

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»**

**КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ**

Направление: Механика и математическое моделирование  
Курс, группа: 4-33

**Карпова Александра Владимировна  
Выпускная квалификационная работа  
«Формирование опорных спектров для диагностики  
асинхронных электродвигателей»**

Руководитель: к.т.н., доц.  
Колобов А.Б.

Иваново, 2017

# Задачи:

- \* разработка алгоритмов вибродиагностики дефектов электромагнитного происхождения;
- \* формирование опорных спектров распространенных эксплуатационных дефектов;
- \* выбор оптимальной разрешающей способности измерительно-анализирующей аппаратуры;

# Технические характеристики и расчетные основные частоты рассматриваемого электродвигателя

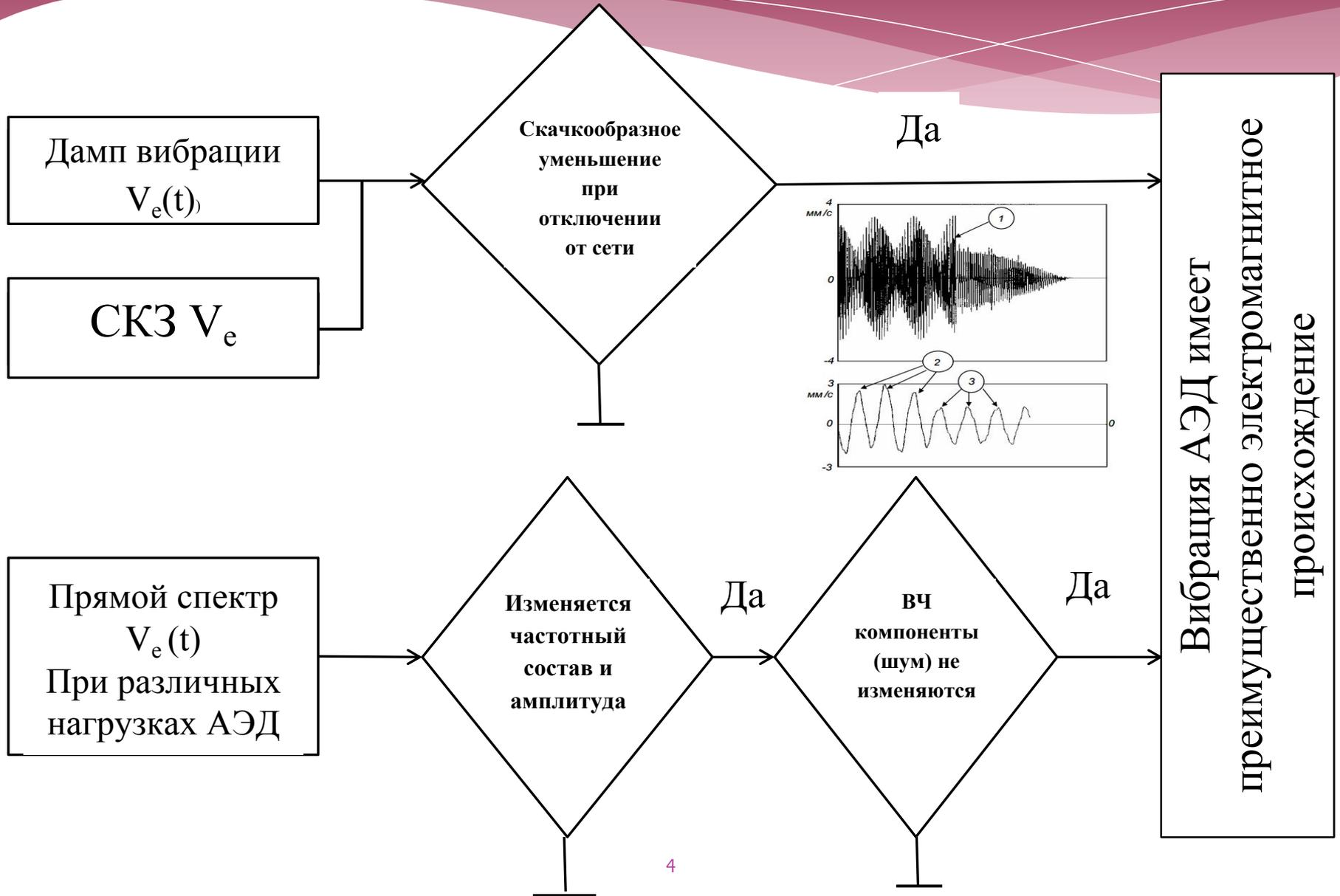
## Технические

1. Тип электродвигателя – трехфазный короткозамкнутый серии 4А, закрытый, обдуваемый, с синхронной частотой вращения 3000 об/мин 4А 160 М2.
2. Мощность электродвигателя (N) – 18,5 кВт.
3. Относительное скольжение ротора (s) – 0.021.
4. Число пар полюсов электродвигателя (p) – 1.
5. Частота питающего напряжения (fu) – 50 Гц.

## Расчетные

1. Синхронная магнитная частота (частота вращения магнитного поля):  $f_c = \frac{f_u}{p} = \frac{50}{1} = 50$  Гц.
2. Частота вращения ротора:  $f_0 = f_c(1 - s) = 50 \cdot (1 - 0,021) = 48,95$  Гц.
3. Зубцовая (пазовая) частота статора:  $f_{zc} = f_0 \cdot z_c = 48,95 \cdot 36 = 1762,2$  Гц, где  $z_c=36$  – число пазов статора.
4. Зубцовая (пазовая) частота ротора:  $f_{zp} = f_0 \cdot z_p = 48,95 \cdot 28 = 1370,6$  Гц, где  $z_c=28$  – число пазов ротора.

# Алгоритм выяснения природы вибрации АЭД



# Расчетные частоты спектра вибрации электродвигателя

N	Название дефекта	НЧ вибрация	ВЧ вибрация	Примечание
1	Дефекты обмоток статора	$2f_U$ (P, T)	$kf_{zp} \pm 2f_U$	
2	Дефекты обмоток ротора (беличьей клетки)	$kf_o \pm 2k_1 S f_U$ (P, T)	$kf_{zp} \pm 2k_1 S f_U Z_p$	
3	Статический эксцентриситет зазора	$2f_U$ (P, T)	$kf_{zp} \pm 2f_U$	
4	Статический эксцентриситет с насыщением зубцов	$2f_U$ (P, T) $2(k+1)f_U$ (P, T)	$kf_{zp} \pm 2k_1 f_U$ ( $k_1 \geq 2$ )	
5	Динамический эксцентриситет зазора	$f_o$ (P) $2f_o$ (T) $2f_U \pm f_o$ (P)	$kf_{zp} \pm k_1 f_o$ $kf_{zc}$	
6	Динамический эксцентриситет с насыщением зубцов	$kf_o \pm 2k_1 f_U S/p$ (P, T) $2f_U \pm k_1 f_o$ (P) $2kf_U \pm k_1 f_o$ (T)	$kf_{zp} \pm k_1 f_o$ $kf_{zc} \pm k_1 f_o$ ( $k_1 \geq 3$ )	
7	Несимметрия напряжения питания	$2f_U$ (T)	–	У всех АЭД одной сети
8	Нелинейные искажения напряжения	$6kf_U$ (P, T)	$kf_{zp} \pm 4k_1 f_U$	У всех АЭД одной сети

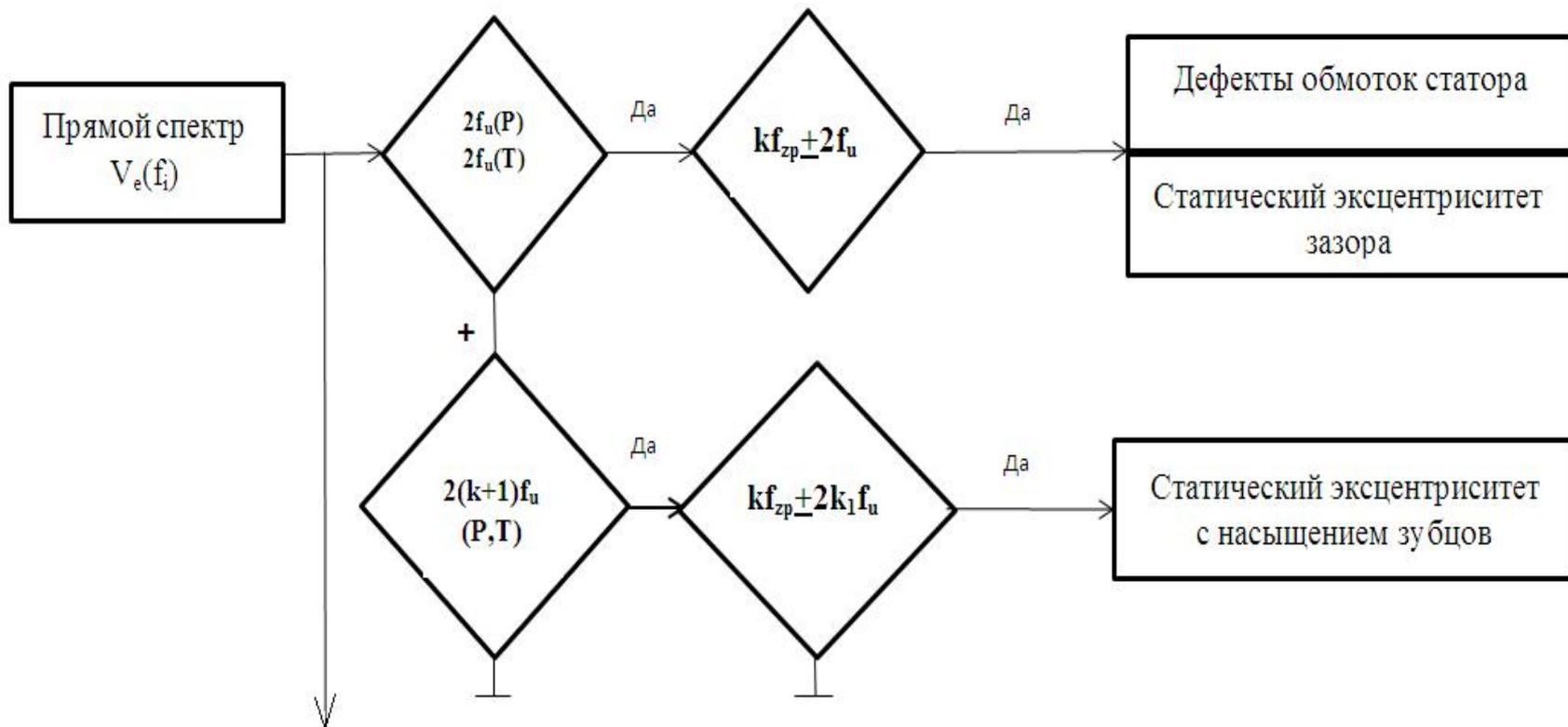
# Информативные частоты

№	Название дефекта	НЧ вибрация	ВЧ вибрация	Примечание
1	Дефекты обмоток статора	100	1470,6 1270,6 2841,2 2641,2 4211,8 4011,8	
2	Дефекты обмоток ротора (беличьей клетки)	46,9 51,1 44,8 53,2 42,7 55,3 95,8 100 93,7 102,1 91,6 104,2 144,8 149 142,7 151,1 140,6 153,2	1311,8 1429,4 1253 1488,2 1194,2 1547 2682,4 2800 2623,6 2858,8 2564,8 2917,6 4053 4170,6 3994,2 4229,4 3953,4 4288,2	
3	Статический эксцентриситет зазора	100	1270,6 1470,6 2641,2 2841,2 4011,8 4211,8	
4	Статический эксцентриситет с насыщением зубцов	100 200 300 400	1170,6 1570,6 1070,6 1670,6 2541,2 2941,2 2441,2 3041,2 3911,8 4311,8 3811,8 4411,8	
5	Динамический эксцентриситет зазора	48,95 97,9 51,1 149	1321,7 1419,6 1272,7 1468,5 1223,8 1517,5 2692,3 2790,2 2643,3 2839,1 2594,4 2888,1 4062,9 4160,8 4013,9 4209,7 3965 4258,7 1762,2 3524,4 5286,6	

		46,9 51,1 44,8 53,2 42,7 55,3 95,8 100 93,7 102,1 91,6 104,2 144,8 149 142,7 151,1 140,6 153,2		
6	Динамический эксцентриситет с насыщением зубцов	51,1 149  51,1 149 2,1 197,9 151,1 249 102,1 297,9 251,1 349 202,1 398  246,9 153,2 346,9 53,2 446,9	1223,8 1517,5 2594,4 2880,1 3965 4258,7  1615,4 1909,1 3377,6 3671,3 5139,8 5433,5	
7	Несимметрия напряжения питания	100	-	У всех АД одной сети
8	Нелинейные искажения напряжения	300 600 900	1170,6 1570,6 970,6 1770,6 770,6 1970,6 2541,2 2941,2 2341,2 3141,2 2141,2 3341,2 3911,8 4311,8 3711,8 4511,8 3511,8 4711,8	У всех АД одной сети

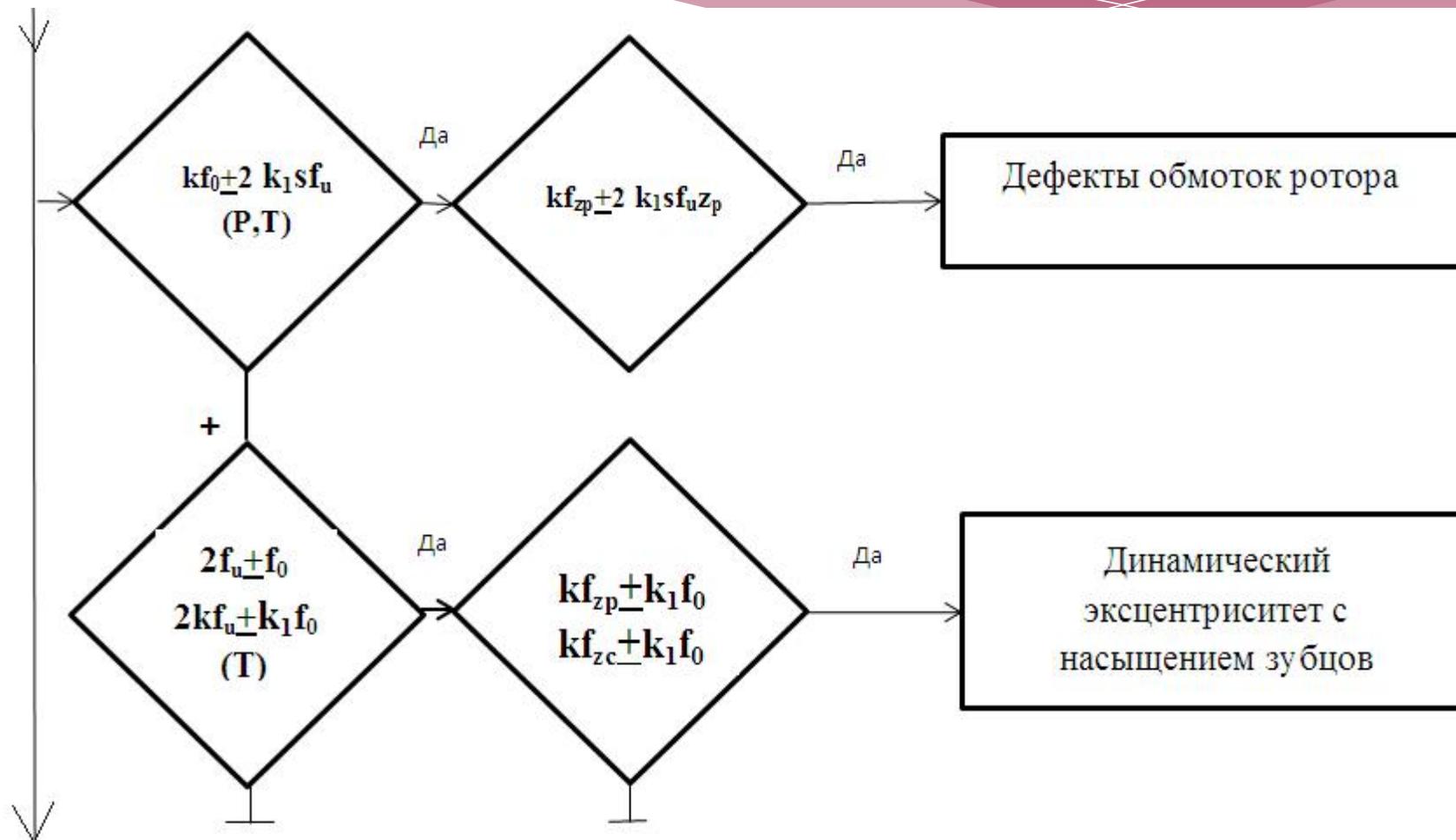
# Алгоритм диагностики дефектов электромагнитной природы АЭД

1 часть:



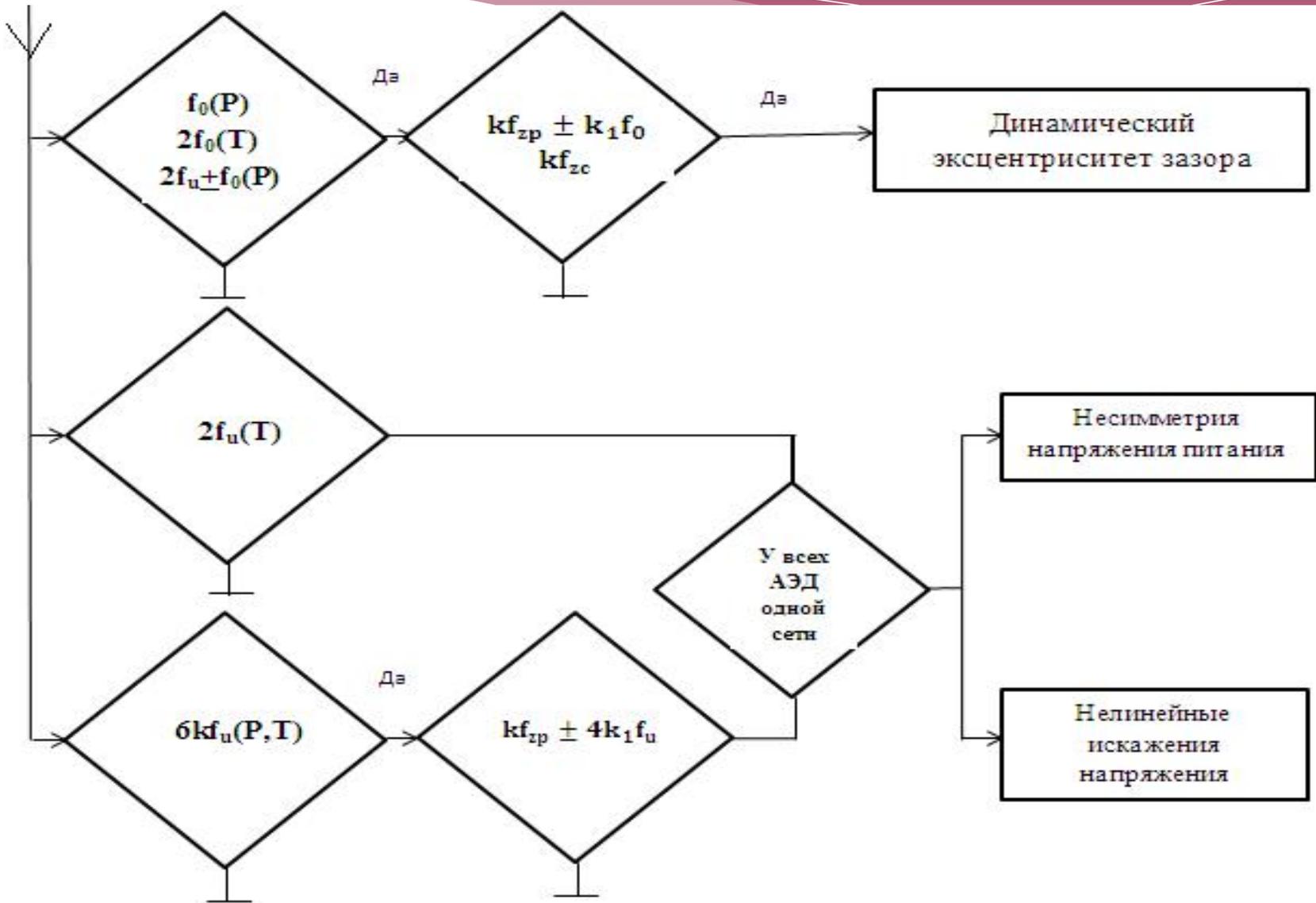
продолжение

2 часть:



продолжение

### 3 часть:



# Опорные спектры дефектов электродвигателя

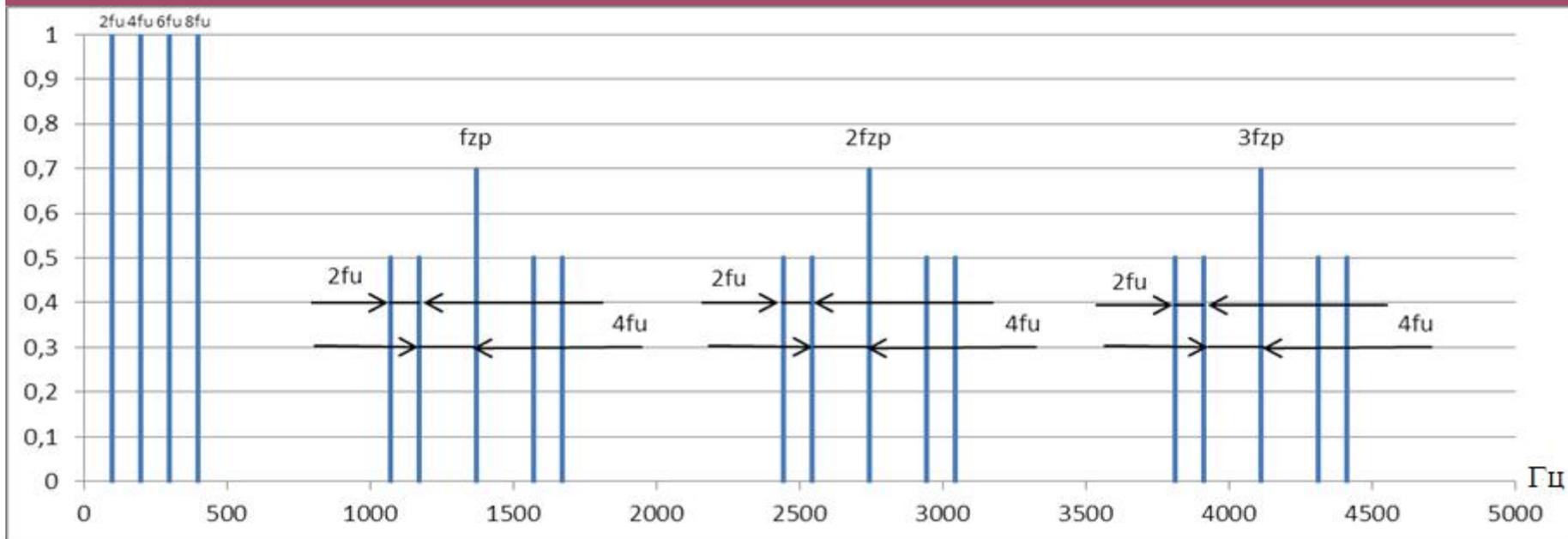


Рис.1. Общий вид спектра дефекта статического эксцентриситета с насыщением зубцов

Основные признаки дефекта:

Кратные двум частоты питающей сети ( $2f_u=100$  Гц,  $4f_u=200$  Гц,  $6f_u=300$  Гц,  $8f_u=400$  Гц)

Периодические компоненты: - гармоники зубцовой частоты ротора ( $k \leq 3$ )  
- боковые составляющие гармоник модуляции ( $k_1 \geq 2$ ) с шагом  $\mp 4f_u = 200$  Гц и  $\mp 6f_u = 300$  Гц

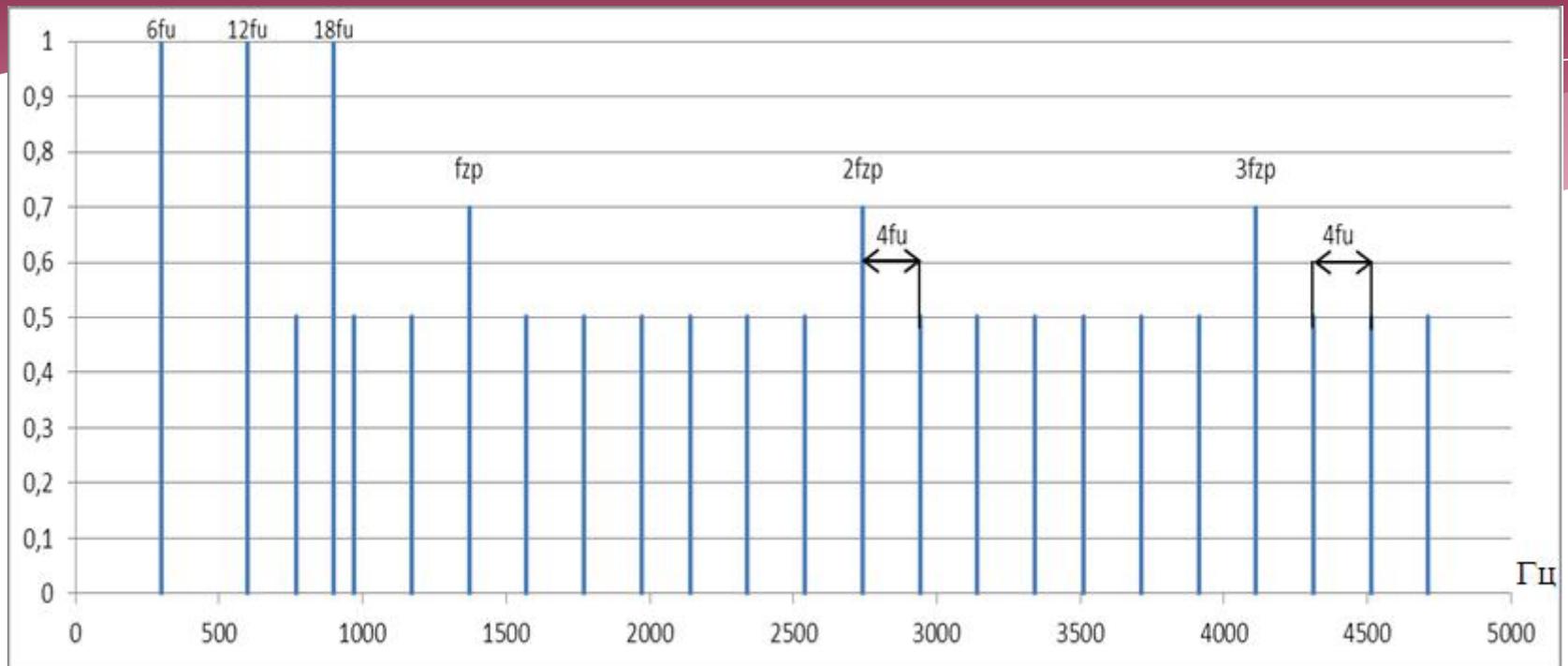


Рис.2. Общий вид спектра дефекта нелинейного искажения напряжения

Основные признаки дефекта:

Кратная шести частота питающей сети при  $k=1,2,3$  ( $6fu=300$  Гц,  $12fu=600$  Гц,  $18fu=900$  Гц)

Периодические компоненты: - гармоники зубцовой частоты ротора ( $k \leq 3$ )  
 - боковые составляющие гармоник модуляции ( $k_1=1,2,3$ ) с шагом  $F_{4fu} = 400$  Гц.

# Выбор оптимальной разрешающей способности измерительных средств

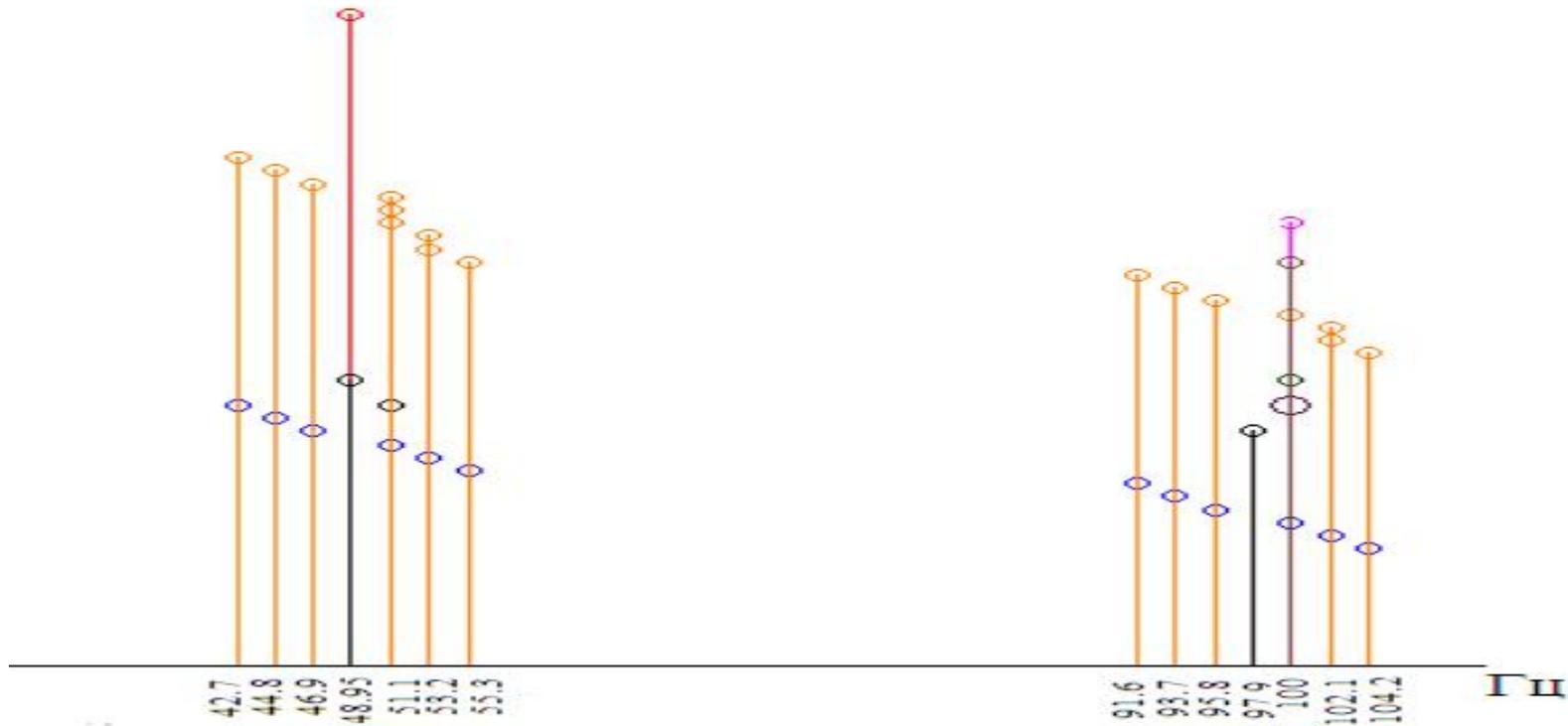


Рис.3. Гистограмма распределения НЧ вибрации электродвигателя в диапазоне 42.7 Гц - 104.2 Гц

В результате расчетов информативных признаков, их группировки и статистического анализа выявлено, что для надежной диагностики перечисленных дефектов:

1. В НЧ области (до 600 Гц) можно использовать спектральный анализатор с числом спектральной линии не менее 400 ;
2. В ВЧ области при максимальной частоте вибрации (около 5 кГц) число спектральной линии должно быть не менее 800; что позволяет получить ширину спектральной линии около 5 Гц, достаточную для разделения боковых компонент

# Опорные спектры дефектов АЭД с учетом изменения скольжения

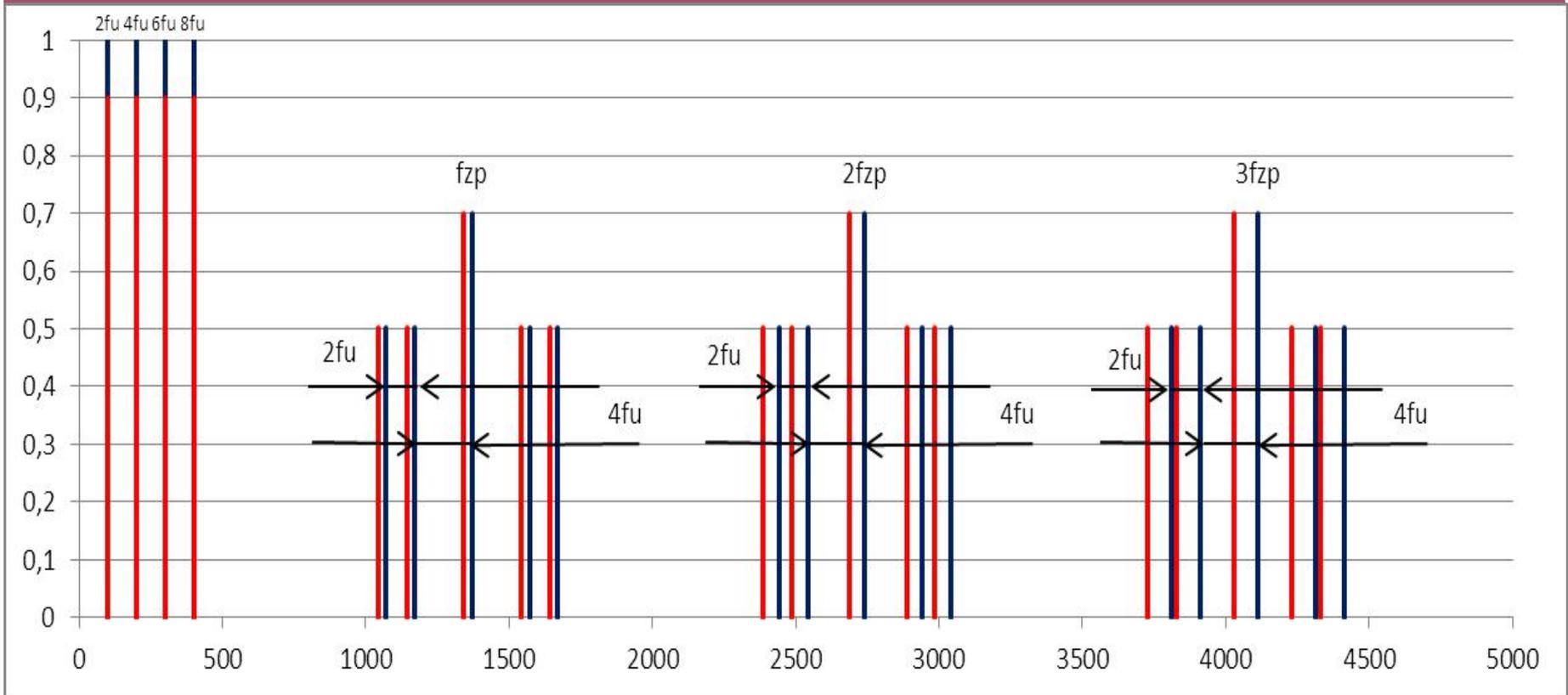


Рис.4. Общий вид спектра дефекта статического эксцентриситета с насыщением зубцов с учетом изменения скольжения

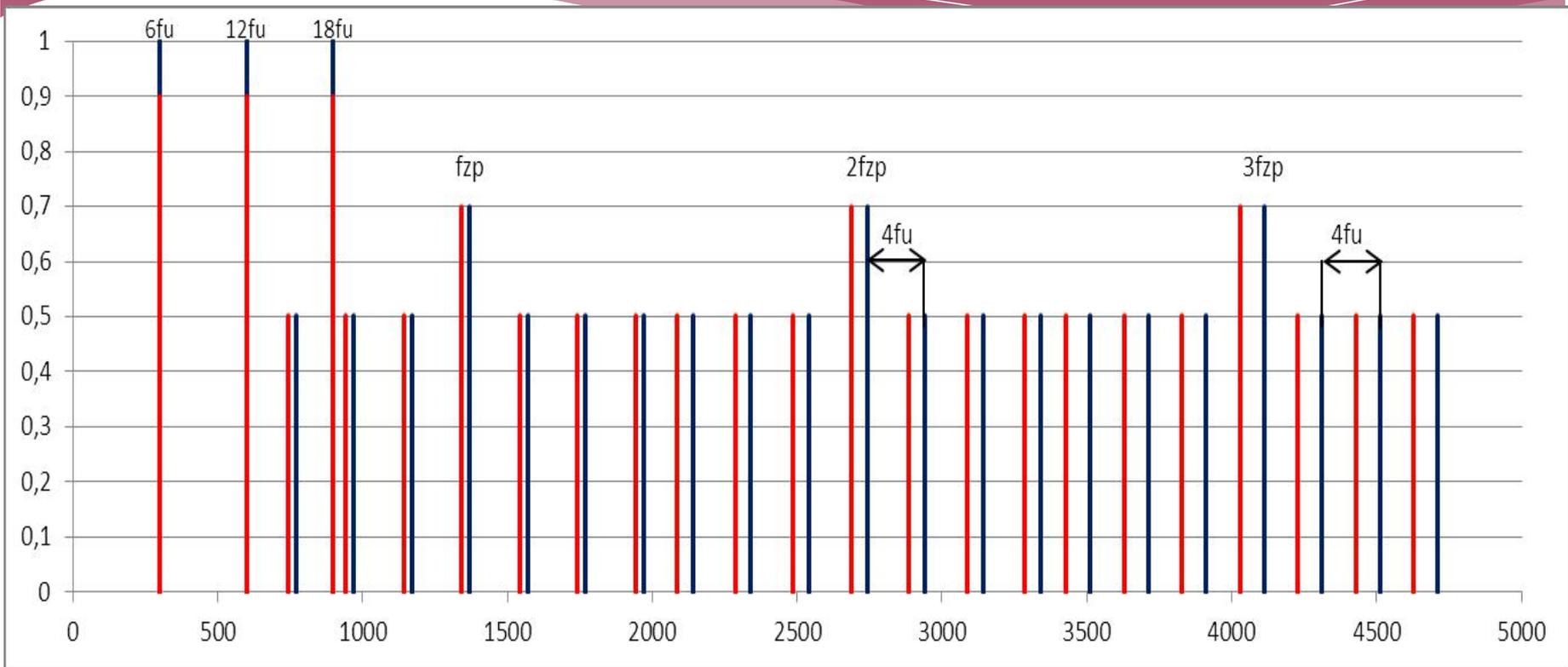


Рис.5. Общий вид спектра дефекта нелинейного искажения напряжения с учетом изменения скольжения

# Заключение

В данной работе были рассмотрены основные типы дефектов асинхронного электродвигателя, составлен алгоритм выяснения природы вибрации АЭД. Также разработан алгоритм диагностики дефектов электромагнитной природы АЭД, рассчитаны информативные частоты появления этих дефектов.

Составлены опорные спектры основных дефектов и на основе статистического анализа вероятности появления частот выбрана минимальная разрешающая способность спектроанализатора, позволяющая достоверно диагностировать рассмотренные дефекты. Составлены спектры дефектов электродвигателя с учетом изменения скольжения.