

**МАШИНОСТРОЕНИЕ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. ТРАНСПОРТ**

doi: 10.51639/2713-0576\_2023\_3\_1\_82

УДК 621.929.7

ГРНТИ 55.03.01

ВАК 05.02.00

**Формирование образа полигармонического вибрационного устройства с асимметричными колебаниями на основе метода тригонометрической функции в ряд Фурье**

\* Герасимов М. Д., Рязанцев В. Г.

*БГТУ им. В. Г. Шухова, 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46*email: \* [mail\\_mihail@mail.ru](mailto:mail_mihail@mail.ru), [vladeslav390@gmail.com](mailto:vladeslav390@gmail.com)

При эксплуатации многоступенчатого дебалансного вибрационного устройства с асимметричными колебаниями, работающего с кратными частотами вращения дебалансных валов может возникнуть необходимость плавно изменить величины частот вращения дебалансных валов, сохраняя их кратное соотношение. Возникает вопрос, как при изменении частот вращения дебалансных валов, при сохранении их кратного соотношения и при сохранении наибольшего значения коэффициента асимметрии величины вынуждающей силы для многоступенчатого вибрационного устройства будет вести себя суммарная величина вынуждающей силы? Статья посвящена формированию методики проектирования многоступенчатых вибрационных устройств с асимметричными колебаниями и управление величиной его суммарной вынуждающей силы с помощью технологических, а не конструктивных, параметров.

*Ключевые слова:* колебания асимметричные, идеальный закон, ряд Фурье, вынуждающая сила, коэффициент асимметрии.

**Теория и методы исследования**

Вопросам проектирования, создания и исследования вибрационных устройств с асимметричными колебаниями уделяется в современных условиях всё большее внимание [1...5]. Однако, практическое их применение и использование требуют решения некоторых локальных задач. Исследование и расчёт параметров на произвольном примере выполняем классическими методами кинематики и динамики с использованием разработанной для этих целей программы с использованием таблиц Excel.

**Полученные результаты и их обсуждение**

В работе [1] при разработке способа направленного инерционного вибровозбуждения с асимметричной вынуждающей силой и вибрационного устройства для его осуществления принят режим генерирования составляющих  $F_i$  суммарной вынуждающей силы  $F$ , который осуществляется по закону, определённому зависимостью

$$F = F(t) = A \cdot \cos^{2p} \left( \frac{\omega t}{2} \right) \quad (1)$$

где  $2p$  – порядок зависимости  $F(t)$ ;  $p$  – наивысший порядок гармоники;  $A$  – амплитуда изменения вынуждающей силы  $F$ .

Разложение (1) в ряд Фурье, и приведение его к конечному ряду, приводит к выражению:

$$A \cdot \cos^{2p} \left( \frac{\omega t}{2} \right) = \frac{A(2p)!}{[2^{2p} \cdot (p!)^2]} + \frac{A}{2^{2p}} \cdot \sum_{k=0}^{p-1} (2p! (k!)^{-1}) \cdot [(2p - k)!]^{-1} \cos(p - k)\omega t, \quad (2)$$

где  $k=0, 1, 2, \dots, (p-1)$ ,

$A$  – амплитуда изменения вынуждающей силы, определяющие составляющие  $F_i = F(pk)$  вынуждающей силы  $F$  и обеспечивающие необходимый задаваемый коэффициент ее асимметрии  $ka$  как отношение размеров максимальных модулей вдавливающей вынуждающей силы  $F_B$  к подъёмной  $F_{\Pi}$  при приемлемом количестве элементарных вибровозбудителей  $2i$ , удовлетворяющему условию, что  $n \leq p$ , а  $|F_B| + |F_{\Pi}| = A$ .

Принимая количество элементарных вибровозбудителей  $n = p = 7$ , для вынуждающей силы  $F_{(7)}$  имеем:

$$\cos^{14} x/2 = 429/2048 + 1/8192 (3003 \cos x + 2002 \cos 2x + 1001 \cos 3x + 364 \cos 4x + 91 \cos 5x + 14 \cos 6x + \cos 7x). \quad (3)$$

В гармониках  $A_i \cos i\omega t$  ряда Фурье амплитуда  $A_i$  соответствует силе  $F_i$ , генерируемой  $i$ -м вибровозбудителем. По зависимости (3) имеем

$$A_1 = 3003/8192; A_2 = 2002/8192; A_3 = 1001/8192; A_4 = 364/8192; A_5 = 91/8192, \\ A_6 = 14/8192; A_7 = 1/8192.$$

Откуда, численное значение отношений  $\lambda_i$  составит.

$$\lambda_1 = 3003/8192 = 0,3666; \lambda_2 = 0,2444; \lambda_3 = 0,1222; \lambda_4 = 0,0444; \lambda_5 = 0,0111; \\ \lambda_6 = 0,0017; \lambda_7 = 0,0001$$

Для снижения числа операционных вычислений принимаем величину вынуждающей силы  $F_i$  для каждой из семи ступеней, пропорционально амплитудным значениям  $\lambda_i$  и равными:

Номер ступени, $i$	1	2	3	4	5	6	7
Вынуждающая сила, $F_i$ , кН	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	0,17	0,01

Составляем расчётную матрицу, исходные данные для расчёта вибрационного устройства, состоящего из двух ступеней. Частота вращения дебалансных валов первой ступени принимаем  $n = 500$  об/мин, второй ступени -  $n_2 = 1000$  об/мин., табл. 1

Таблица 1

Исходные данные для расчёта коэффициента асимметрии вибрационного устройства, состоящего из двух ступеней

$p_i$	№ вибратора	1	2
3,1416	Масса (кг)	66,86	11,145
	Радиус (см)	10	10
$T$	Нач. фаза (град)	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000
$dt$	$R$ (м)	0,1	0,1
0,006	$F_i0$ (рад)	0,00	0,00
	$w$ (1/с)	52,36	104,72

Результаты расчёта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчёта вибрационного устройства с асимметричными колебаниями  
из двух ступеней

№	t	$F_1$	$F_2$	$F_{\text{сумма}}$
0	0,000	36,66	24,44	61,10
1	0,006	34,87	19,78	54,64
2	0,012	29,66	7,55	37,21
3	0,018	21,55	-7,55	13,99
4	0,024	11,33	-19,78	-8,45
5	0,030	0,00	-24,44	-24,44
6	0,036	-11,33	-19,78	-31,10
7	0,042	-21,55	-7,55	-29,10
8	0,048	-29,66	7,55	-22,11
9	0,054	-34,87	19,78	-15,09
10	0,060	-36,66	24,44	-12,22
11	0,066	-34,87	19,78	-15,09
12	0,072	-29,66	7,55	-22,11
13	0,078	-21,55	-7,55	-29,10
14	0,084	-11,33	-19,78	-31,10
15	0,090	0,00	-24,44	-24,44
16	0,096	11,33	-19,78	-8,45
17	0,102	21,55	-7,55	14,00
18	0,108	29,66	7,55	37,21
19	0,114	34,87	19,78	54,64
20	0,120	36,66	24,44	61,10
	Max	36,66	24,44	61,10
	Min	-36,66	-24,44	-31,10
	кд			1,9645

Графики изменения величины составляющих  $F_1$  и  $F_2$  и суммарной вынуждающей силы  $F_{\text{сумма}}$ , для двухступенчатого вибрационного устройства приведен на рис. 1. Из табл. 2 и рис. 1 видно, что амплитудное значение суммарной вынуждающей силы в направлении выполнения «полезной работы» составляет  $F_{\text{сумма}(+)} = 61,1$  кН, а амплитудное значение в противоположном направлении составляет  $F_{\text{сумма}(-)} = 31,1$  кН. Отсюда, коэффициент асимметрии при двух ступенях вибрационного устройства составляет

$$k_{\text{ас}} = \frac{F_{\text{сумма}(+)}}{|F_{\text{сумма}(-)}|} = \frac{61,1}{31,1} = 1,9645.$$

Выполнялись поочередно расчёты для 3...7-ми ступеней вибрационного устройства (табл. 3–12, рис. 2–6). Исходные данные расчёта для трёхступенчатого устройства представлены в табл. 3.

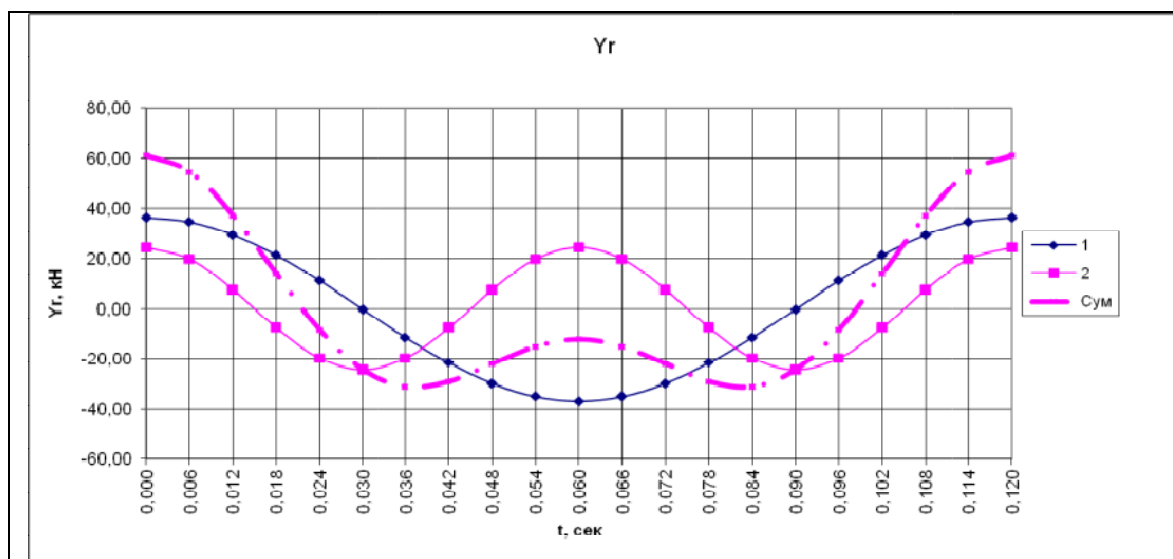


Рис. 1. Графики изменения величины составляющих  $F_1$  и  $F_2$  и суммарной вынуждающей силы  $F_{\text{сумма}}$ , для двухступенчатого вибрационного устройства

Таблица 3

Исходные данные для расчёта коэффициента асимметрии вибрационного устройства, состоящего из трех ступеней

$p_i$	№ вибратора	1	2	3
3,1416	Масса (кг)	66,86	11,145	2,476
	Радиус (см)	10	10	10
T	Нач. фаза (град)	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500
dt	R (м)	0,1	0,1	0,1
0,006	$F_{i0}$ (рад)	0,00	0,00	0,00
	w (1/с)	52,36	104,72	157,08

Результаты расчёта представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчёта вибрационного устройства с асимметричными колебаниями из трёх ступеней

№	t				Сумма
0	0,000	36,66	24,44	12,22	73,32
1	0,006	34,87	19,78	7,18	61,82
2	0,012	29,66	7,55	-3,78	33,44
3	0,018	21,55	-7,55	-11,62	2,37
4	0,024	11,33	-19,78	-9,89	-18,33
5	0,030	0,00	-24,44	0,00	-24,44
6	0,036	-11,33	-19,78	9,89	-21,22
7	0,042	-21,55	-7,55	11,62	-17,48
8	0,048	-29,66	7,55	3,78	-18,33
9	0,054	-34,87	19,78	-7,18	-22,27
10	0,060	-36,66	24,44	-12,22	-24,44
11	0,066	-34,87	19,78	-7,18	-22,27
12	0,072	-29,66	7,55	3,78	-18,33
13	0,078	-21,55	-7,55	11,62	-17,48

14	0,084	-11,33	-19,78	9,88	-21,22
15	0,090	0,00	-24,44	0,00	-24,44
16	0,096	11,33	-19,78	-9,89	-18,33
17	0,102	21,55	-7,55	-11,62	2,38
18	0,108	29,66	7,55	-3,78	33,44
19	0,114	34,87	19,78	7,18	61,82
20	0,120	36,66	24,44	12,22	73,32
	Max	36,66	24,44	12,22	73,32
	Min	-36,66	-24,44	-12,22	-24,44
	K	1	1,00	1,00	0,33
	кд				2,999641

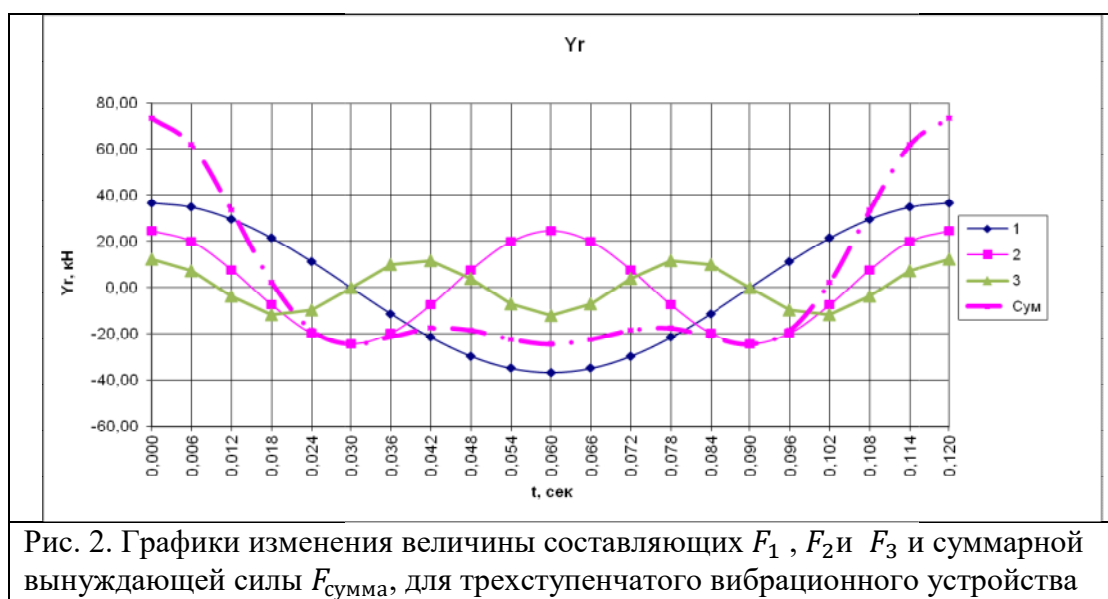


Таблица 5

Исходные данные для расчёта коэффициента асимметрии вибрационного устройства, состоящего из четырёх ступеней

$p_i$	№ вибратора	1	2	3	4
3,1416	Масса (кг)	66,86	11,145	2,476	1,265
	Радиус (см)	10	10	10	4
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000
dt	R (м)	0,1	0,1	0,1	0,04
0,006	$F_{i0}$ (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00
	w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44

Таблица 6

Результаты расчёта вибрационного устройства с асимметричными колебаниями из четырёх ступеней

№	t					Сумма
0	0,000	36,66	24,44	12,22	4,44	77,76
1	0,006	34,87	19,78	7,18	1,37	63,20
2	0,012	29,66	7,55	-3,78	-3,59	29,85
3	0,018	21,55	-7,55	-11,62	-3,59	-1,22

4	0,024	11,33	-19,78	-9,89	1,37	-16,96
5	0,030	0,00	-24,44	0,00	4,44	-20,00
6	0,036	-11,33	-19,78	9,89	1,37	-19,85
7	0,042	-21,55	-7,55	11,62	-3,59	-21,07
8	0,048	-29,66	7,55	3,78	-3,59	-21,92
9	0,054	-34,87	19,78	-7,18	1,37	-20,90
10	0,060	-36,66	24,44	-12,22	4,44	-20,00
11	0,066	-34,87	19,78	-7,18	1,37	-20,90
12	0,072	-29,66	7,55	3,78	-3,59	-21,92
13	0,078	-21,55	-7,55	11,62	-3,59	-21,07
14	0,084	-11,33	-19,78	9,88	1,37	-19,85
15	0,090	0,00	-24,44	0,00	4,44	-20,00
16	0,096	11,33	-19,78	-9,89	1,37	-16,96
17	0,102	21,55	-7,55	-11,62	-3,59	-1,22
18	0,108	29,66	7,55	-3,78	-3,59	29,85
19	0,114	34,87	19,78	7,18	1,37	63,20
20	0,120	36,66	24,44	12,22	4,44	77,76
	Max	36,66	24,44	12,22	4,44	77,76
	Min	-36,66	-24,44	-12,22	-3,59	-21,92
	K	1	1,00	1,00	0,81	0,28
	кд					3,5474

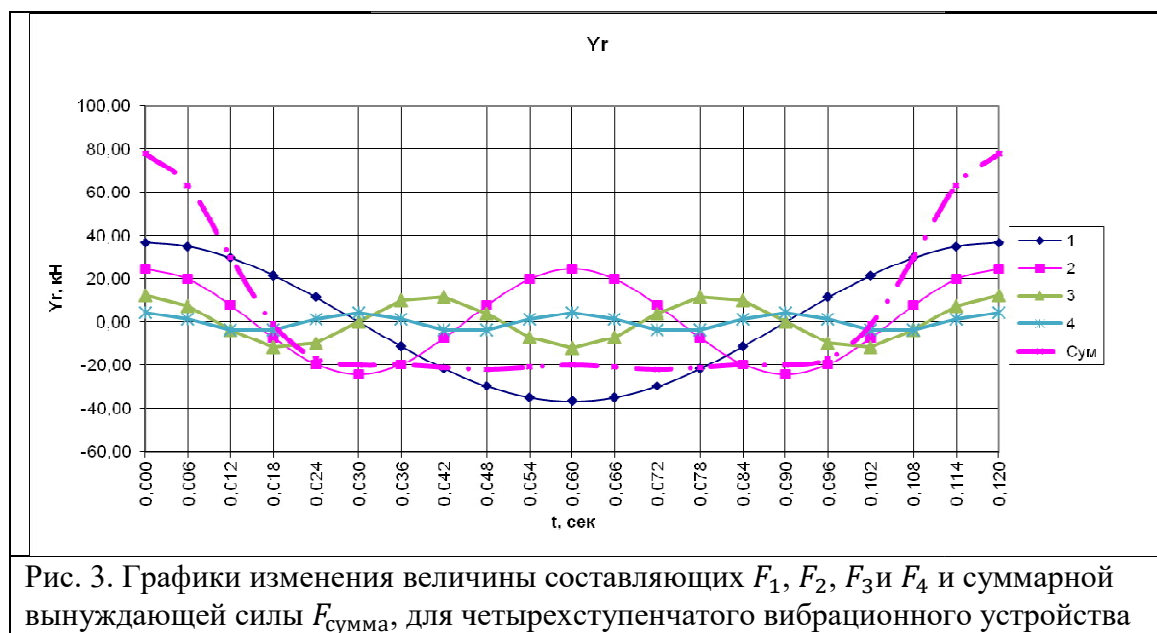


Таблица 7

Исходные данные для расчёта коэффициента асимметрии вибрационного устройства, состоящего из пяти ступеней

$p_i$	№ вибратора	1	2	3	4	5
3,1416	Масса (кг)	<b>66,86</b>	<b>11,145</b>	<b>2,476</b>	<b>1,265</b>	<b>0,405</b>
	Радиус (см)	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
T	Нач. фаза (град)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>0,12</b>	Скорость (об/мин)	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>
dt	R (м)	0,1	0,1	0,1	0,04	0,02

0,006		Fi0 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8

Таблица 8

Результаты расчёта вибрационного устройства с асимметричными колебаниями из пяти ступеней

№	t						Сумма
0	0,000	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	78,87
1	0,006	34,87	19,78	7,18	1,37	0,00	63,20
2	0,012	29,66	7,55	-3,78	-3,59	-1,11	28,73
3	0,018	21,55	-7,55	-11,62	-3,59	0,00	-1,22
4	0,024	11,33	-19,78	-9,89	1,37	1,11	-15,85
5	0,030	0,00	-24,44	0,00	4,44	0,00	-20,00
6	0,036	-11,33	-19,78	9,89	1,37	-1,11	-20,96
7	0,042	-21,55	-7,55	11,62	-3,59	0,00	-21,07
8	0,048	-29,66	7,55	3,78	-3,59	1,11	-20,81
9	0,054	-34,87	19,78	-7,18	1,37	0,00	-20,90
10	0,060	-36,66	24,44	-12,22	4,44	-1,11	-21,11
11	0,066	-34,87	19,78	-7,18	1,37	0,00	-20,90
12	0,072	-29,66	7,55	3,78	-3,59	1,11	-20,81
13	0,078	-21,55	-7,55	11,62	-3,59	0,00	-21,07
14	0,084	-11,33	-19,78	9,88	1,37	-1,11	-20,96
15	0,090	0,00	-24,44	0,00	4,44	0,00	-20,00
16	0,096	11,33	-19,78	-9,89	1,37	1,11	-15,85
17	0,102	21,55	-7,55	-11,62	-3,59	0,00	-1,22
18	0,108	29,66	7,55	-3,78	-3,59	-1,11	28,74
19	0,114	34,87	19,78	7,18	1,37	0,00	63,20
20	0,120	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	78,87
	Max	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	78,87
	Min	-36,66	-24,44	-12,22	-3,59	-1,11	-21,11
	K	1	1,00	1,00	0,81	1,00	0,27
	кд						3,736913

Таблица 9

Исходные данные для расчёта коэффициента асимметрии вибрационного устройства, состоящего из шести ступеней

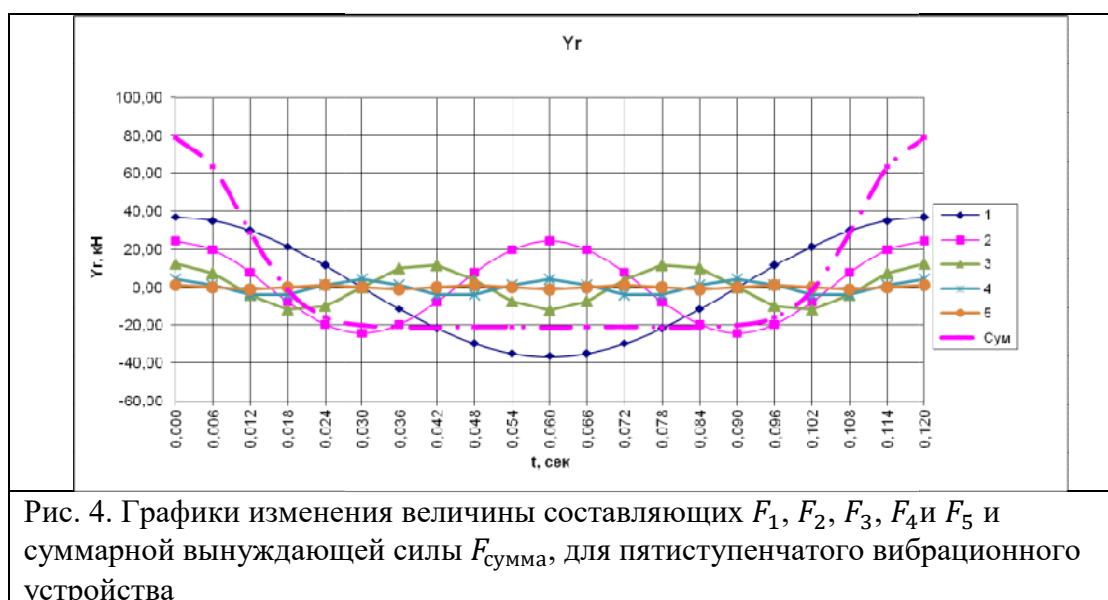
pi		№ вибратора	1	2	3	4	5	6
3,1416		Масса (кг)	<b>66,86</b>	<b>11,145</b>	<b>2,476</b>	<b>1,265</b>	<b>0,405</b>	<b>0,17</b>
		Радиус (см)	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0,5</b>
T		Нач. фаза (град)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>0,12</b>		Скорость (об/мин)	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>	<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>3000</b>
dt		R (м)	0,1	0,1	0,1	0,04	0,02	0,005
0,006		Fi0 (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8	314,16

Таблица 10

Результаты расчёта вибрационного устройства с асимметричными колебаниями

## из шести ступеней

№	t							Сумма
0	0,000	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	0,17	79,04
1	0,006	34,87	19,78	7,18	1,37	0,00	-0,05	63,14
2	0,012	29,66	7,55	-3,78	-3,59	-1,11	-0,14	28,60
3	0,018	21,55	-7,55	-11,62	-3,59	0,00	0,14	-1,08
4	0,024	11,33	-19,78	-9,89	1,37	1,11	0,05	-15,80
5	0,030	0,00	-24,44	0,00	4,44	0,00	-0,17	-20,17
6	0,036	-11,33	-19,78	9,89	1,37	-1,11	0,05	-20,91
7	0,042	-21,55	-7,55	11,62	-3,59	0,00	0,14	-20,94
8	0,048	-29,66	7,55	3,78	-3,59	1,11	-0,14	-20,95
9	0,054	-34,87	19,78	-7,18	1,37	0,00	-0,05	-20,95
10	0,060	-36,66	24,44	-12,22	4,44	-1,11	0,17	-20,94
11	0,066	-34,87	19,78	-7,18	1,37	0,00	-0,05	-20,95
12	0,072	-29,66	7,55	3,78	-3,59	1,11	-0,14	-20,95
13	0,078	-21,55	-7,55	11,62	-3,59	0,00	0,14	-20,94
14	0,084	-11,33	-19,78	9,88	1,37	-1,11	0,05	-20,91
15	0,090	0,00	-24,44	0,00	4,44	0,00	-0,17	-20,17
16	0,096	11,33	-19,78	-9,89	1,37	1,11	0,05	-15,80
17	0,102	21,55	-7,55	-11,62	-3,59	0,00	0,14	-1,08
18	0,108	29,66	7,55	-3,78	-3,59	-1,11	-0,14	28,60
19	0,114	34,87	19,78	7,18	1,37	0,00	-0,05	63,14
20	0,120	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	0,17	79,04
	Max	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	0,17	79,04
	Min	-36,66	-24,44	-12,22	-3,59	-1,11	-0,17	-20,95
	K	1	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	0,27
	кд							3,77234





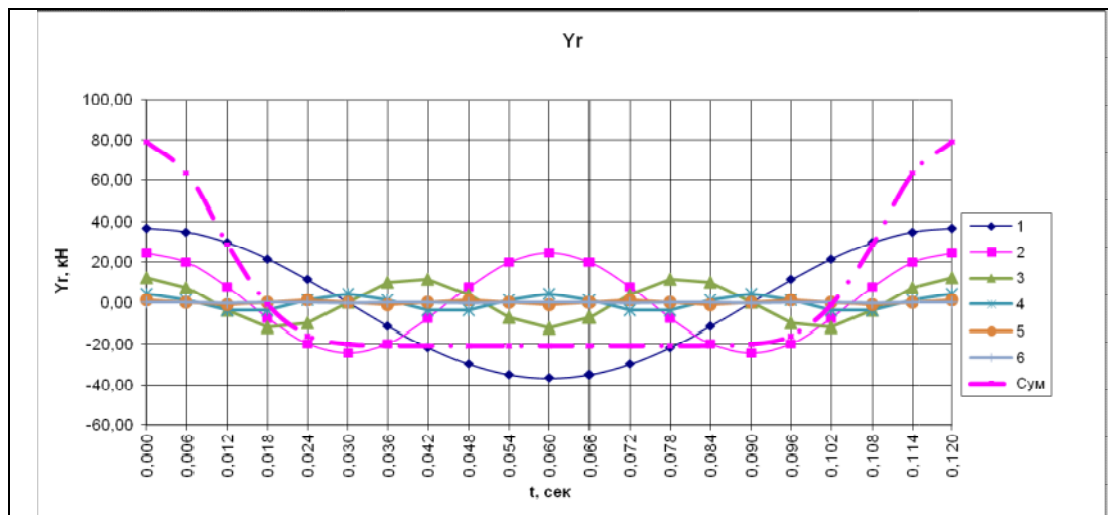


Рис. 5. Графики изменения величины составляющих  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$  и  $F_6$  и суммарной вынуждающей силы  $F_{\text{сумма}}$ , для шестиступенчатого вибрационного устройства

Таблица 11

Исходные данные для расчёта коэффициента асимметрии вибрационного устройства, состоящего из семи ступеней

$p_i$	№ вибратора	1	2	3	4	5	6	7
3,1416	Масса (кг)	60,78	11,145	2,477	1,012	0,405	0,087	0,01
	Радиус (см)	11	10	10	5	2	1	0,3
T	Нач. фаза (град)	0	0	0	0	0	0	0
0,12	Скорость (об/мин)	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
dt	R (м)	0,11	0,1	0,1	0,05	0,02	0,01	0,003
0,006	$F_{i0}$ (рад)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	w (1/с)	52,36	104,72	157,08	209,44	261,8	314,16	366,52

Таблица 12

Результаты расчёта вибрационного устройства с асимметричными колебаниями из семи ступеней

№	t								Сумма
0	0,000	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	0,17	0,01	79,06
1	0,006	34,86	19,78	7,18	1,37	0,00	-0,05	0,00	63,14
2	0,012	29,66	7,55	-3,78	-3,59	-1,11	-0,14	0,00	28,59
3	0,018	21,55	-7,55	-11,63	-3,59	0,00	0,14	0,01	-1,08
4	0,024	11,33	-19,78	-9,89	1,37	1,11	0,05	-0,01	-15,81
5	0,030	0,00	-24,44	0,00	4,44	0,00	-0,17	0,00	-20,18
6	0,036	-11,33	-19,78	9,89	1,37	-1,11	0,05	0,01	-20,89
7	0,042	-21,55	-7,55	11,63	-3,59	0,00	0,14	-0,01	-20,94
8	0,048	-29,66	7,55	3,78	-3,59	1,11	-0,14	0,00	-20,94
9	0,054	-34,87	19,78	-7,19	1,37	0,00	-0,05	0,00	-20,95
10	0,060	-36,66	24,44	-12,22	4,44	-1,11	0,17	-0,01	-20,95
11	0,066	-34,86	19,78	-7,18	1,37	0,00	-0,05	0,00	-20,95
12	0,072	-29,66	7,55	3,78	-3,59	1,11	-0,14	0,00	-20,94
13	0,078	-21,55	-7,55	11,63	-3,59	0,00	0,14	-0,01	-20,94
14	0,084	-11,33	-19,78	9,89	1,37	-1,11	0,05	0,01	-20,89

15	0,090	0,00	-24,44	0,00	4,44	0,00	-0,17	0,00	-20,18
16	0,096	11,33	-19,78	-9,89	1,37	1,11	0,05	-0,01	-15,81
17	0,102	21,55	-7,55	-11,63	-3,59	0,00	0,14	0,01	-1,08
18	0,108	29,66	7,55	-3,78	-3,59	-1,11	-0,14	0,00	28,59
19	0,114	34,87	19,78	7,19	1,37	0,00	-0,05	0,00	63,14
20	0,120	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	0,17	0,01	79,06
	Max	36,66	24,44	12,22	4,44	1,11	0,17	0,01	79,06
	Min	-36,66	-24,44	-12,22	-3,59	-1,11	-0,17	-0,01	-20,95
	K	1	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00	0,27
								кД	3,773395

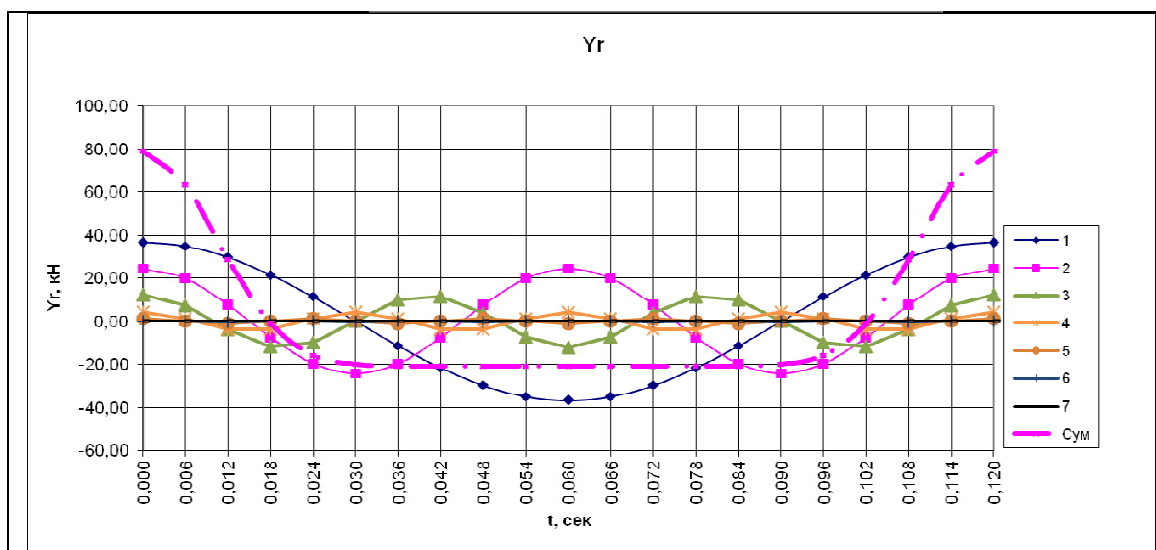


Рис. 6. Графики изменения величины составляющих  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$  и  $F_7$  и суммарной вынуждающей силы  $F_{\text{сумма}}$ , для семиступенчатого вибрационного устройства

На основе полученных данных, строим наглядную зависимость изменения коэффициента асимметрии от числа ступеней вибрационного устройства (рис. 7).

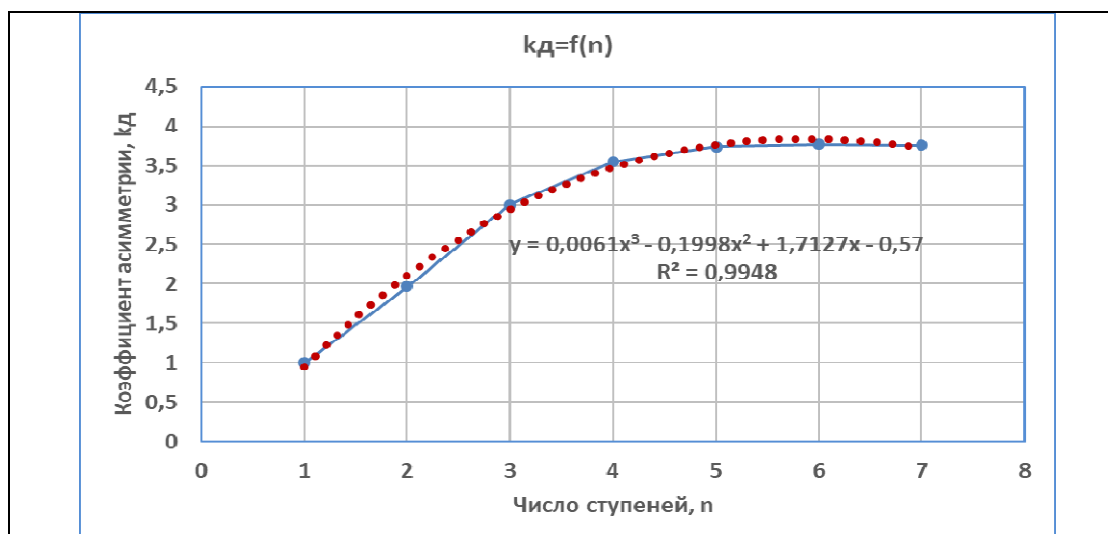


Рис. 7. Графики изменения величины коэффициента асимметрии  $k_d$  от числа ступеней вибрационного устройства

**Конфликт интересов**

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

**Список литературы**

1. Патент РФ №2523045. Способ направленного инерционного вибровозбуждения и дебалансный вибровозбудитель направленного действия для его осуществления/ Авт. Герасимов М.Д., Исаев И.К., Степанищев В.А./ заявитель БГТУ им. В.Г. Шухова, Заявка № 2013101101. Заявл. 09.01.2013., опубл. 20.07.2014. Бюл. №20.
2. Патент РФ №2787331. Одновальный планетарный вибратор направленных колебаний/ Авт. Герасимов М.Д., Рязанцев В.Г., Герасимов Д.М., Анциферов С.И., Любимый Н.С./ заявитель БГТУ им. В.Г. Шухова, Заявка №2022115644. Заявл. 09.06.2022., опубл. 09.01.2023. Бюл. №1.
3. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника. – СПб., Издательский дом «Руда и металлы», 2013. – 640 с.
4. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов. Справочник. Под ред. В.А. Баумана. Машиностроение. М.: 1970. – 548 с.
5. Вибрация в технике: Справочник. В 6-тит./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). М.: Машиностроение, 1981. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. 509 с

**Formation of the image of a polyharmonic vibration device with asymmetric oscillations based on the method of trigonometric function in a Fourier series**

Gerasimov M. D., Ryazantsev V.G.

*Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov  
308012, Russia, Belgorod, Kostukova st., 46*

When operating a multi-stage unbalanced vibration device with asymmetric oscillations, operating with multiple rotational frequencies of the unbalanced shafts, it may be necessary to smoothly change the rotational frequencies of the unbalanced shafts, while maintaining their multiple ratio. The question arises, how will the total value of the driving force behave when changing the rotational speeds of the unbalance shafts, while maintaining their multiple ratio and maintaining the largest value of the asymmetry coefficient of the magnitude of the driving force for a multistage vibration device? The article is devoted to the formation of a methodology for designing multi-stage vibration devices with asymmetric vibrations and control of the value of its total driving force using technological, rather than design, parameters.

*Keywords:* asymmetric oscillations, ideal law, Fourier series, driving force, asymmetry coefficient.