

# Планирование экспериментов применительно к объекту исследований

# Объект исследования

*Динамика перемещения  
подвижной части приводных  
электромеханических систем  
электроаппаратов.*

# Чёрный ящик



# Алгоритм построения факторного эксперимента

- Выбор числа факторов
- Проверка на физическую реализуемость
- Выбор диапазона изменений каждого фактора
- Проверка на физическую реализуемость сочетаний факторов
- Выбор центральной точки плана
- Выбор плана эксперимента

# Математическая модель индукционно-динамического механизма с емкостным накопителем

$$v = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^7 b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^7 b_{ii} x_i^2$$

# Факторы эксперимента

$$v = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^7 b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^7 b_{ii} x_i^2$$

- $x_1$  – число витков катушки-индуктора ( $n$ );
- $x_2$  – диаметр провода катушки ( $d$ ) в мм;
- $x_3$  – жесткость нагрузочной характеристики вакуумной камеры ( $k$ ), н/мм;
- $x_4$  – начальное усилие поджатия контактов камеры ( $F_0$ ), Н;
- $x_5$  – масса подвижных частей ( $m$ ), кг;
- $x_6$  – емкость накопительного конденсатора ( $C$ ), мкФ;
- $x_7$  – напряжение на конденсаторе ( $U$ ), В.

# Нормирование параметров

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}$$

где  $\bar{x}_i$  – нормированное значение переменной;

$x_i$  – реальное значение переменной;

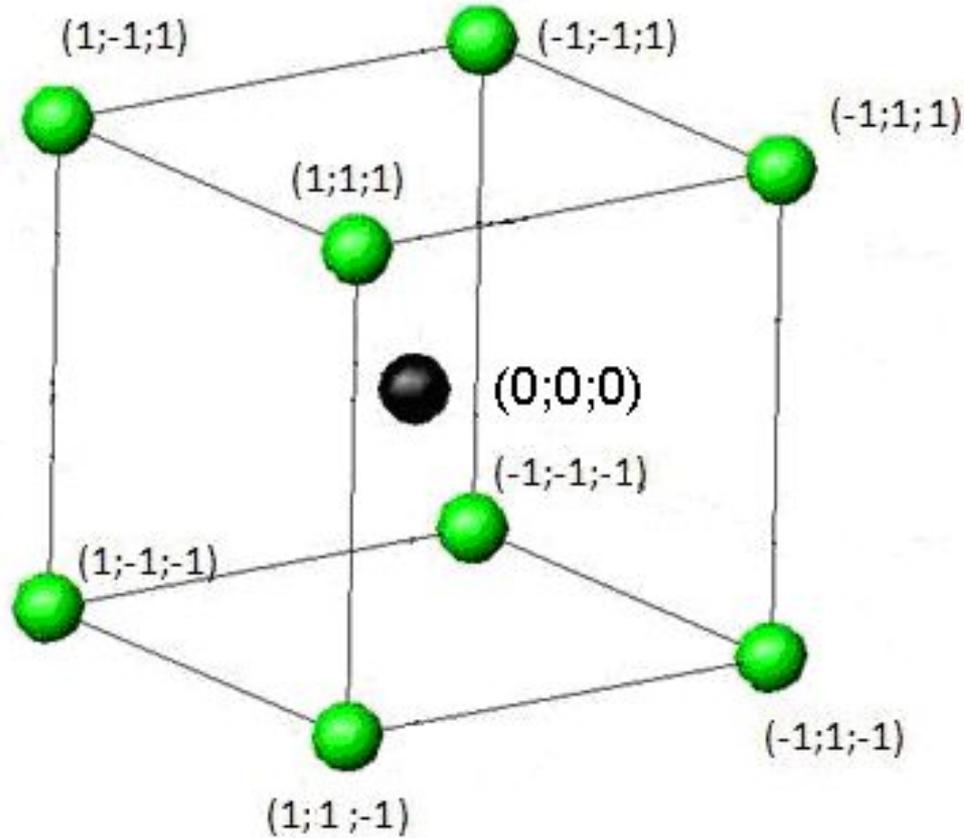
$x_{i0}$  – основной уровень параметра;

$\Delta x_i$  – интервал варьирования.

# Данные для нормировки параметров

Уровни	Параметры						
	X1	X2, мм	X3, Н/м м	X4, Н	X5, кг	X6, мкФ	X7, В
Основной уровень	80	1,0	10	100	2,5	300	1800
Интервал варьирования	30	0,25	3	30	0,5	50	400

# Центральный композиционный план для трёх факторов



# Критерии добавления «звёздных» точек

1. Равномерность дисперсии ошибки эксперимента (равномерное распределение информации по поверхности плана);
2. Ортогональность полученных функций относительно различных факторов.

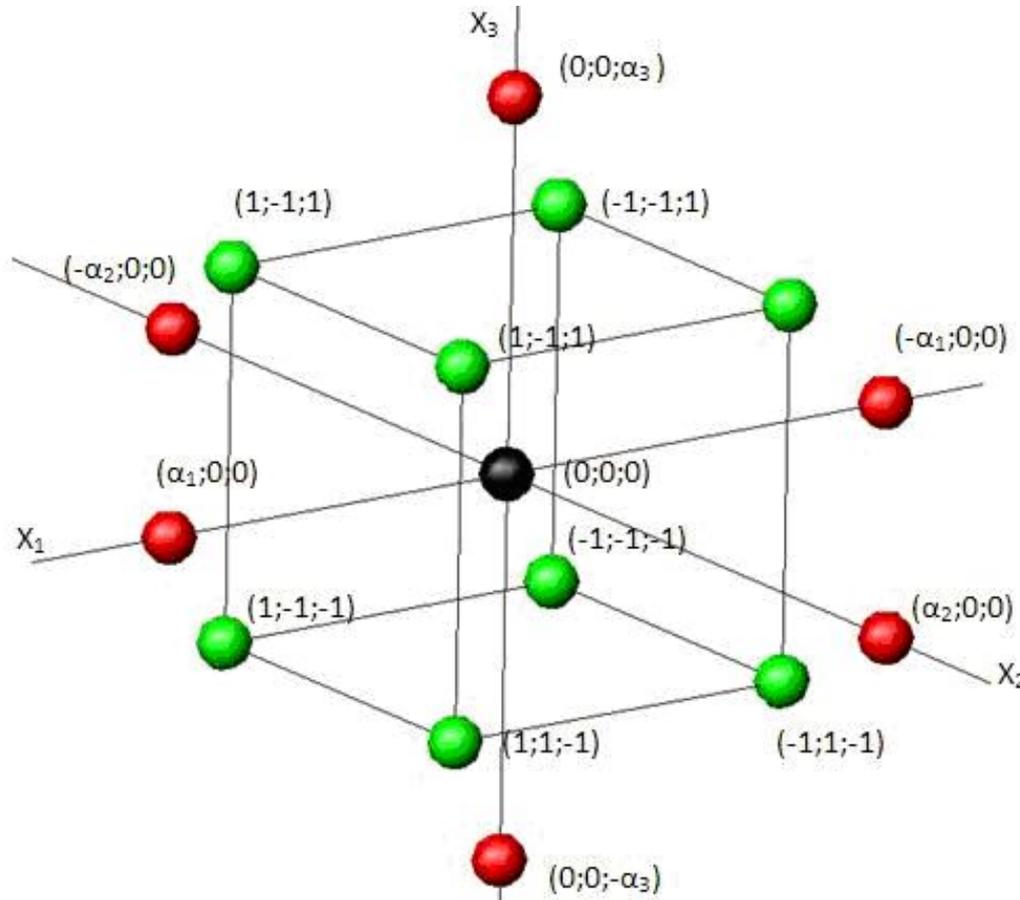
# Плечо «звёздной» точки

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{N \cdot 2^{k-2}} - 2^{k-1}}$$

$N$  – количество опытов

$k$  – количество факторов

# Ортогональный центральный композиционный план для трёх факторов





Истинные значения переменных подсчитываются по формуле:

$$x_i = \bar{x}_i \cdot \Delta x_i + x_{i0}$$

Коэффициенты вычисляются по формулам:

$$\bar{b}_0 = \frac{\sum_{u=1}^N x_{0iu} y_u}{N}, \quad \bar{b}_0 - \text{промежуточный результат для } b_0$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{2^k + 2\alpha^2}, \quad b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{y}_u}{2^k(1-\varphi) + 2\alpha^2(\alpha^2 - \varphi)},$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ju} x_{iu} \bar{y}_u}{2^k}, \quad b_0 = \bar{b}_0 - \varphi(b_{11} + \dots + b_{77})$$

$$\text{где } \varphi = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}{N} = \frac{2^k + 2\alpha^2}{N}$$

# Функция отклика

$$y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + \dots + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_1x_3$$

# Нахождение оптимума

- По стандартной процедуре получаем функцию, коэффициенты и проводим оптимизацию одной из стандартных программ.
- Во время проведения эксперимента отслеживаем значение  $Y$  так, чтобы получить его оптимальное значение