

Отчет № 5 от 28.04.2008 г.

***Исследования плавности хода высокоскоростного
юнибуса массой 10000 кг при движении по ферме-струне***

Минск 2008

1. Введение

В данном отчете приведены результаты исследования плавности хода высокоскоростного юнибуса массой 10000 кг при движении по ферме-струне с повторяющимися через 40 м пролетами и с расстоянием между раскосами фермы-струны 2 м.

Исследованы три случая воздействия профиля путевой структуры на колеса юнибуса: воздействие профиля только на задние колеса, отдельное воздействие смещенных на 20 м профилей на передние и задние колеса и воздействие профиля конструктива фермы-струны.

2. Исходные данные

Подрессоренная масса юнибуса, кг	9600
Момент инерции подрессоренной части, кг·м ²	252965
Расстояние от центра масс до оси передних колес, м	7,45
Расстояние от центра масс до оси задних колес, м	5,0
Расстояние от центра масс до сидения водителя, м	7,99
Расстояние от центра масс до заднего сидения, м	3,21
Статический прогиб упругих элементов подвески, мм	см. табл.3, 4, 5
Коэффициент сопротивления амортизаторов, Н·с/м	9000
Расстояние между раскосами фермы-струны, м	2
Расстояние между опорами (1 пролет), м	40
Амплитуда профиля, мм	см. п.4.1

3. Принятые допущения

При составлении математической модели приняты следующие допущения и упрощения:

- рассматриваются только вертикальные и угловые колебания корпуса в продольной плоскости;
- значения вычисляемых параметров относятся только к установившемуся режиму движения;
- центр масс находится в продольной плоскости симметрии кузова;
- неровности пути представляют собой плавную и недеформируемую волну синусоидального профиля;
- схема нагружения такова, что в статическом положении на горизонтальном участке юнибус расположен горизонтально;
- параметры конструктива и пролета фермы-струны воздействуют на колеса юнибуса порознь.

4. Объем исследований

4.1. Исследования произведены для:

- величин амплитуд профиля пути между опорами: ± 4 мм (воздействие профиля только на задние колеса) и $\pm 2,0$ мм (отдельное воздействие смещенных на 20 м профилей на передние и задние колеса);

– величин амплитуд профиля конструктива фермы-струны: $\pm 0,22$ мм (расстояние между раскосами 2,0 м);

– величин статического прогиба упругих элементов подвески: 24 и 300 мм (т.е. для вариантов жесткой и мягкой подвески).

4.2. Коэффициенты гидравлических сопротивлений амортизаторов подобраны в процессе проведения расчетов исходя из их эффективности гашения колебаний в резонансных зонах и минимизации их влияния на плавность хода в зоне максимальной скорости.

5. Оценка плавности хода юнибуса

Основным параметром оценки плавности хода юнибуса принят универсальный комплексный параметр, в частности, на ж/д транспорте показатель W , который учитывает как ускорения колебаний, так и их частоту:

$$W = 0.9 \cdot k \cdot \sqrt[10]{\frac{z''^3}{n}},$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты вертикальных колебаний (см. рисунок 1);

n – частота вертикальных колебаний кузова, Гц;

z'' – вертикальное ускорение кузова, $см/с^2$.

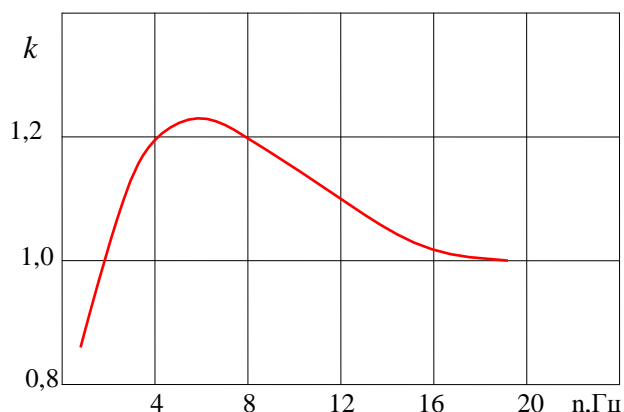


Рисунок 1. Зависимость коэффициента k от частоты вертикальных колебаний

Плавность хода транспортного средства тем лучше, чем меньше величина показателя W .

В таблице 1 приведены рекомендуемые и предельные значения параметра W .

Таблица 1

Значения параметра W , используемого для оценки плавности хода	
Очень хороший	2
Хороший	2- 2,5
Достаточный для пассажирских вагонов	2,5- 3
Предельный для пассажирских вагонов	3- 3,25
Достаточный для локомотива	3,25- 3,5
Предельный для локомотива	3,5- 3,75
Достаточный для грузовых вагонов	3,6- 4
Предельный для грузовых вагонов	4- 4,25
Предельный для человека с физиологической точки зрения	4,5

Согласно ГОСТ 12406 допустимым пределом величины параметра плавности хода для пассажирских вагонов является $W = 3,25$.

Кроме того, учитывая то, что утомляемость пассажиров зависит не только от режима колебаний кузова транспортного средства (ускорения и частоты), но от длительности воздействия ускорения t_d (см. табл.2), плавность хода оценивалась и с этой точки зрения.

Таблица 2

Допустимая длительность воздействия вибраций на организм t_d			
z'' , м/с ²	t_d , мин		Допуск, %
	Стандарт ISO	Стандарт PN	
0,12	1 440	1 516	5,3
0,18	960	941	2
0,27	600	586	2,3
0,315	480	469	2,3
0,38	378	372	1,6
0,53	240	225	4,6
0,71	150	148	1,3
0,95	96	93,6	2,5
1,18	60	64,5	7
1,5	40	40	0
1,8	25	25,4	1,6
2,13	16	14,8	7,5
2,36	10	9,91	0,9
2,65	6,3	5,9	6,8

6. Результаты расчета плавности хода

Результаты расчета представлены в таблицах 3, 4, 5 и в приложениях А, Б, В.

Таблица 3. Параметры плавности хода юнибуса при скорости $V=95$ м/с (342 км/ч) при двух различных статических прогибах упругих элементов и при воздействии профиля фермы-струны на задние колеса (зависимости параметров плавности хода от скорости представлены в приложении А).

Статический прогиб, мм	Расстояние между опорами, м	Амплитуда профиля, мм	W_b	$W_{ц.м.}$	$W_{з.п.}$	a_b , м/с ²	$a_{ц.м.}$, м/с ²	$a_{з.п.}$, м/с ²	z , мм
300	40	±4	2,2	2,4	2,8	0,2	0,28	0,45	8,2
24			1,05	3,2	3,5	0,19	0,7	1,0	1,4

Где (и далее):

- W_b - параметр плавности хода на месте водителя;
- $W_{ц.м.}$ - параметр плавности хода центра масс юнибуса;
- $W_{з.п.}$ - параметр плавности хода на месте заднего пассажира;
- a_b - ускорение на месте водителя;
- $a_{ц.м.}$ - ускорение центра масс юнибуса;
- $a_{з.п.}$ - ускорение на месте заднего пассажира;
- z - амплитуда колебаний колес относительно корпуса(наибольшая из передней и задней группы колес при данной скорости).

Таблица 4. Параметры плавности хода юнибуса при скорости $V=95$ м/с (342 км/ч) при двух различных статических прогибах упругих элементов и при смещении на 20 м воздействующих на передние и задние колеса профиля фермы-струны (зависимости параметров плавности хода от скорости представлены в приложении Б).

Статический прогиб, мм	Расстояние между опорами, м	Амплитуда профиля, мм	W _в	W _{ц.м.}	W _{з.п.}	$a_{в},$ м/с ²	$a_{ц.м.},$ м/с ²	$a_{з.п.},$ м/с ²	Z, мм
300	40	±2	2,6	1,8	2,3	0,4	0,1	0,25	4,5
24			3,0	2,6	2,8	0,58	0,35	0,47	0,7

Таблица 5. Параметры плавности хода юнибуса при скорости $V=95$ м/с (342 км/ч) при двух различных статических прогибах упругих элементов и при воздействии профиля конструктива фермы-струны на все колеса (зависимости параметров плавности хода от скорости представлены в приложении В).

Статический прогиб, мм	Расстояние между раскосами фермы-струны, м	Амплитуда профиля, мм	W _в	W _{ц.м.}	W _{з.п.}	$a_{в},$ м/с ²	$a_{ц.м.},$ м/с ²	$a_{з.п.},$ м/с ²	Z, мм
300	2	±0,22	1,9	1,5	1,5	0,4	0,19	0,2	3,2
24			2,0	1,5	1,6	0,5	0,22	0,28	0,45

7. Выводы

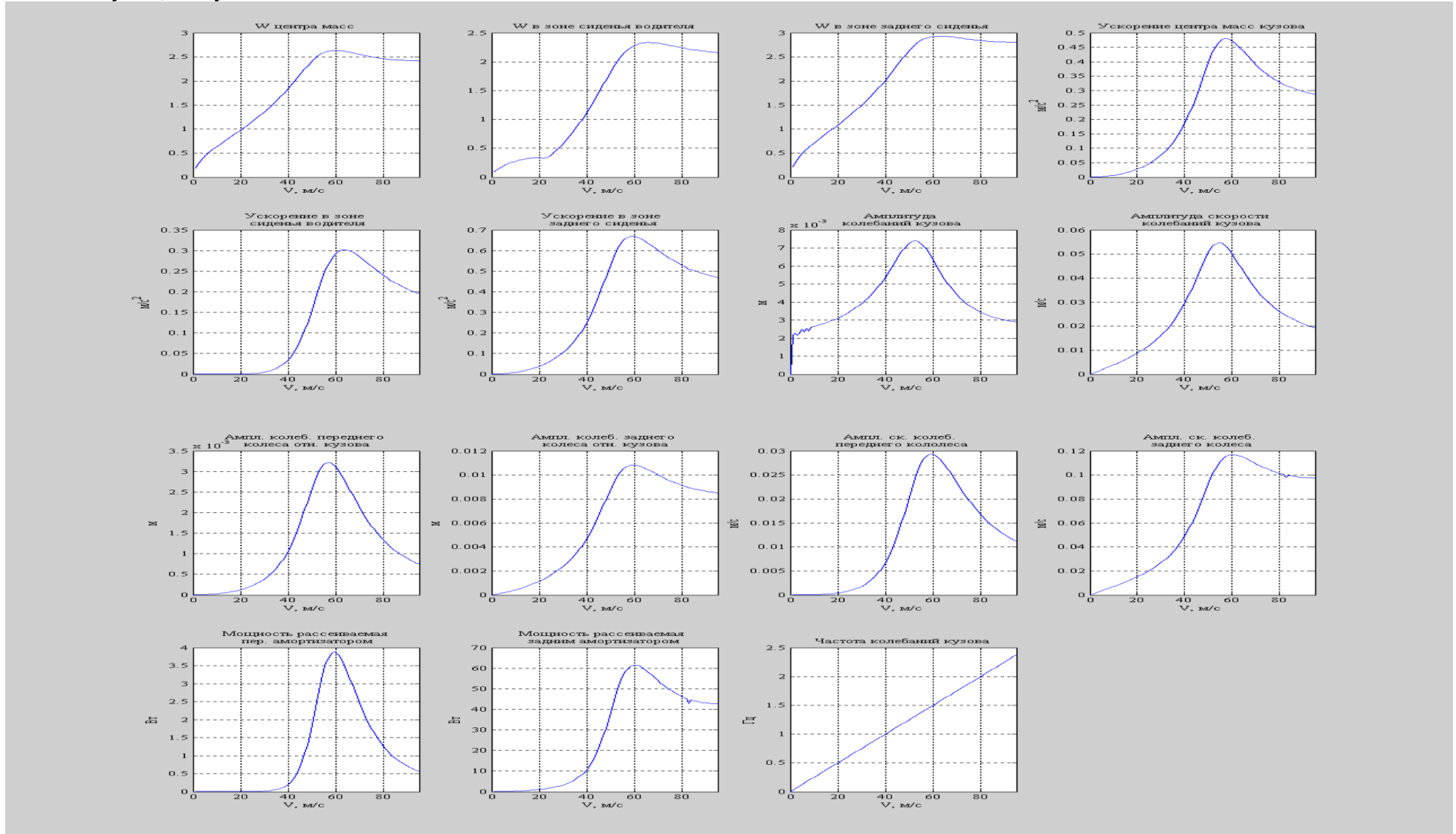
- 7.1. Результаты расчетов показывают, что комплексный параметр плавности хода W не превышают допустимых пределов за исключением случая при воздействии профиля фермы-струны на задние колеса с амплитудой ±4 мм при статическом прогибе подвески 24 мм (см. табл.3). Для данного случая максимально допустимая скорость, ограничиваемая параметром W на месте заднего пассажира составляет 320 км/ч.
- 7.2. Допустимая продолжительность движения юнибуса с установившейся максимальной скоростью по ограничению длительности воздействия вертикальных ускорений (см. таблицу 3, статический прогиб 24 мм, ускорение на месте заднего пассажира) составляет примерно 90 мин. Для других вариантов продолжительность движения значительно больше.
- 7.3. Произвести дополнительные исследования плавности хода для трех вариантов «жесткой» подвески (статический хода: 12, 18 и 36 мм).
- 7.4. Рекомендуется произвести дополнительное комплексное исследование влияния на плавность хода юнибуса профиля пути и профиля конструктива фермы-струны.

Приложение А

1. $h_{CT}=300$ мм; $C1=134$ Н/мм;
 $C2=200$ Н/мм;

$K_{сж1}=2000$ Н*с/м $K_{отб1}=7000$ Н*с/м;
 $K_{сж2}=2000$ Н*с/м $K_{отб2}=7000$ Н*с/м

$L=40$ м $y1=0$; $y2=\pm 4$ мм



2. $h_{CT}=24$ мм;

$C1=1673$ Н/мм;

$C2=2490$ Н/мм;

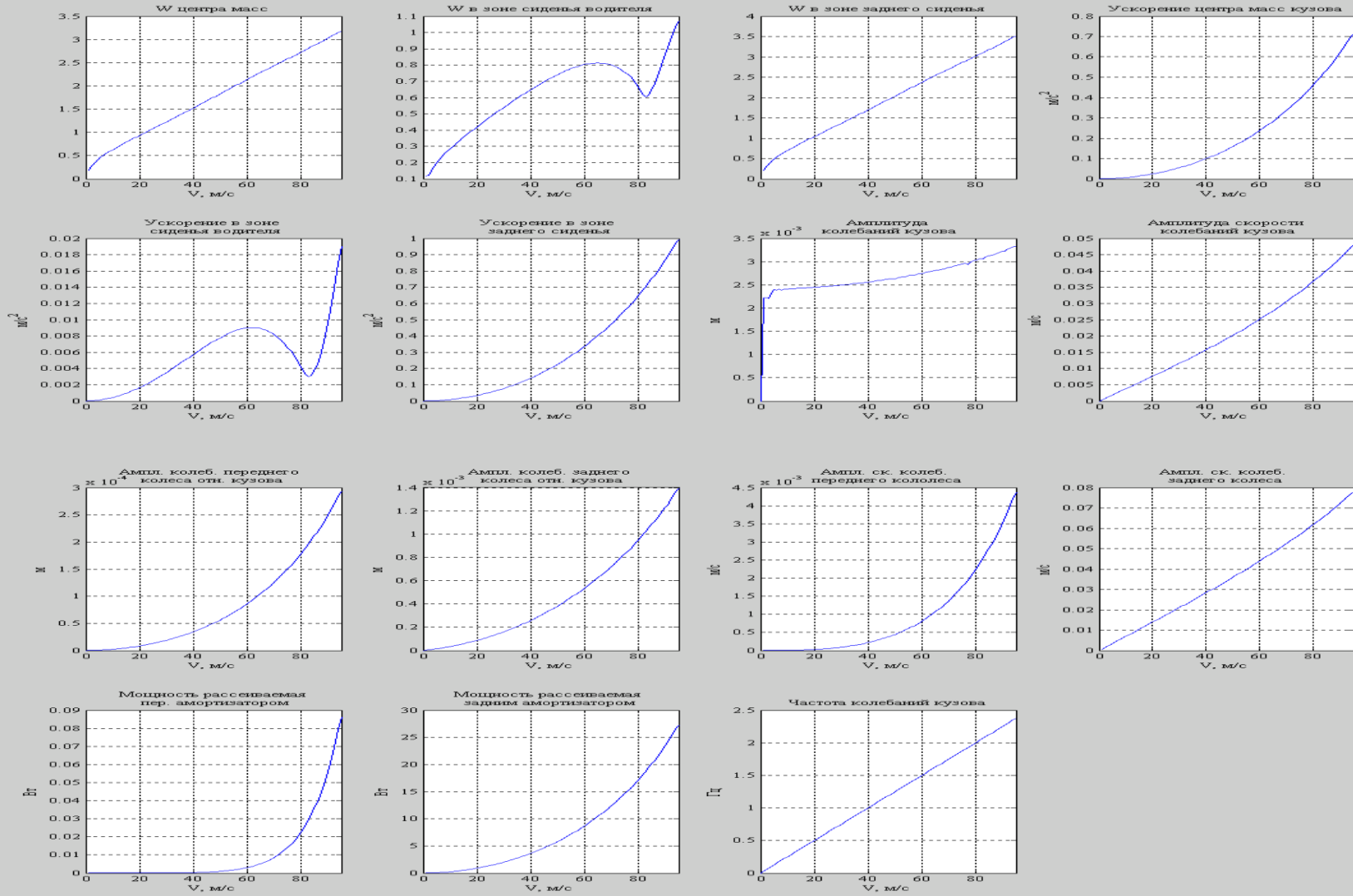
$K_{сж1}=2000$ Н*с/м

$K_{отб1}=7000$ Н*с/м;

$K_{сж2}=2000$ Н*с/м

$K_{отб2}=7000$ Н*с/м

$L=40$ м $y1=0$; $y2=\pm 4$ мм



Приложение Б

1. $h_{CT}=300$ мм;

$C_1=134$ Н/мм;

$C_2=200$ Н/мм;

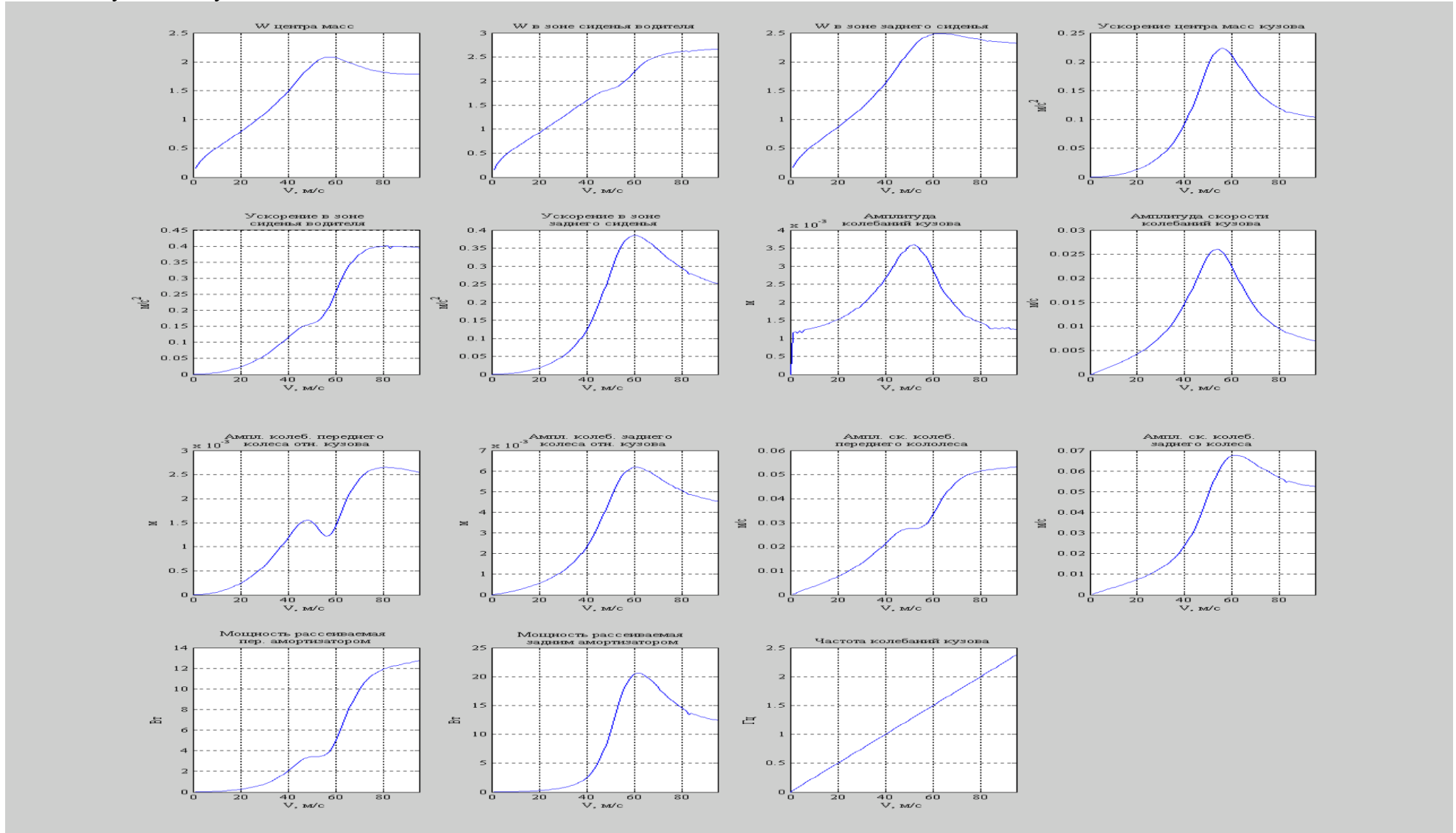
$K_{сж1}=2000$ Н*с/м

$K_{отб1}=7000$ Н*с/м;

$K_{сж2}=2000$ Н*с/м

$K_{отб2}=7000$ Н*с/м

$L=40$ м $y_1=\pm 2$ мм; $y_2=\pm 2$ мм



2. $h_{CT}=24$ мм;

$C_1=1673$ Н/мм;

$C_2=2490$ Н/мм;

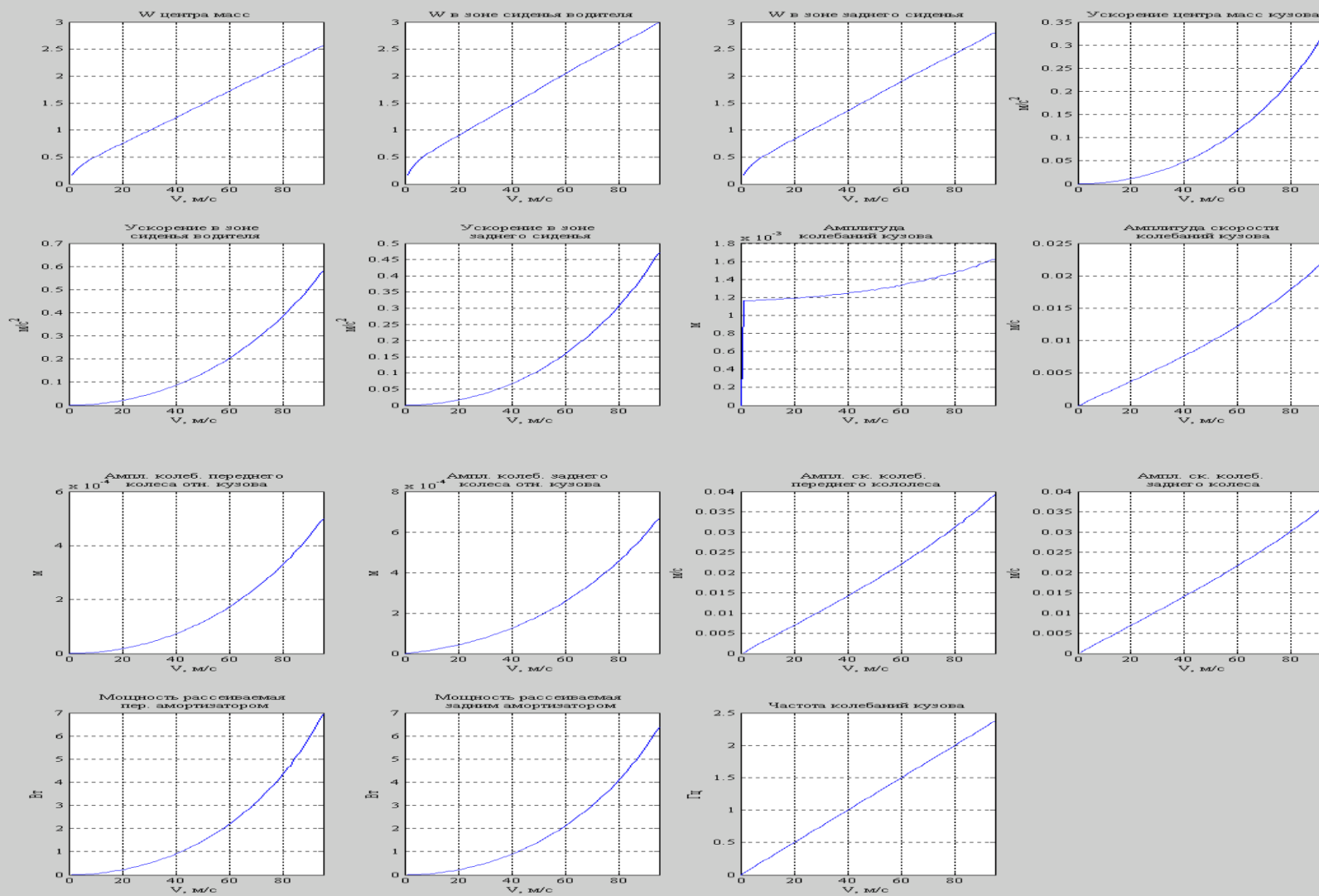
$K_{сж1}=2000$ Н*с/м

$K_{отб1}=7000$ Н*с/м;

$K_{сж2}=2000$ Н*с/м

$K_{отб2}=7000$ Н*с/м

$L=40$ м $y_1=\pm 2$ мм; $y_2=\pm 2$ мм



Приложение В

1. $h_{CT}=300$ мм;

$C_1=134$ Н/мм;

$C_2=200$ Н/мм;

$K_{сж1}=2000$ Н*с/м

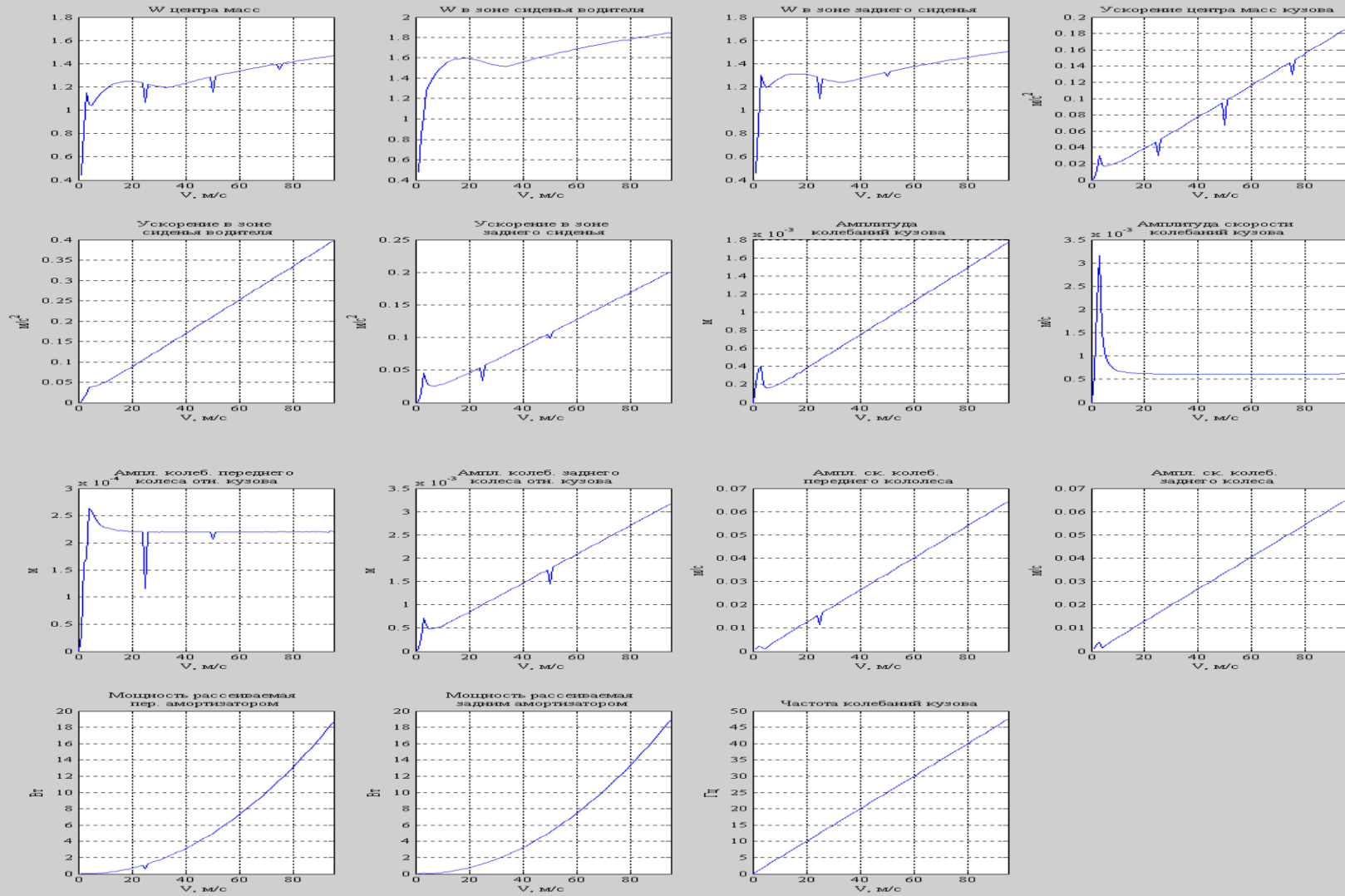
$K_{отб1}=7000$ Н*с/м;

$K_{сж2}=2000$ Н*с/м

$K_{отб2}=7000$ Н*с/м

$L=2$ м

$y=\pm 0,22$ мм



2. $h_{CT}=24$ мм;

$C1=1673$ Н/мм;

$C2=2490$ Н/мм;

$K_{сж1}=2000$ Н*с/м

$K_{отб1}=7000$ Н*с/м;

$K_{сж2}=2000$ Н*с/м

$K_{отб2}=7000$ Н*с/м

$L=2$ м

$y=\pm 0,22$ мм

