на реализуемый коэффициент сцепления**



1 -  $P_{тц} = 1,8 \text{ кгс/см}^2$ ,  $l_{ум} = 5 \text{ см}$ ,  $F_2 = 90,5 \text{ кгс}$ ;

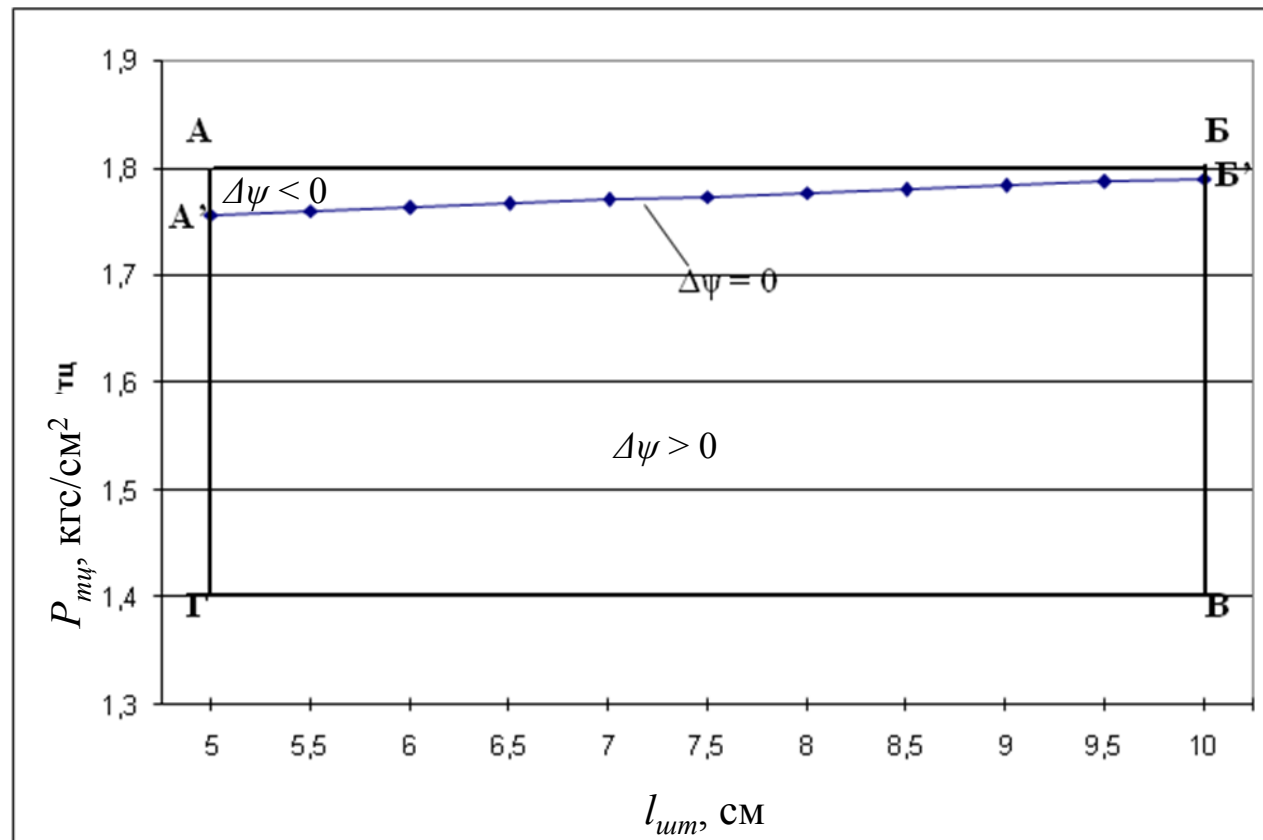
2 -  $P_{тц} = 1,4 \text{ кгс/см}^2$ ,  $l_{ум} = 5 \text{ см}$ ,  $F_2 = 90,5 \text{ кгс}$ ;

3 -  $P_{тц} = 1,8 \text{ кгс/см}^2$ ,  $l_{ум} = 10 \text{ см}$ ,  $F_2 = 90,5 \text{ кгс}$ ;

4 -  $P_{тц} = 1,8 \text{ кгс/см}^2$ ,  $l_{ум} = 5 \text{ см}$ ,  $F_2 = 108,9 \text{ кгс}$ ;

ПЛАКАТ 12

Области сочетаний значений  $P_{тц}$  и  $l_{шт}$ , характеризуемых условиями  $0 \leq \Delta\psi < 0$  наступления событий  $D3, D4, D6$

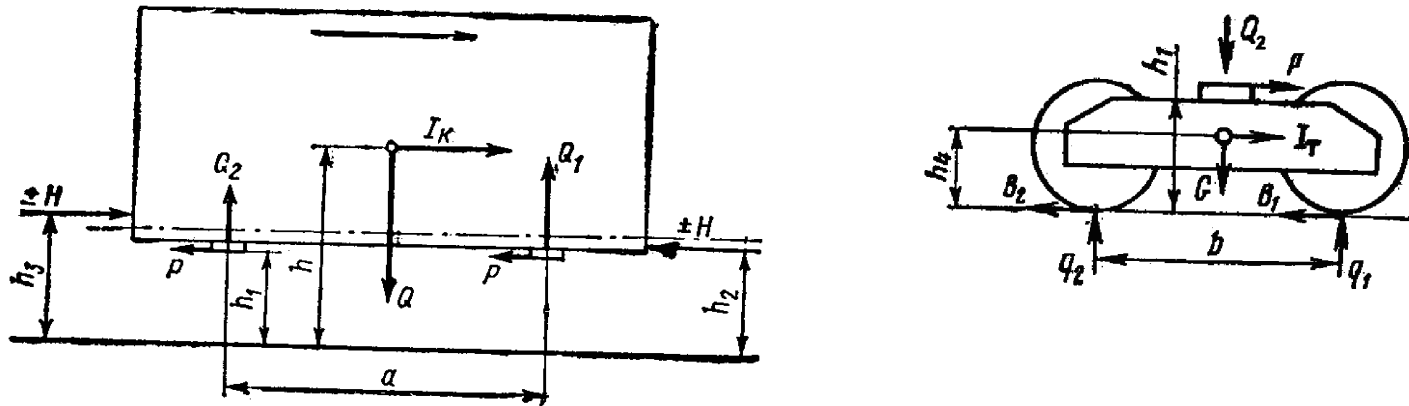


Область выше А'Б' – область свершения нового события  $D30 = \{\text{Значение давления в ТЦ реализуется выше критического, но не превышающего нормативное}\}$  из условия  $\Delta\psi < 0$ .

Область ниже А'Б' вместе с самой линией А'Б' – область свершения событий  $D3, D4, D6$  из условия  $\Delta\psi \geq 0$ .

**ПЛАКАТ 13    Методика оценки влияния обезгрузки колесной пары на запас по допускаемому изменению коэффициента сцепления при торможении вагона на уклоне**

1. Методика определения дополнительных вертикальных усилий, действующих на вагон при торможении:



Цель: определение осевой нагрузки на последнюю по ходу движения вагона колесную пару  $[q_{\text{бзгр}}]$  с учетом обезгрузки

Исходные данные: скорость торможения 100 км/ч; уклон 30 ‰; статическая осевая нагрузка 5,75 т/о; давление в ТЦ 1,75 кгс/см<sup>2</sup>; выход штока ТЦ 5 см; усилие на возвратной пружине авторегулятора 90,5 кгс и т.д.

Результат:  $[q_{\text{бзгр}}] = 5,056$  т/о; обезгрузка  $[\Delta q_{\text{бзгр}}] = 0,694$  т/о.

**ПЛАКАТ 14    Методика оценки влияния обезгрузки колесной пары на запас по допускаемому изменению коэффициента сцепления при торможении вагона на уклоне**

2. Методика типового расчета автотормоза грузовых вагонов:

Определение расчетного коэффициента сцепления:

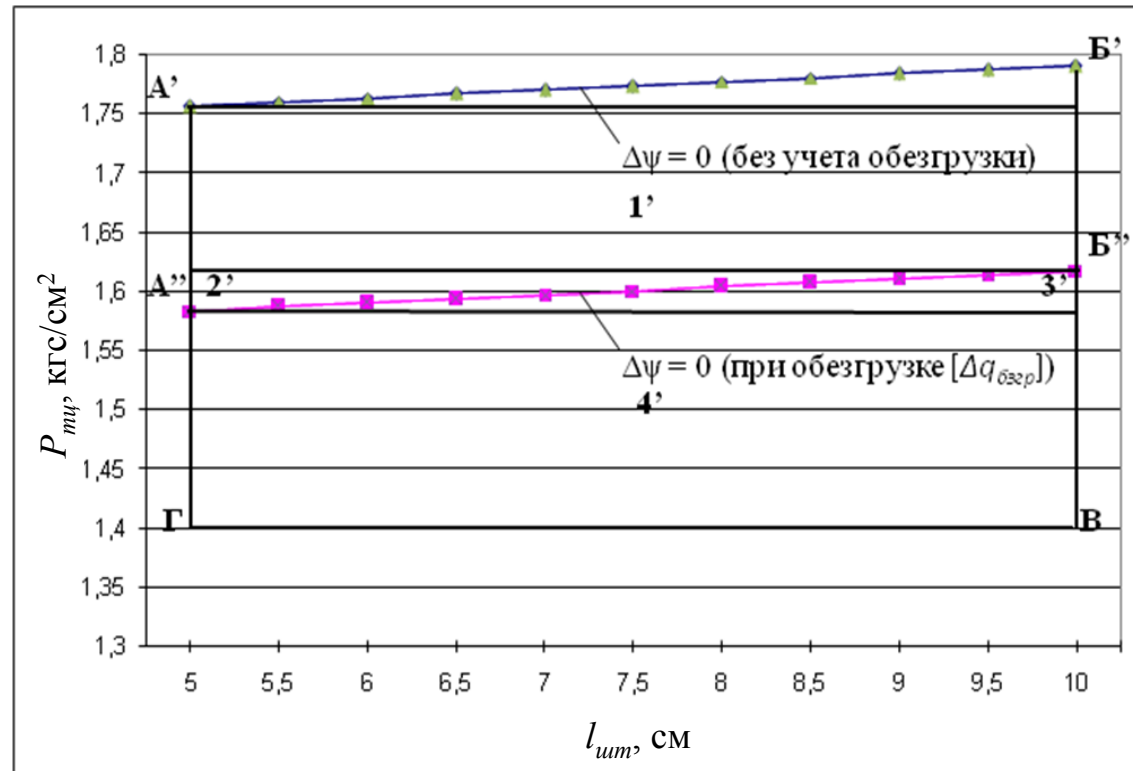
$$[\psi_p] = (0,17 - 0,0015(q_{бзгр} - 5))(V + 81) / (2,4V + 81)$$

Определение реализуемого коэффициента сцепления:

$$\delta_p \varphi_{кр} = 0,36 \frac{mK_p}{q_{бзгр}} \frac{V + 150}{2V + 150}$$

Из условия нулевого запаса по сцеплению  $\Delta\psi = 0$  обосновано уменьшение предельного допускаемого значения  $P_{ми}$  на порожнем режиме с 1,75 до 1,58 кгс/см<sup>2</sup>.

Области существования и вероятностной оценки события  $D4$

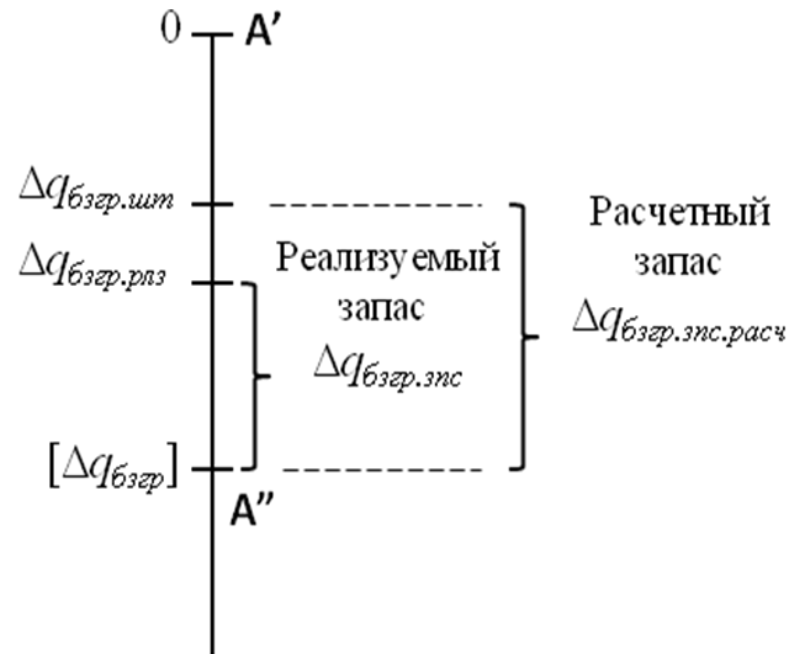


Область А' Б' Б'' А'' характеризуется запасом по сцеплению, сопоставимым с обезгрузкой  $[\Delta q_{обзгр}] = 0,694$  т/о из условия  $\Delta\psi = 0$ , и является областью существования события  $D4$ .

Область А'' Б'' ВГ, характеризуется запасом по сцеплению, перекрывающим обезгрузку  $[\Delta q_{обзгр}] = 0,694$  т/о из условия  $\Delta\psi > 0$ , и является областью вероятностной оценки события  $D4$ .



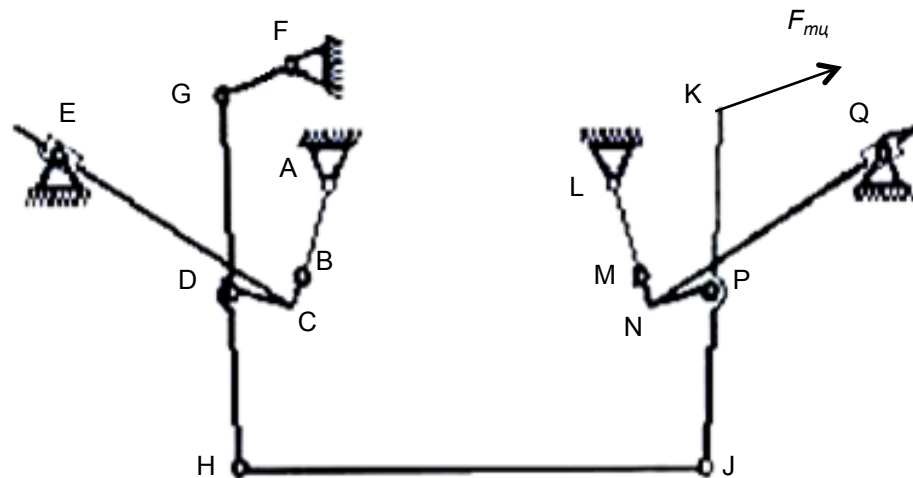
Расчетный запас сцепления на обезгрузку колесной пары



$$\Delta q_{\text{бзгр.зис.расч}} = [\Delta q_{\text{бзгр}}] - \Delta q_{\text{бзгр.шт}}$$

где:  $\Delta q_{\text{бзгр.шт}}$  - штатная детерминированная обезгрузка, учитывающая факторы со значениями благоприятнее предельных, учтенных при определении  $[\Delta q_{\text{бзгр}}] = 0,694 \text{ т/о}$

## Схема исходного механизма рычажной передачи тележки 18-100



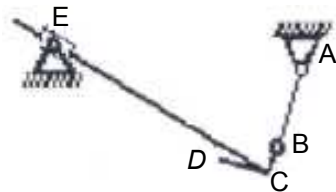
Допущения: плоский механизм, равномерные отвод/прижатие колодок, неучет относительного перемещения обрессоренных и необрессоренных частей рычажной передачи.

Особенности: усилие  $F_{тц}$ , приведенное от тормозного цилиндра, приложено как внешнее к вертикальному рычагу KJ.

# ПЛАКАТ 18

## Обобщенный алгоритм определения положений звеньев механизма РП тележки

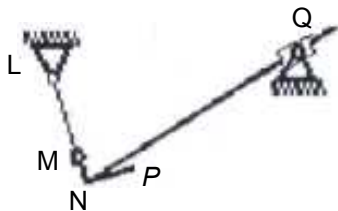
а)



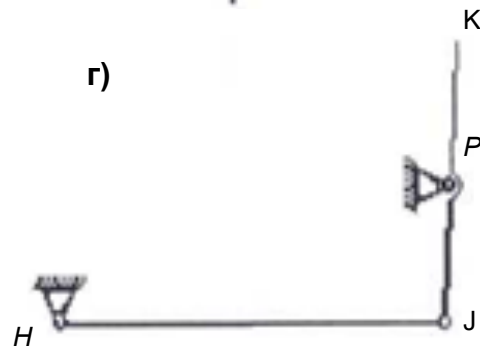
б)



в)



г)



Определение положений звеньев первого узла подвеска – триангель



Определение положений звеньев узла серьга соединения с мертвой точкой – вертикальный рычаг

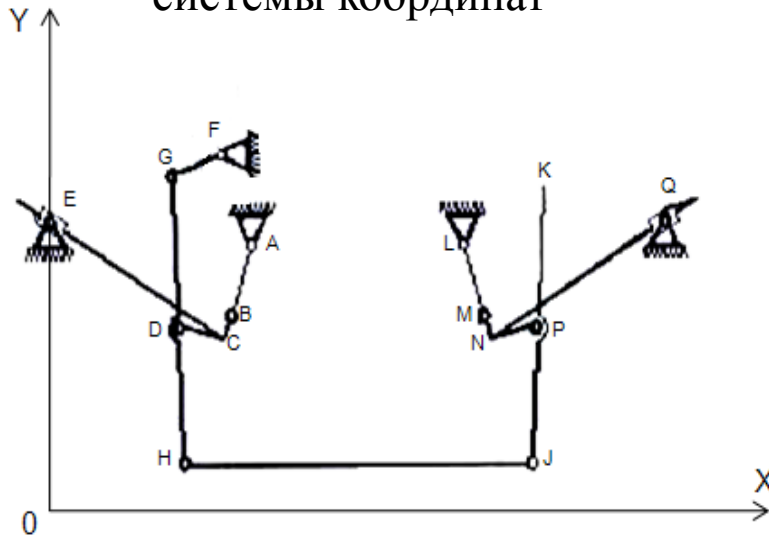


Определение положений звеньев второго узла подвеска – триангель



Определение положений звеньев узла вертикальный рычаг – подсосная тяга

Расположение осей основной системы координат



Формулы переноса  
(местные координаты):

$$x' = x - x_{\Pi}$$

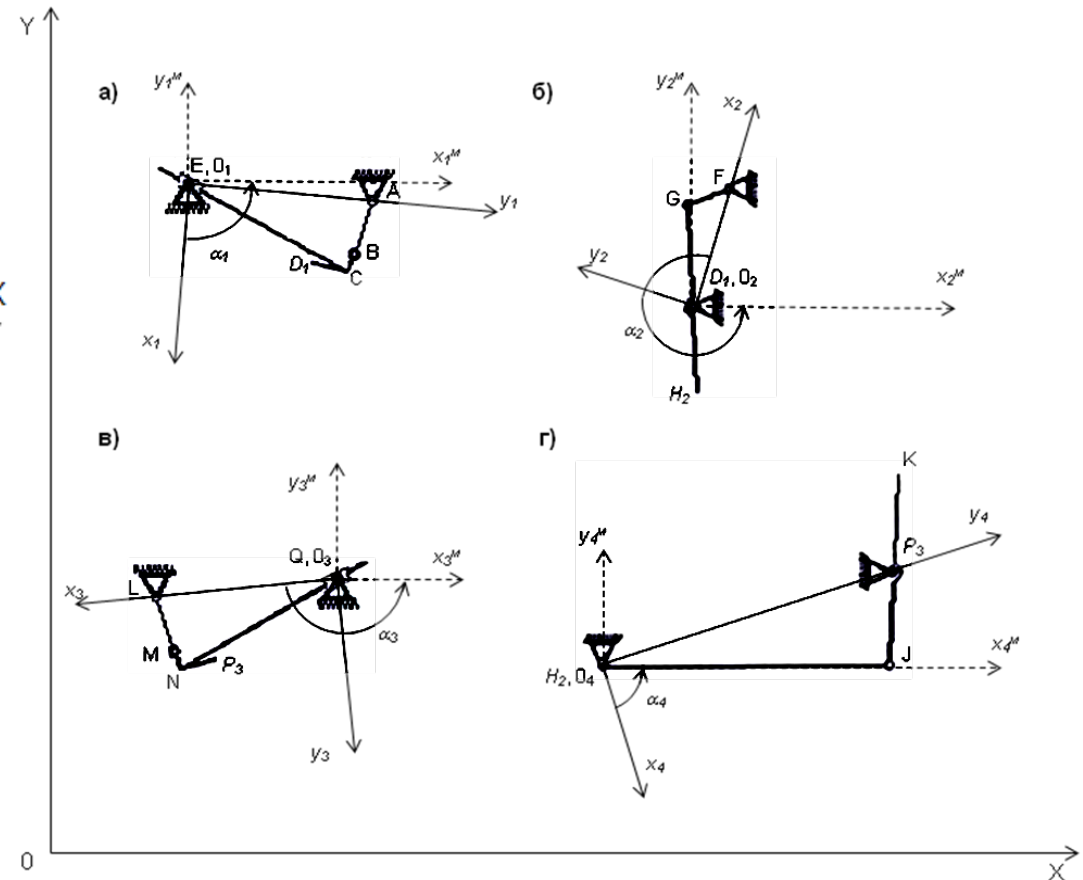
$$y' = y - y_{\Pi}$$

Формулы поворота  
(вспомогательные координаты):

$$x = x' \cos \gamma - y' \sin \gamma$$

$$y = x' \sin \gamma + y' \cos \gamma$$

Расположение осей местных и вспомогательных систем координат



# ПЛАКАТ 20 Результаты проверочного расчета координат кинематических пар

Исходные данные:  $r_k = 47,5$  см;  $h_{TK} = 6,5$  см;  $L_{свз} = 0$  и  $1$  см;  $h_{бшм} = 4,5$  см;  $L_{CD} = L_{NP} = 18,5$  см;  $L_{GF} = 22,7$  см;  $L_{GD} = L_{KP} = 40$  см;  $L_{DH} = L_{PJ} = 16$  см;  $L_{HJ} = 109$  см

## Основные координаты кинематических пар

### Исходные

точка \ координат	X, см	Y, см
A	58,50	68,50
E	0,00	47,50
F	66,50	77,10
L	126,50	68,50
Q	185,00	47,50

### Полученные

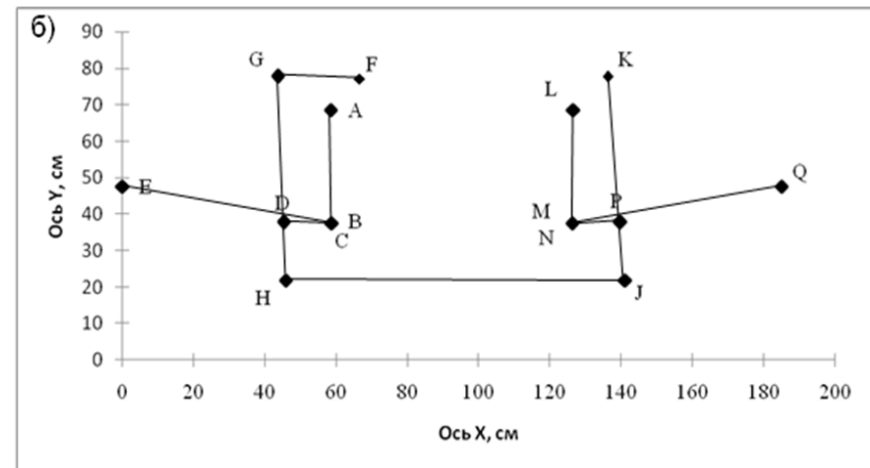
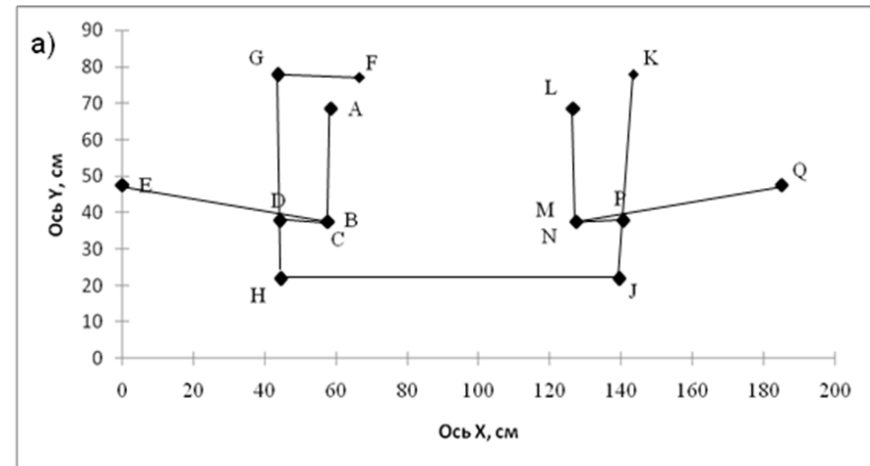
а)  $L_{свз} = 0$  см

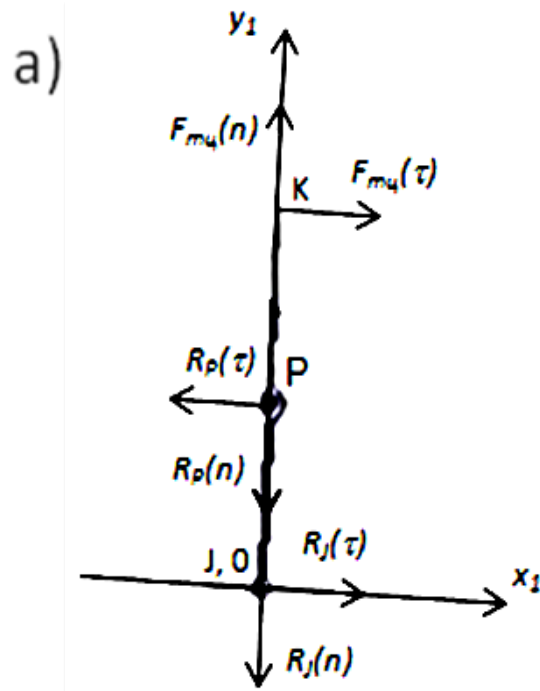
точка \ координат	X, см	Y, см
B	57,71	37,91
C	57,63	37,47
D	44,34	37,90
G	43,81	77,90
H	44,55	21,90
J	139,55	21,90
K	143,43	77,81
M	127,29	37,91
N	127,37	37,47
P	140,66	37,90

б)  $L_{свз} = 1$  см

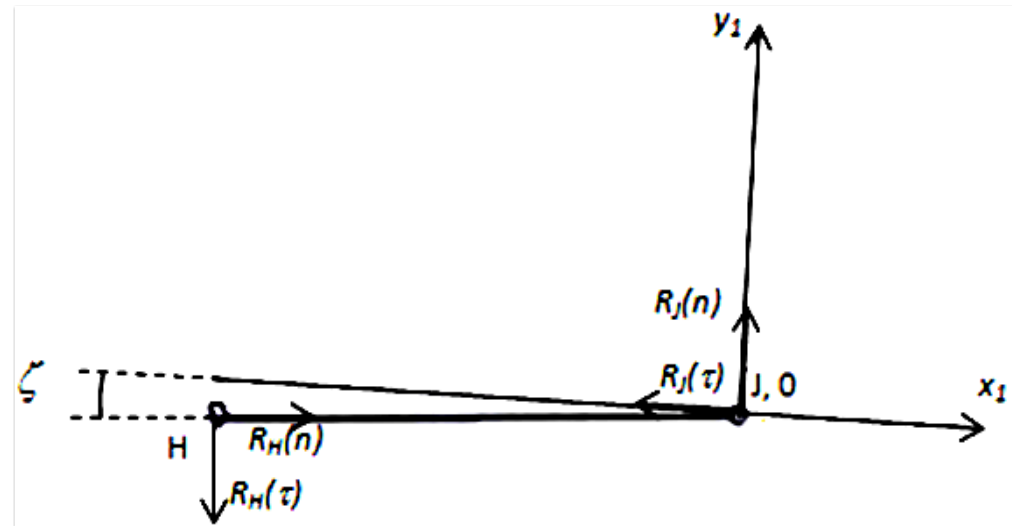
точка \ координат	X, см	Y, см
B	58,72	37,90
C	58,65	37,46
D	45,35	37,86
G	43,81	77,83
H	45,97	21,87
J	140,97	21,87
K	136,35	77,72
M	126,28	37,90
N	126,35	37,46
P	139,65	37,86

## Планы положений ТРП по основным координатам кинематических пар





б)



$$\Sigma M_J(KJ) = -F_{mu}(\tau) \cdot L_{KJ} + R_P(\tau) \cdot L_{PJ} = 0$$

$$\Sigma F_x(KJ) = F_{mu}(\tau) - R_P(\tau) + R_J(\tau) = 0$$

$$\Sigma M_J(HJ) = R_H(\tau) \cdot L_{HJ} = 0$$

$$\Sigma F_x(HJ) = R_H(n)_x + R_H(\tau)_x - R_J(\tau) = 0$$

$$\Sigma F_y(HJ) = R_J(n) + R_H(n)_y - R_H(\tau)_y = 0$$

$$\Sigma F_y(KJ) = F_{mu}(n) - R_P(n) - R_J(n) = 0$$

# ПЛАКАТ 22

## Сводная таблица значений опытных (ВНИИЖТ) и расчетных тормозных нажатий (новые колеса – 95,7 см)

вагоны	Экспериментальные данные (ВНИИЖТ)				Результаты расчета				
					по типовому расчету			по разработанной методике	
	$P_{шт2}$ кгс/см <sup>2</sup>	$l_{шт2}$ см	$K_{д1,тс}$	$K_{д2, тс}$	$K_d$	$K_{д1,тс}$	$K_{д2, тс}$		
цистерна 15-957	1,4	6	0,75	0,72	0,737	0,747	0,74		
	1,4	6	0,7	0,75	0,737	0,747	0,74		
	1,4	6	0,75	0,72	0,737	0,747	0,74		
цистерна 15-1208	1,8	8,5	0,85	0,86	0,998	1,011	1,001		
	1,8	8,5	0,86	0,85	0,998	1,011	1,001		
	1,8	8,5	0,85	0,85	0,998	1,011	1,001		
цистерна 15-1722-1	1,8	7,5	1,02	1,04	1,002	1,015	1,006		
	1,8	7,5	1,04	1,02	1,002	1,015	1,006		
	1,8	7,5	1,05	1,05	1,002	1,015	1,006		
	1,8	7,5	1,02	1,04	1,002	1,015	1,006		
	1,8	7,5	1,05	1,03	1,002	1,015	1,006		
цистерна 15-011-04	1,4	5	0,76	0,74	0,742	0,751	0,744		
	1,4	5	0,77	0,74	0,742	0,751	0,744		
	1,4	5	0,75	0,72	0,742	0,751	0,744		
	1,4	4,5	0,77	0,72	0,744	0,754	0,747		
	1,4	4,5	0,75	0,75	0,744	0,754	0,747		

## ПЛАКАТ 23

### Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных нажатий (изношенные колеса – 88,35 см)

#### Экспериментальные данные для расчета

Параметр	Значение	
	Для ближней к ТЦ колесной пары	Для дальней от ТЦ колесной пары
Средний диаметр колес под тележкой, см	88,35	
Средняя толщина колодок по колесным парам, см	5,21	4,96
Давление в ТЦ, кгс/см <sup>2</sup>	1,7	1,75
Рабочий размер на серьге, см	22,7	22,7
Рабочий размер на подосной тяге, см	103	103
Выход штока ТЦ, см	10	10

#### Сводная таблица экспериментальных и расчетных тормозных нажатий

Параметр	Экспериментальные данные		Результаты расчета	
	$K_{д1}$	$K_{д2}$	$K_{расч1}$	$K_{расч2}$
Тормозные нажатия	0,67	0,64	0,741	0,707



## ПЛАКАТ 24

### Исходные данные для расчета тормозных усилий по методике силового анализа рычажной передачи тележки 18-100

Исходные данные:

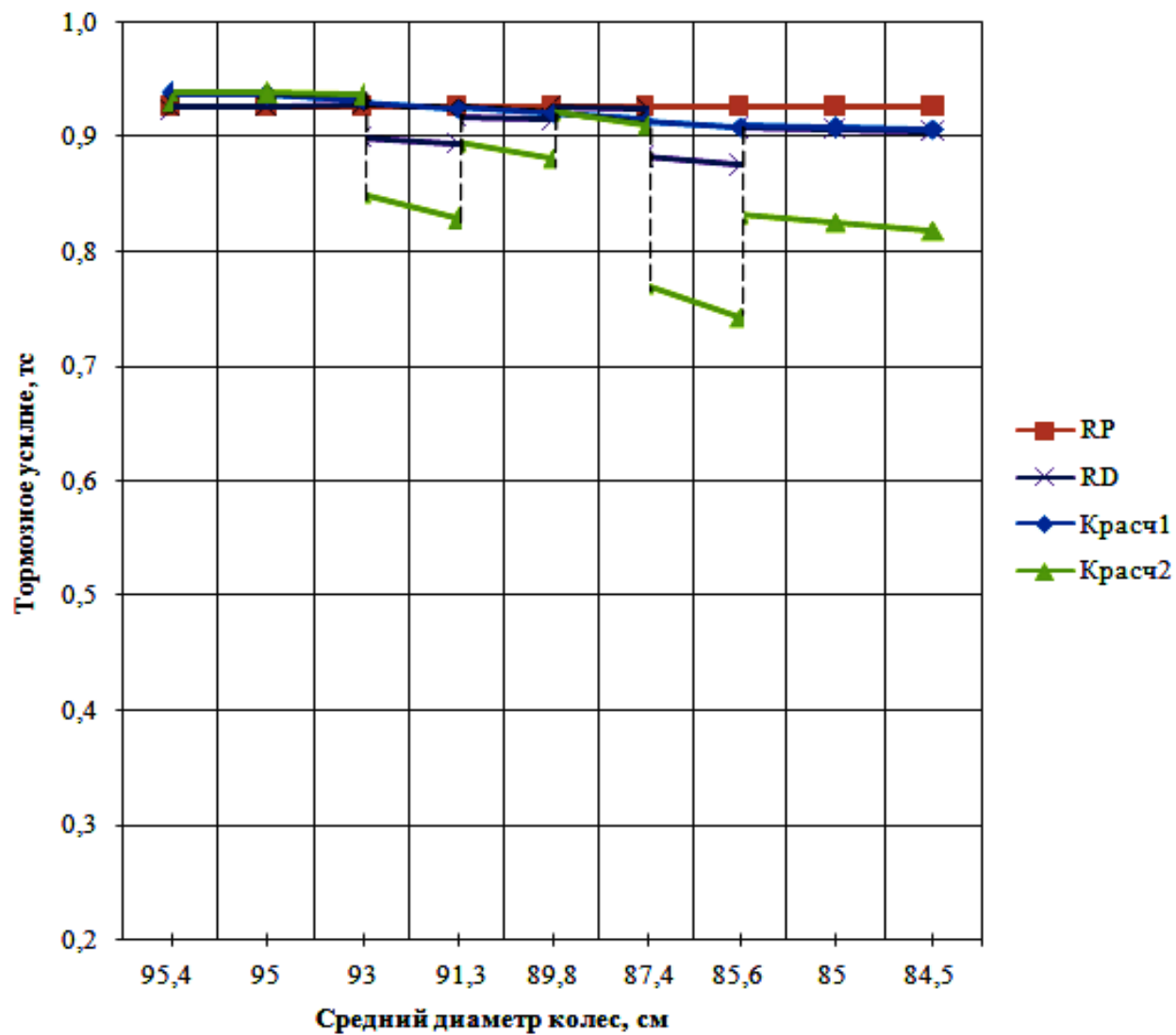
$F_{\text{тц}} = 1,58 \text{ кгс/см}^2$ ;  $d_{\text{тц}} = 35,6 \text{ см}$ ; плечи горизонтального рычага 19,5+46,5 см  
плечи вертикального рычага 40+16 см;  $\eta_{\text{тц}} = 0,98$ ;  $\eta_{\text{трп}} = 1$ .

Монтажные размеры РП двухосной тележки грузового вагона  
с колодками толщиной (65+5) мм

Размер	Величина размера, см, при среднем диаметре колес тележки						
	$D_{cp} = (D_1 + D_2) / 2, \text{ см}$						
	более 95,4	95,4-93,0	92,9-91,3	91,2-89,8	89,7-87,4	87,3-85,6	менее 85,6
С	17,7	22,7	12,7	17,7	22,7	12,7	17,7
Р	95		103			111	

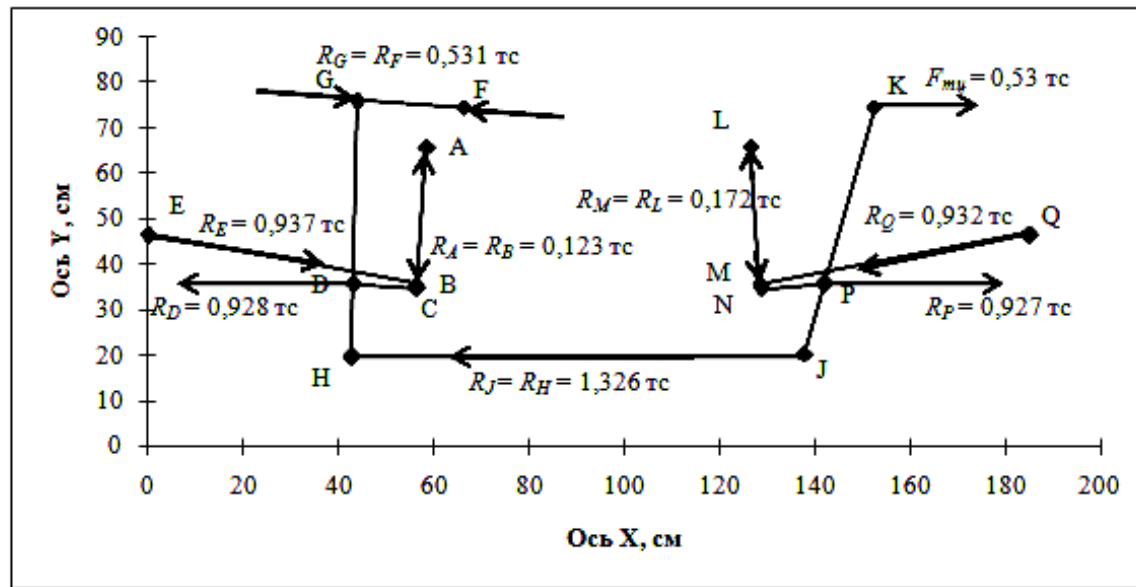
ПЛАКАТ 25

Оценка тормозных нажатий колодок на колеса с учетом положений звеньев РП в зависимости от регулировок по среднему диаметру колес под тележкой



Сравнительный анализ планов положений звеньев РП тележки с отображением приложенных к ним усилий

а)

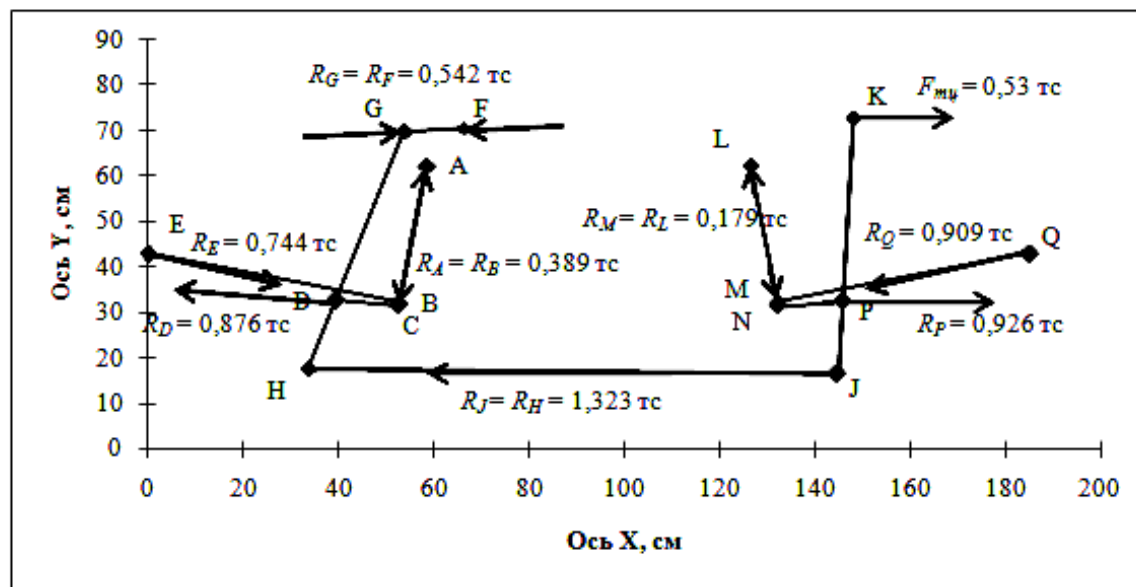


Средний диаметр колес под тележкой:

93 см

( $L_{HJ} = 95$  см,  $L_{FG} = 22,7$  см)

б)



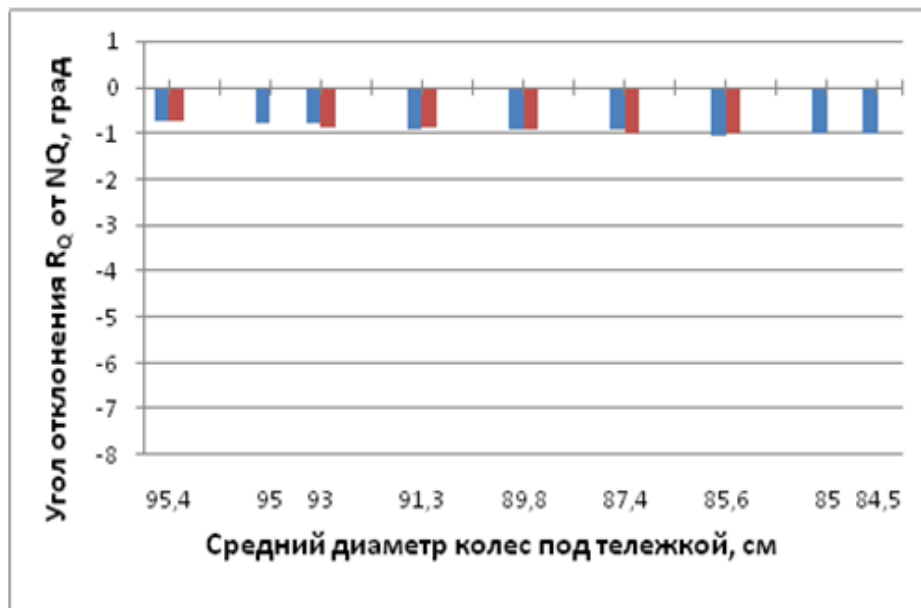
85,6 см

( $L_{HJ} = 111$  см,  $L_{FG} = 12,7$  см)

# ПЛАКАТ 27

## Гистограммы углов смещения точек приложения усилий нажатия колодок на колеса от линий, проходящих через середины колодок и центры колес

а)



б)

