

**Вопросы разработки программно-
алгоритмических средств проверки
работоспособности усилителей
рулевого управления
хлопкоуборочных машин**

А. Р. Рузикулов, Ш. А. Ахмедов

**ООО «Узбекский конструкторско-технологический центр
сельхозмашиностроения»**

Современные тенденции развития сельскохозяйственного производства основываются на широком использовании высокопроизводительной техники и энергосберегающих технологий. Основными направлениями повышения производительности являются улучшение динамических характеристик, расширение диапазона работоспособности и контроль режимными и эксплуатационными параметрами хлопкоуборочных машин. При этом немаловажное значение имеет решение проблемы, связанная с управляемостью задней управляемой оси хлопкоуборочной машины.

Данная проблема влияет на процесс управления хлопкоуборочной машиной на поворотах или разворотах, а также на производительность машины и надежность ее механизмов и частей.

2-х рядный хлопкоуборочный полуприцепной МТА марки МХ-1.8

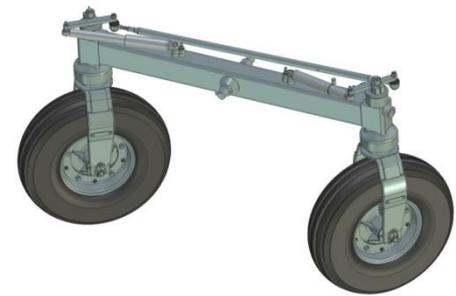


На базе трактора ТТЗ-811



На базе трактора ТТЗ-LS 100HC

Рабочей группой ООО «Узбекский конструкторско-технологический центр сельхозмашиностроения» велись работы по совершенствованию конструкции управляемой оси хлопкоуборочной машины МХ-1.8. Предложена новая модернизированная компоновка направляющего моста, которая должна быть апробирована с целью улучшения динамических характеристик, расширения диапазона работоспособности и контроля режимными и эксплуатационными параметрами хлопкоуборочных машин.



Компоновка модернизированного моста

Решаемые задачи

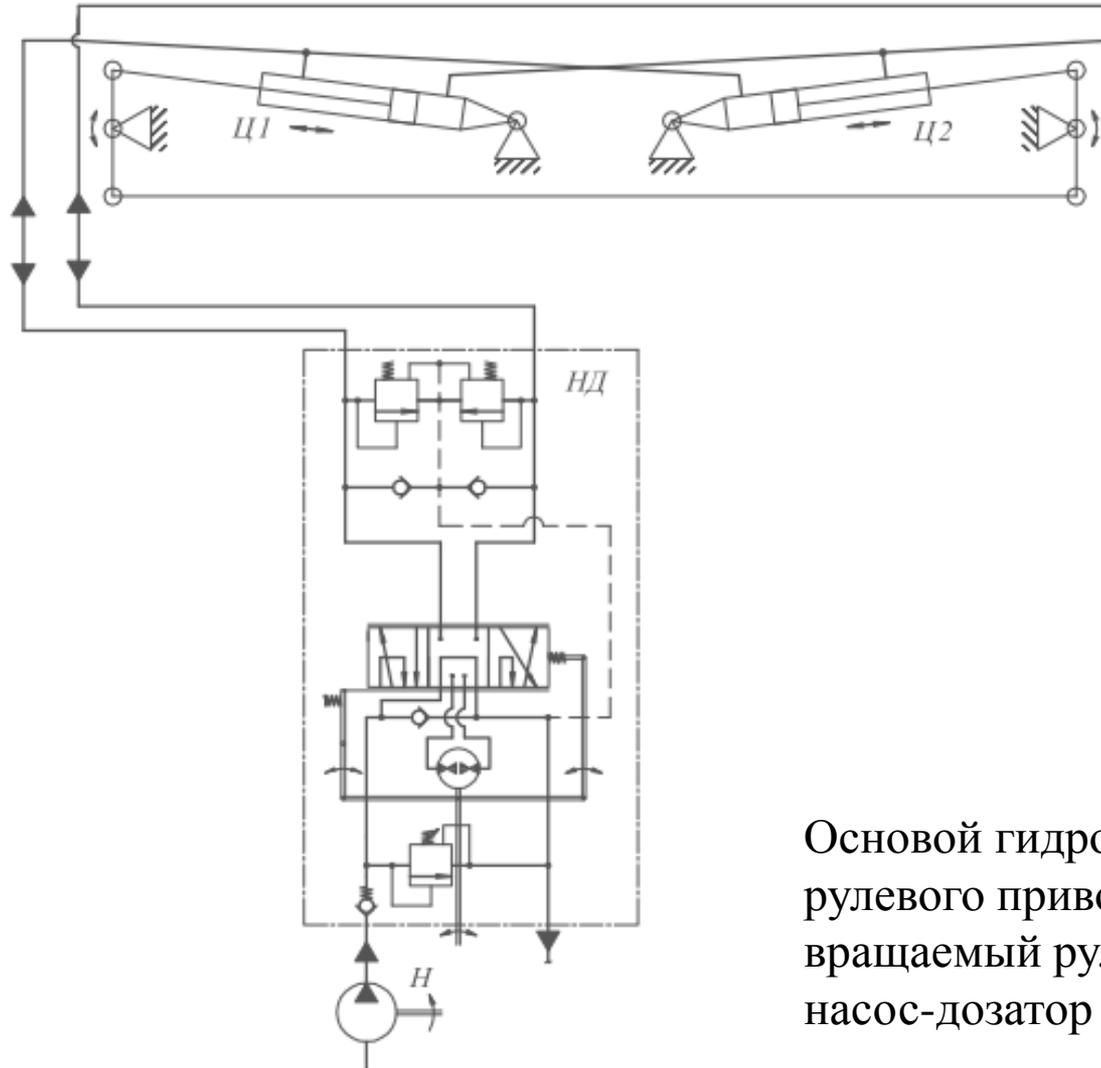
- расчет и оценка статической прочности балки заднего моста при экстремальных рабочих условиях;
- расчет и проверка оси заднего колеса (расчет нагрузок, действующих на ось заднего колеса при экстремальных рабочих условиях; расчет на статическую прочность оси заднего колеса; проверочный расчет статической прочности и долговечности подшипников оси заднего колеса);
- проверка работоспособности усилителей рулевого управления.

Рулевое управление хлопкоуборочной машины

Рулевое управление хлопкоуборочной машины состоит из рулевого механизма, рулевого привода и усилителей. Поворот двух направляющих задних колес хлопкоуборочной машины выполняют при помощи механизма рулевой трапеции с одной поперечной тягой. Механизм поворота обеспечивает высокую маневренность хлопкоуборочной машины при всех условиях эксплуатации, не допускает проскальзывания управляемых колес, обеспечивает устойчивое прямолинейное движение, качение колес с минимальной затратой мощности, минимальный износ шин.

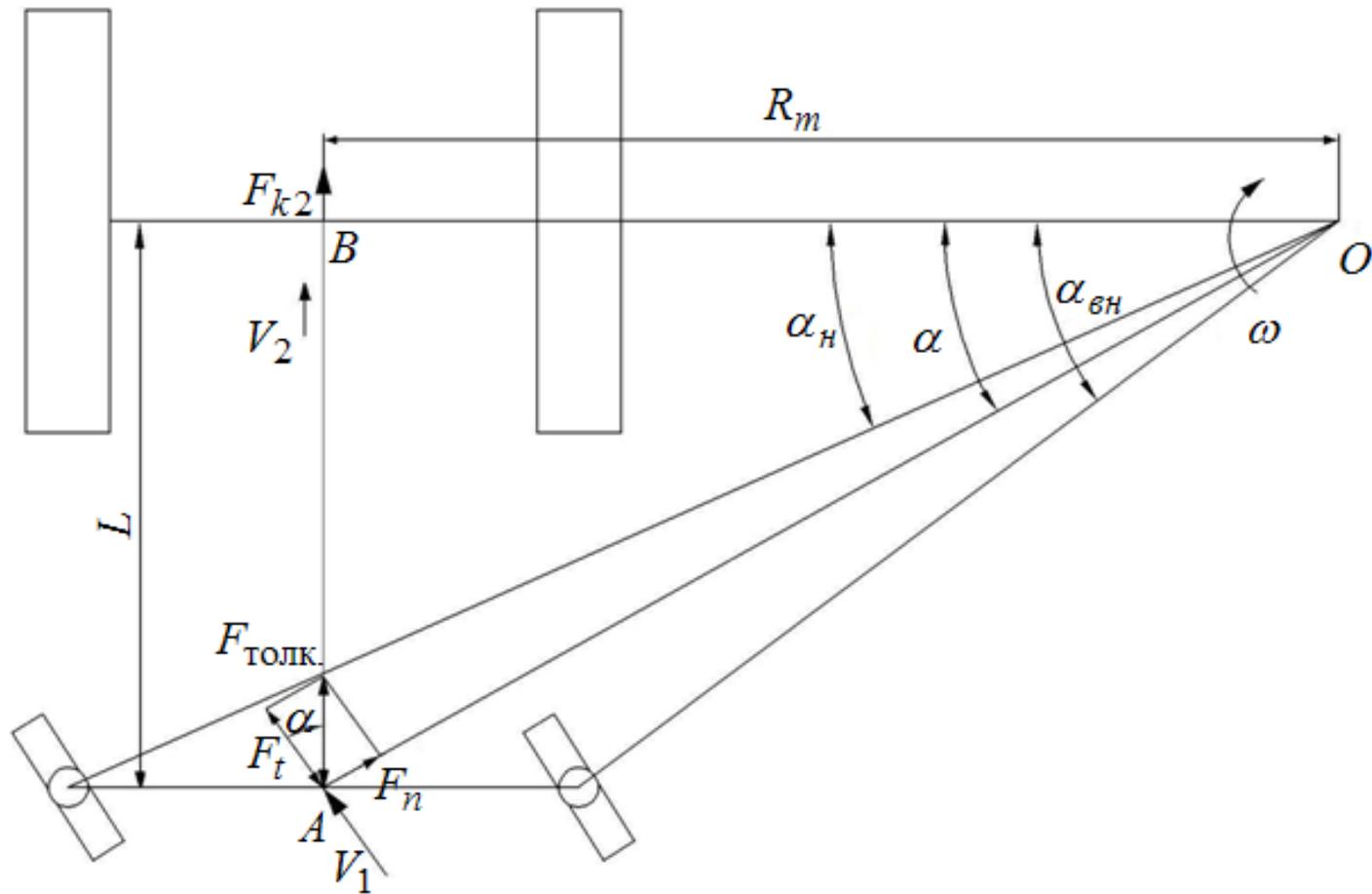
Для облегчения управления хлопкоуборочной машиной в тяжелых условиях эксплуатации и поглощения ударов при наезде на препятствие, машина снабжена гидравлическим усилителем рулевого управления.

Гидрообъемный рулевой привод



Основой гидрообъемного рулевого привода служит вращаемый рулевым колесом насос-дозатор (НД)

Компоновка силовых гидроцилиндров на хлопкоуборочной машине



F_{k2} – касательная сила тяги переднего моста.

Толкающая сила

$$F_t = F_{\text{толк.}} \cdot \cos \alpha ; \quad F_n = F_{\text{толк.}} \cdot \sin \alpha .$$

Толкающая сила не должна быть больше силы их сцепления с опорной поверхностью

$$F_{\text{толк.}} \leq \varphi \cdot G_k \quad \text{или} \quad \sqrt{F_t^2 + F_n^2} \leq \varphi \cdot G_k$$

где φ – коэффициент сцепления колеса с почвой;

G_k – нагрузка на задние колеса.

Чтобы колесо в плоскости вращения перемещалось без скольжения должно быть

$$F_t \geq F_{\text{сопр.}} ; \quad \varphi \cdot G_k \geq f \cdot G_k .$$

Условие качения управляемого колеса в плоскости его вращения

$$\cos \alpha \geq \frac{f}{\varphi} . \quad (1)$$

Момент сопротивления повороту управляемых колес

$$M_{nc} = \frac{\varphi_p}{3} \cdot \sqrt{\frac{G_k^3}{p}} . \quad (2)$$

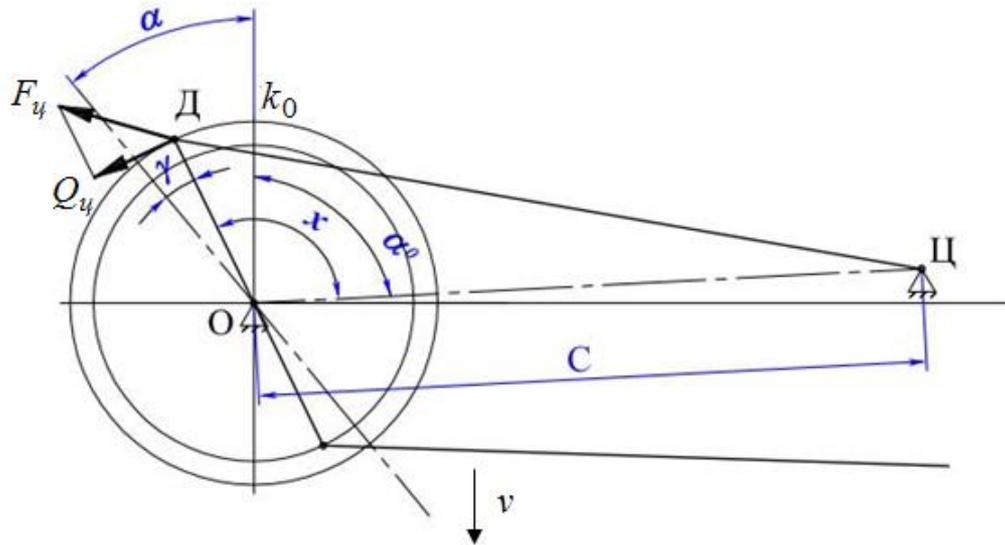
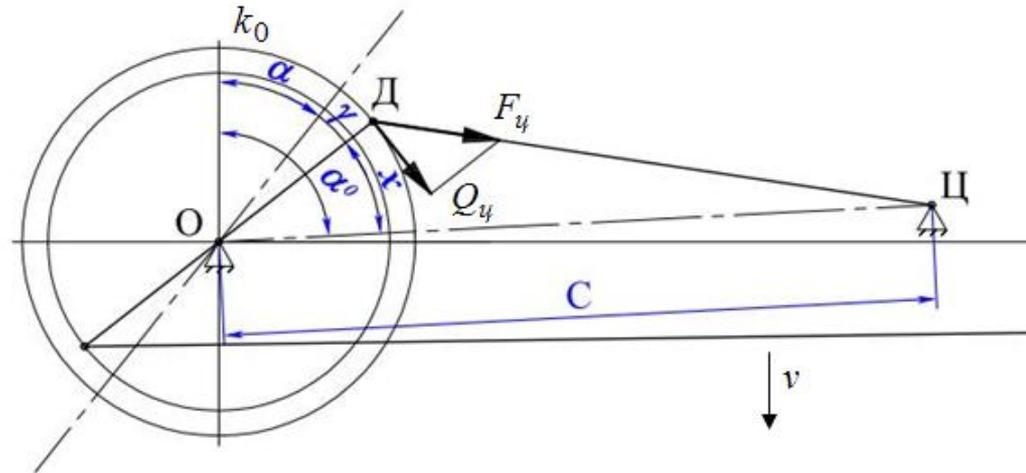
где φ_p – коэффициент сопротивления повороту колес;

p – давление воздуха в шинах.

Работа гидроцилиндров на МХ-1,8

Работа минимальной
площади поршня
гидроцилиндра

$$f_{\min} = \frac{\pi \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2)}{4}$$



Работа максимальной
площади поршня
гидроцилиндра

$$f_{\max} = \frac{\pi \cdot (d_n^2)}{4}$$

Крутящий момент относительно оси шкворня, создаваемый гидроцилиндром при повороте колеса:

$$M_{\text{ц}} = Q_{\text{ц}} \cdot h, \quad Q_{\text{ц}} = F_{\text{ц}} \cdot \sin \gamma.$$

где

$$F_{\text{ц}} = F_{\text{цв}} = p_{\text{ц}} \cdot f_{\text{max}} \quad \text{или} \quad F_{\text{ц}} = F_{\text{цн}} = p_{\text{ц}} \cdot f_{\text{min}}.$$

Угол γ определяется из $\Delta ЦДО$

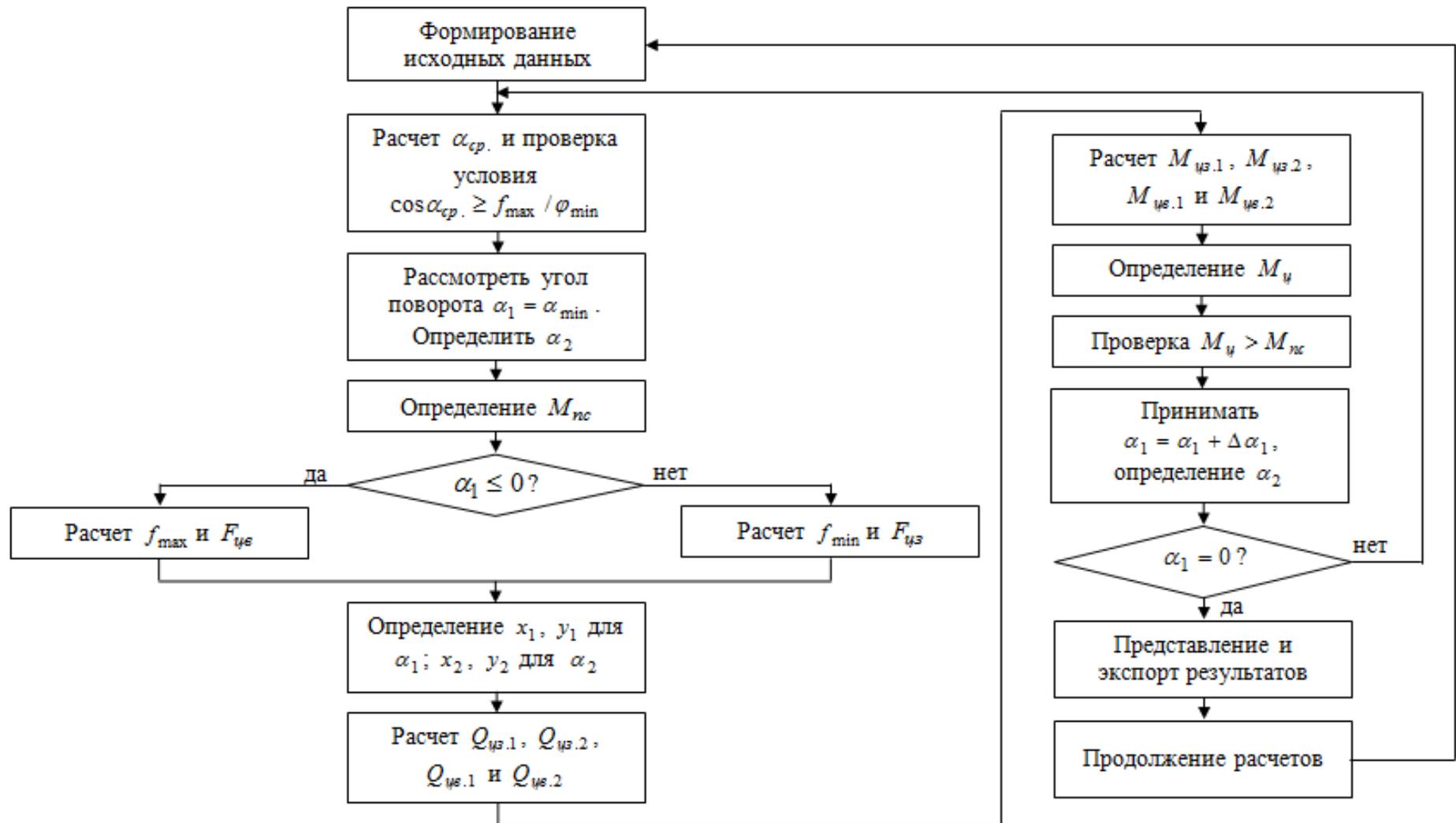
$$|ЦО| = C; \quad \alpha_0 = 90^\circ;$$

$$x = \alpha_0 - (\alpha + \gamma); \quad \sin(\gamma + 90) = C \cdot \sin(x) / L.$$

Условие, при котором обеспечивается работоспособность гидроцилиндров

$$M_{\text{ц}} > M_{\text{нс}}. \quad (3)$$

Схема реализации алгоритма решения задачи



Программная реализация

Окно ввода данных для расчета по проверке работоспособности усилителей рулевого управления

Марка тракторного агрегата	MX-1,8	Шина направляющих колес	9,00-16 TY 38.10497-88
На базе трактора	ТТЗ-100НС	Статический радиус шины - Rст (мм)	414
База трактора - L (мм)	3650	Наружный диаметр шины - D (мм)	896
Колея - B (мм)	1800	Ширина профиля шины - b (мм)	255
Нагрузка, приходящаяся на управляемые колеса - Gk, (кгс)	3100	Грузоподъемность шины - Gгр (кгс)	1550
Максимальный угол поворота наружного колеса - alpha_max (град.)	38,15	Давление воздуха в шинах - p (кгс/мм ²)	0,035
Максимальный угол поворота внутреннего колеса - alpha_min (град.)	-52,23	Коэффициент сцепления с почвой - fic	0,5
Коэффициент сопротивления повороту колес - fi	0,8	Коэффициент сопротивления качению - fmax (на мокрой стерне равно 0,12)	0,12

Характеристики гидроцилиндров

Гидроцилиндр	CDJ-141112	Радиус движения штока гидроцилиндра - h (мм)	154
Рабочая длина гидроцилиндра для обеспечения поворота на alpha_min - L (мм)	642,45	Наружный диаметр поршня - dn (мм)	50
Рабочая длина гидроцилиндра для обеспечения поворота на alpha_max - L (мм)	424,5	Наружный диаметр штока поршня - dшн (мм)	25
Рабочая длина гидроцилиндра в прямолинейном движении - C (мм)	537	Давление масла в гидроцилиндре - pц (кгс/мм ²)	1,6
Рабочая длина гидроцилиндра для alpha0 - L (мм)	554,96		
Шаг для расчета - Delta Alpha (град.)	1		

Окно ввода данных для расчета параметров по проверке работоспособности усилителей рулевого управления

Представление результатов расчета

Результаты расчета по проверке работоспособности усилителей рулевого управления

Средний угол поворота управляемых колес - Условие качения управляемого колеса в плоскости его вращения
 alphared_gts (град.)
 Момент сопротивления повороту управляемых колес -
 Мпс, кгс*мм

Угол поворота внутреннего колеса на alpha (град.)	-52,23	-51,23	-50,23	-49,23	-48,23	-47,23
Угол поворота наружного колеса на alpha1 (град.)	38,15	37,15	36,15	35,15	34,15	33,15
Результаты расчета:						
Правая часть условия качения управляемого колеса в плоскости ϵ	0,612493	0,626196	0,639707	0,653024	0,666142	0,679057
Площадь работы поршня гидроцилиндра - fmin или fmax, мм	1963,49540	1963,49540	1963,49540	1963,49540	1963,49540	1963,49540
Усилие, развиваемое гидроцилиндром - Fцз, кгс	3141,59265	3141,59265	3141,59265	3141,59265	3141,59265	3141,59265
Рабочая длина I гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на α	642,45	640,775	639,1	637,425	635,75	634,075
Уголь поворота I гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на α	129,16	128,41	127,66	126,911	126,161	125,411
Рабочая длина II гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на α	424,5	427,92	431,339	434,759	438,179	441,598
Уголь поворота II гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на α	38,78	40,123	41,465	42,808	44,15	45,493
Приращения угла поворота колес для обеспечения поворота их на α	49,600304	48,952876	48,30422	47,654347	47,003266	46,350988
Приращения угла поворота колес для обеспечения поворота их на α	37,597083	36,031407	34,47548	32,928803	31,390866	29,86114
Сила, направленная относительно оси шкворня, создаваемый I гидр	2392,454	2369,294	2345,787	2321,934	2297,738	2273,199
Сила, направленная относительно оси шкворня, создаваемый II гидр	1437,526	1385,981	1333,732	1280,819	1227,279	1173,148
Крутящий момент относительно оси шкворня, создаваемый I гидр	368437,9	364871,3	361251,2	357577,9	353851,6	350072,6
Крутящий момент относительно оси шкворня, создаваемый II гидр	221378,9	213441,1	205394,7	197246,1	189001	180664,9
Крутящий момент, создаваемый двумя гидроцилиндрами	589816,9	578312,4	566645,9	554824	542852,6	530737,5
Не обеспечивается выполнение условия: $Mts > Mnc$						

Проверить... Экспорт... Закрыть

Представление результатов по проверке выполнения условий качения управляемого колеса в плоскости его вращения и обеспечения работоспособности гидроцилиндров

Результаты расчета по проверке работоспособности усилителей рулевого управления

Средний угол поворота управляемых колес - $\alpha_{\text{phasred_gts}}$ (град.) Условие качения управляемого колеса в плоскости его вращения

Момент сопротивления повороту управляемых колес - $M_{\text{пс}}$, кгс*мм

Углы поворота гидроцилиндров (Alpha, Alpha2), в которых условие 1 или 2 $M_{\text{тс}} > M_{\text{нс}}$ не выполняется:

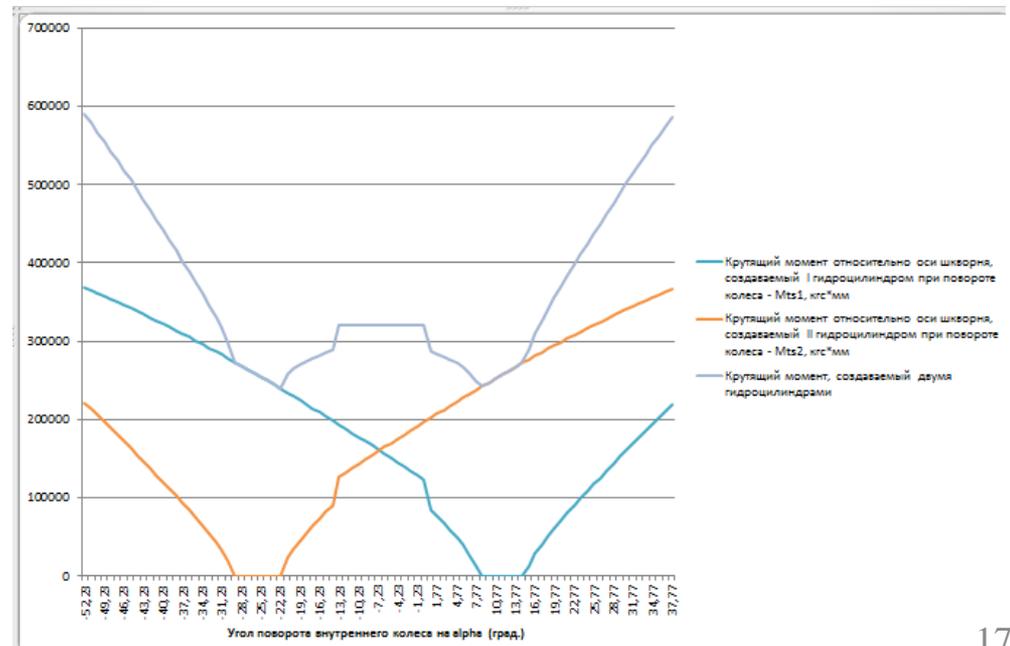
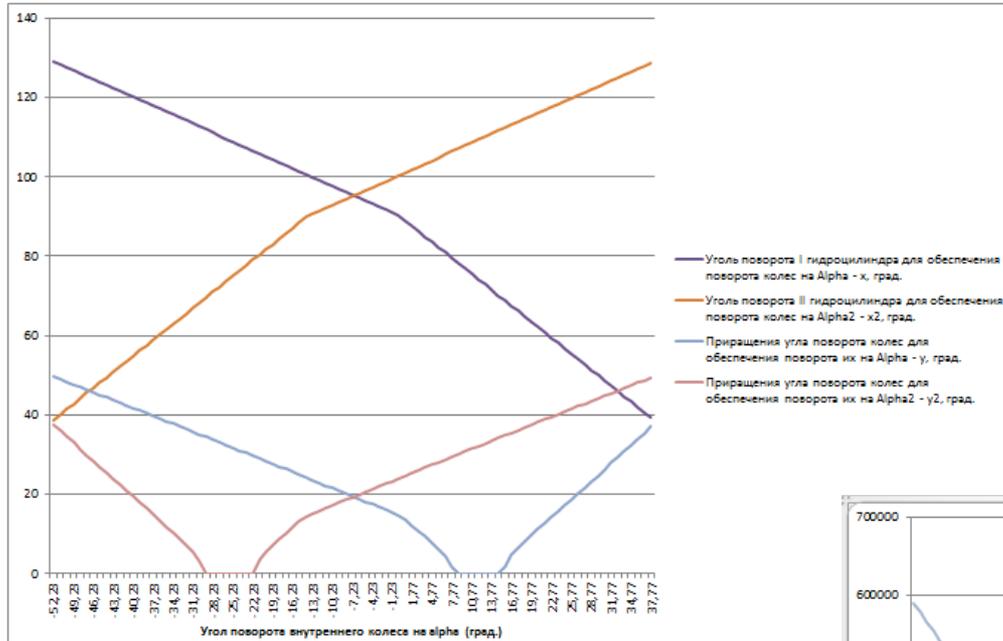
Угол поворота внутреннего колеса на alpha (град.)	-52,23	-51,23	-50,23	-49,23	-48,23	-47,23
Угол поворота наружного колеса на alpha1 (град.)	38,15	37,15	36,15	35,15	34,15	33,15
Правая часть условия качения управляемого колеса в плоскости его вращения	Условие 1					
Не обеспечивается выполнение условия: $M_{\text{тс}} > M_{\text{нс}}$						

Экспорт результатов расчета

1	Расчеты по проверке работоспособности усилителей рулевого управления	
2	ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ:	
3	Марка тракторного агрегата	МХ-1,8
4	На базе трактора	ТТЗ-100НС
5	Нагрузка, приходящаяся на управляемые колеса - Gk, (кгс)	3100
6	Колея - B (мм)	1800
7	Шина направляющих колес	9,00-16 ТУ ЗВ. 10497-88
8	Статический радиус шины - Rст (мм)	414
9	Наружный диаметр шины - D (мм)	896
10	Ширина профиля шины - b (мм)	255
11	Грузоподъемность шины - Gпр (кгс)	1550
12	Давление воздуха в шинах - p (кгс/мм ²)	0,035
13	Коэффициент сцепления с почвой - fс	0,5
14	Коэффициент сопротивления качению - fmax	0,12
15	Коэффициент сопротивления повороту колес - fi	0,8
16	Характеристики гидроцилиндров	
17	Гидроцилиндр	CDJ-141112
18	Рабочая длина гидроцилиндра для обеспечения поворота на alpha_min - L (мм)	642,45
19	Рабочая длина гидроцилиндра для обеспечения поворота на alpha_max - L (мм)	424,5
20	Рабочая длина гидроцилиндра в прямолинейном движении - C (мм)	537
21	Рабочая длина гидроцилиндра для alpha0 - L (мм)	554,96
22	Радиус движения штока гидроцилиндра - h (мм)	154
23	Максимальный угол поворота наружного колеса - alpha_max (град.)	38,15
24	Максимальный угол поворота внутреннего колеса - alpha_min (град.)	-52,23
25	Наружный диаметр поршня - dn (мм)	50
26	Наружный диаметр штока поршня - dsh (мм)	25
27	Давление масла в гидроцилиндре - pц (кгс/мм ²)	1,6
28		
29	ПАРАМЕТРЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ:	
30	Шаг для расчета - Delta Alpha (град.)	1

1	Расчеты по проверке работоспособности усилителей рулевого управления									
2	РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:									
33	Средний угол поворота управляемых колес - alpha_med_gts (град.)	45,19								
34	Условие качения управляемого колеса в плоскости его вращения	0,24								
35	Момент сопротивления повороту управляемых колес - Mср, кгс*мм	246023,87								
36										
37	Угол поворота внутреннего колеса на alpha (град.)	-52,23	-50,23	-48,23	-46,23	-44,23	-42,23	-40,23	-38,23	-36,23
38	Угол поворота наружного колеса на alpha1 (град.)	38,15	37,15	36,15	35,15	34,15	33,15	32,15	31,15	30,15
39	Правая часть условия качения управляемого колеса в плоскости его вращения - cos(A alpha)	0,612483	0,626186	0,639707	0,653024	0,666142	0,679037	0,691765	0,704263	0,716584
40	Площадь работы поршня гидроцилиндра - fmin или fmax, мм	1963,495408	1963,495408	1963,495408	1963,495408	1963,495408	1963,495408	1963,495408	1963,495408	1963,495408
41	Условие развинчивания гидроцилиндров - Fад, кгс	3141,592654	3141,592654	3141,592654	3141,592654	3141,592654	3141,592654	3141,592654	3141,592654	3141,592654
42	Рабочая длина I гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на Alpha - L, мм	642,45	640,775	639,1	637,425	635,75	634,075	632,399	630,724	629,049
43	Угол поворота I гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на Alpha - xi, град.	128,41	128,41	127,86	126,91	126,161	125,411	124,661	123,911	123,161
44	Рабочая длина II гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на Alpha2 - L2, мм	424,5	427,82	431,339	434,759	438,179	441,598	445,018	448,438	451,858
45	Угол поворота II гидроцилиндра для обеспечения поворота колес на Alpha2 - xi2, град.	38,78	40,123	41,465	42,808	44,15	45,493	46,836	48,178	49,521
46	Приращение угла поворота колес для обеспечения поворота их на Alpha - y, град.	49,600304	48,952876	48,304212	47,654347	47,003266	46,350988	45,697523	45,042882	44,387064
47	Приращение угла поворота колес для обеспечения поворота их на Alpha2 - y2, град.	37,597083	36,031407	34,47548	32,928803	31,390366	29,86114	28,339066	26,824042	25,306118
48	Сила, направленная относительно оси шворня, создаваемой I гидроцилиндром при повороте колеса - Qт1, кгс	2292,454	2369,294	2345,787	2321,934	2297,738	2273,199	2248,32	2223,103	2197,636
49	Сила, направленная относительно оси шворня, создаваемой II гидроцилиндром при повороте колеса - Qт2, кгс	1437,526	1385,981	1333,732	1280,819	1227,279	1173,148	1118,458	1063,238	1007,478
50	Крутящий момент относительно оси шворня, создаваемый I гидроцилиндром при повороте колеса - Mт1, кгс*мм	368497,9	364871,3	361251,2	357577,9	353851,6	350072,6	346241,3	342357,9	338422,6
51	Крутящий момент относительно оси шворня, создаваемый II гидроцилиндром при повороте колеса - Mт2, кгс*мм	221378,9	213441,1	205394,7	197246,1	189001	180664,9	172242,6	163738,6	155153,1
52	Крутящий момент, создаваемый двумя гидроцилиндрами	589816,9	578312,4	566645,9	554824	542851,6	530737,5	518483,9	506086,5	493675,7
53	Не обеспечивается выполнение условия: Mтх/Mср									
54										
55	Угол поворота гидроцилиндров [Alpha, Alpha2], в которых условие 1 или 2 Mтх/Mср не выполняется:									
56	Угол поворота внутреннего колеса на alpha (град.)	-52,23	-50,23	-48,23	-46,23	-44,23	-42,23	-40,23	-38,23	-36,23
57	Угол поворота наружного колеса на alpha1 (град.)	38,15	37,15	36,15	35,15	34,15	33,15	32,15	31,15	30,15
58	Правая часть условия качения управляемого колеса в плоскости его вращения - cos(A alpha)									
59	Не обеспечивается выполнение условия: Mтх/Mср									
60										

Графики изменения значений параметров по проверке усилителей рулевого управления



Спасибо за внимание!