

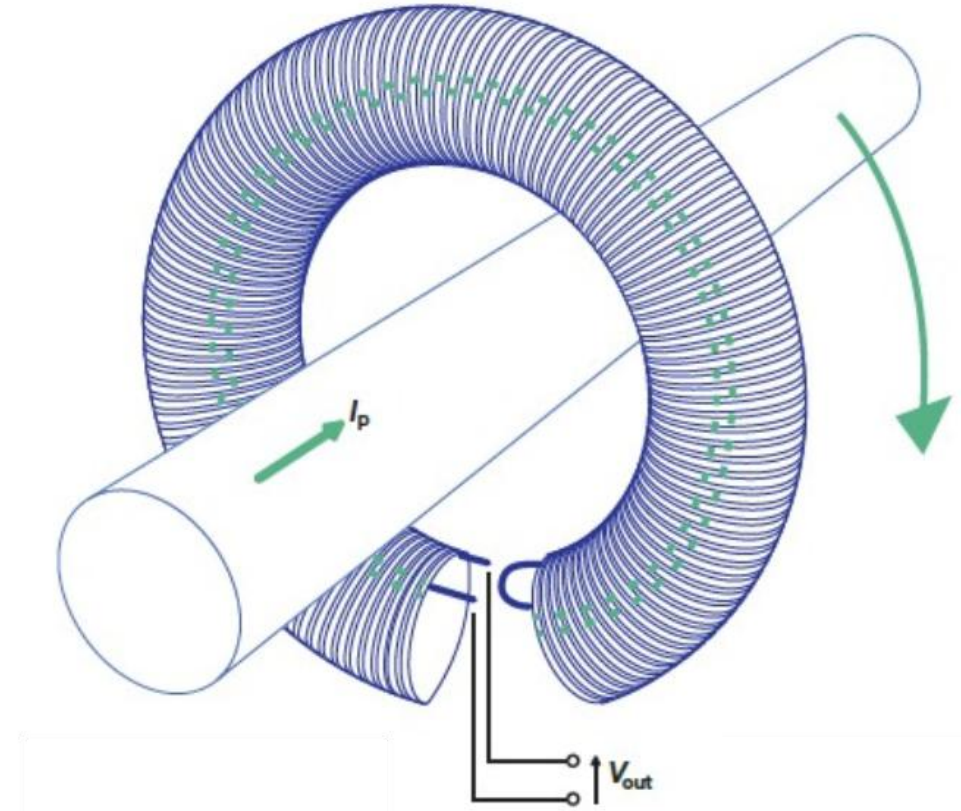
# Расчет влияния наклона витков катушки Роговского на измерения во внешнем магнитном поле

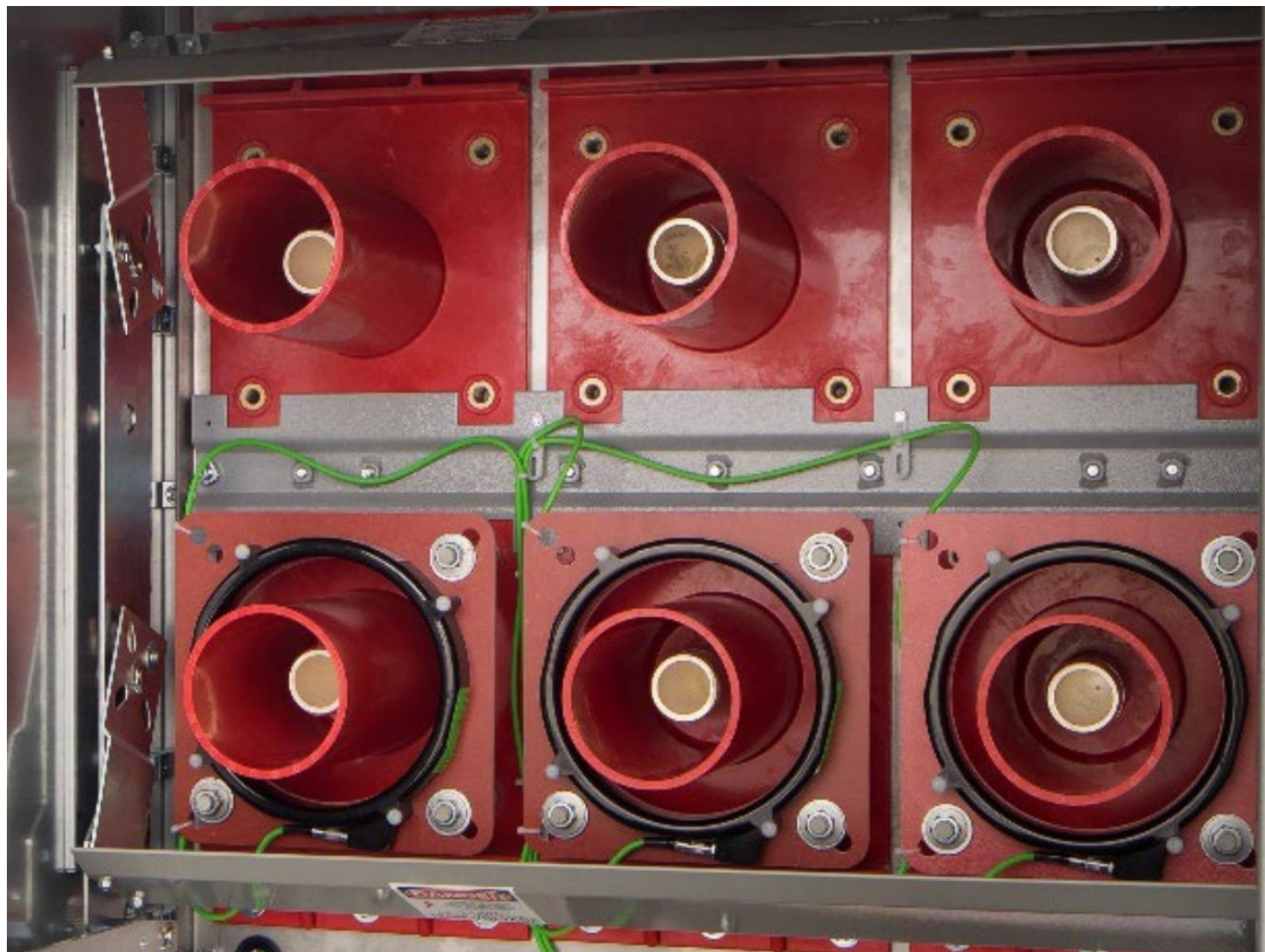
---

Инженерный центр «Энергосервис», **Андреев П.И.**  
Инженерный центр «Энергосервис», **Плакидин Р.С.**  
Научный руководитель: **Мокеев А.В.**

Архангельск  
2025

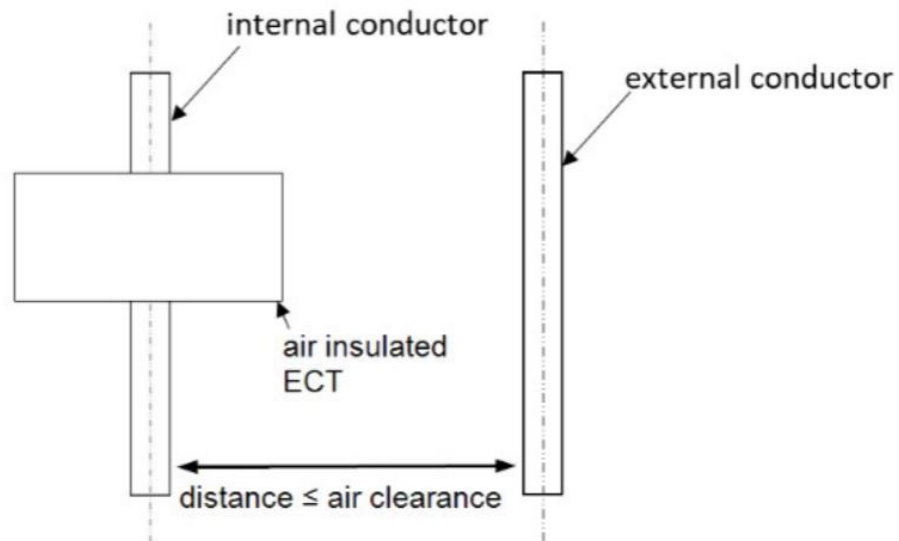
- Названа в честь Вальтера Роговского (Walter Rogowski and Wilhelm Steinhaus, публикация 1912).
- Нет магнитного сердечника (высокая линейность без насыщений)
- На выходе напряжение пропорциональное производной от тока (требует интегратора)
- Ориентировочно коэффициент трансформации  $\sim 1$  мВ/А (малые выходные напряжения, способность выдерживать большие токи)
- Современная катушка реализована как тороидальная катушка или катушка на печатных платах



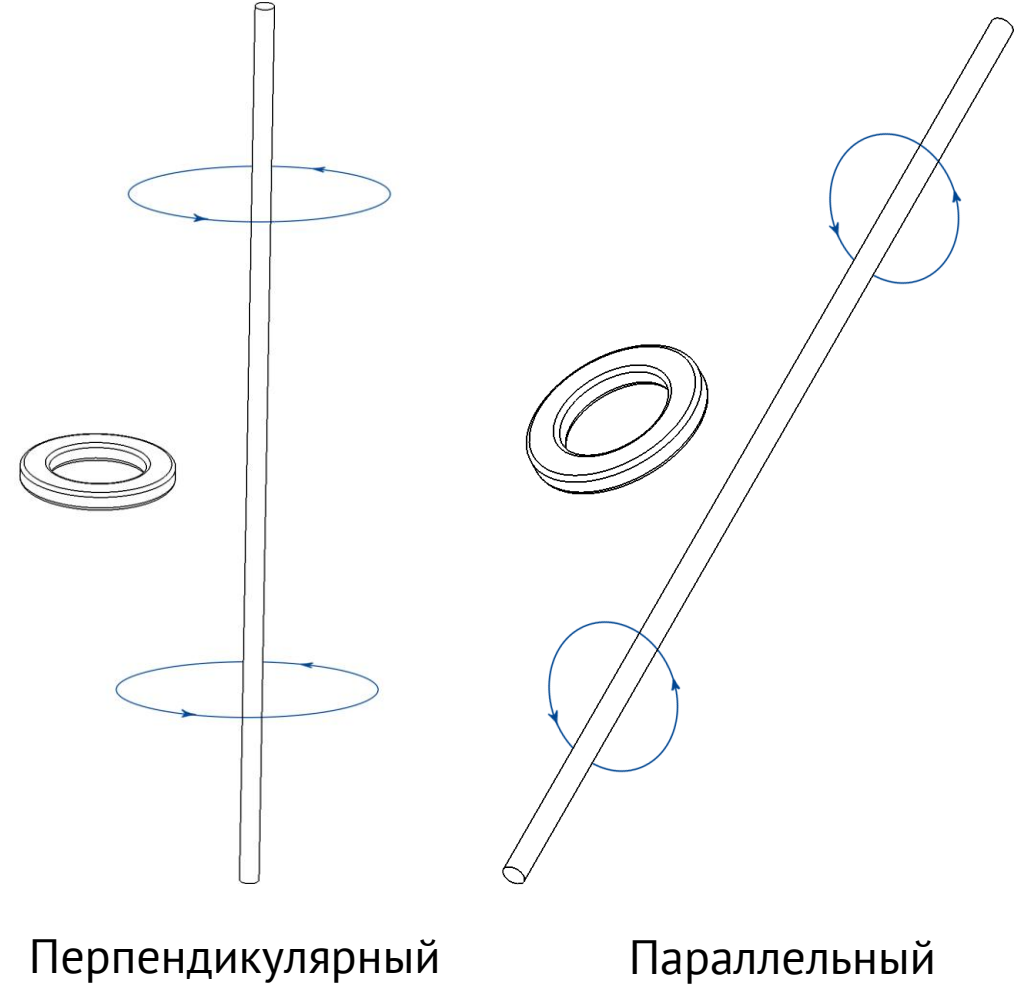


Стандарт IEC 61869-10 (ГОСТ Р 59408-2021) нормирует допустимую величину внешней наводки от соседних фаз на LPCT (low power current transformers). Тест проводится в положении перпендикулярном плоскости катушки на расстоянии изоляции.

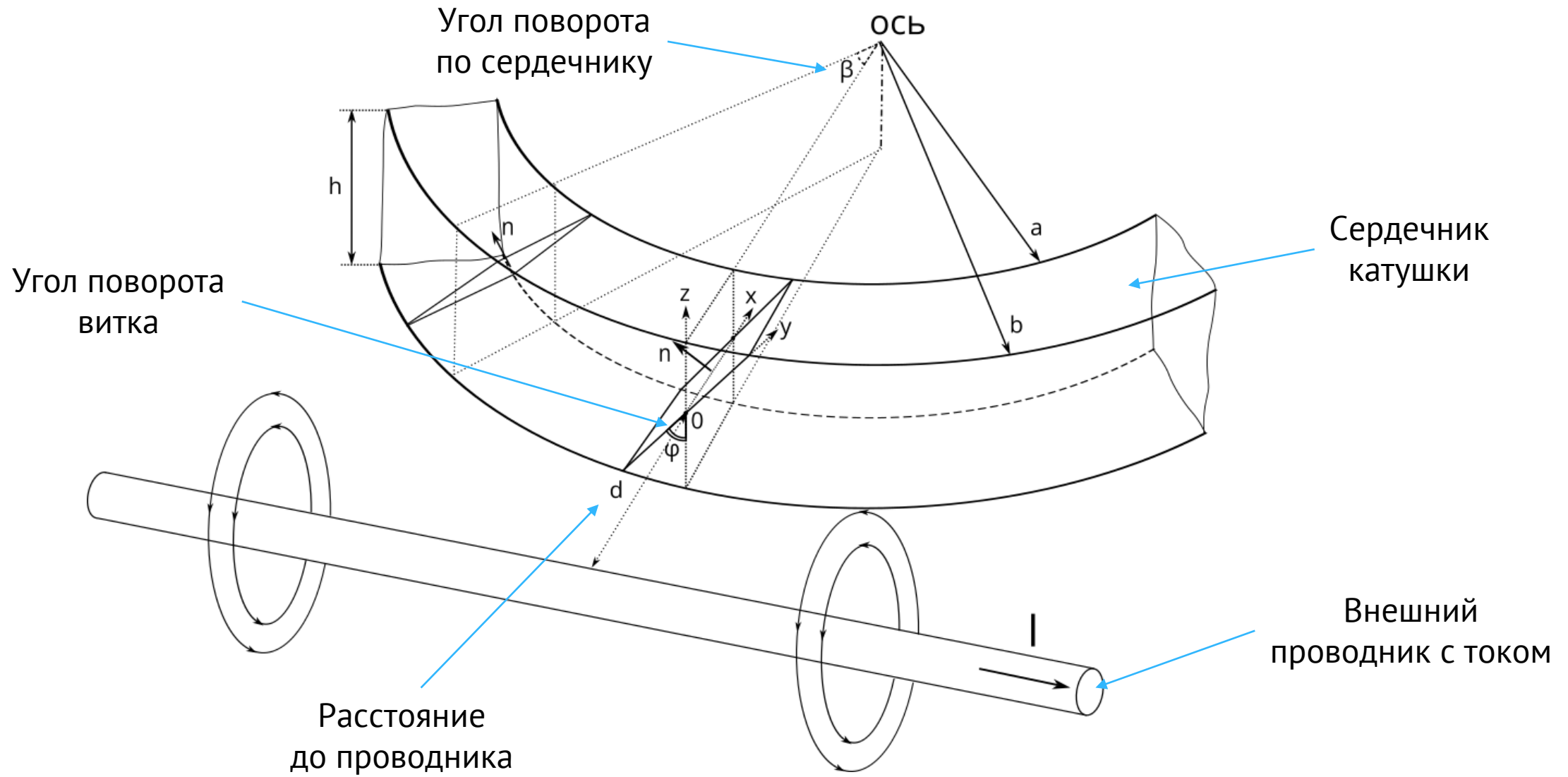
Величина наводки не должна превышать  $1/3$  пределов погрешности согласно заявленному классу точности.



## Тесты



## Общий вид



Магнитный поток через виток площадью  $S$  можно выразить как:

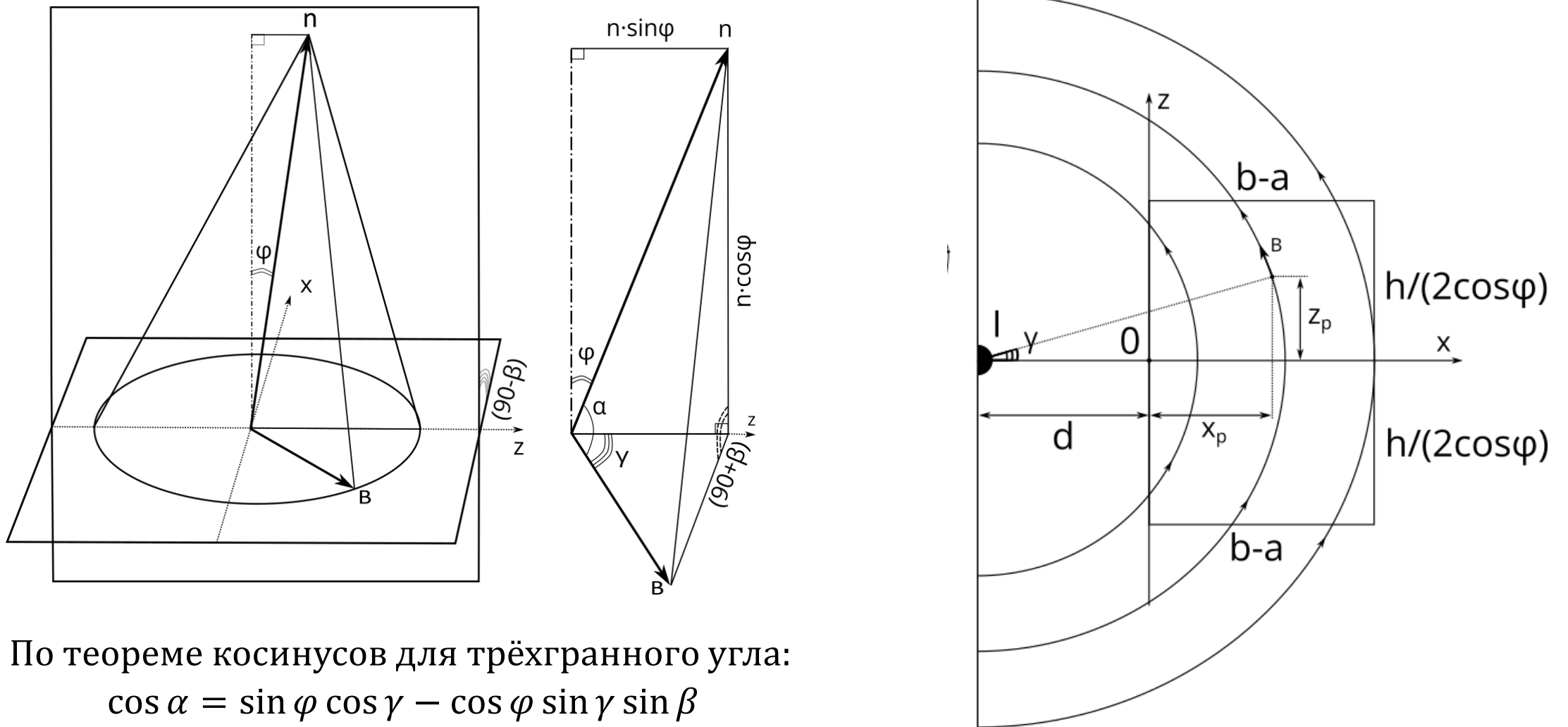
$$\Phi_B = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S},$$

где  $\mathbf{B}$  – вектор магнитной индукции,  $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$  – скалярное произведение магнитной индукции и элемента площади  $d\mathbf{S}$ .

Магнитная индукция от проводника с током:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2 \pi r},$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\mu$  – магнитная проницаемость среды,  $I$  – ток, протекающий по проводнику,  $r$  – расстояние до проводника.



Общее решение:

$$\Phi_B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi} \int_0^{b-a} \int_{-\frac{h}{2\cos\varphi}}^{\frac{h}{2\cos\varphi}} \frac{dx dy}{r} \cos(\alpha) = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi} \int_0^{b-a} \int_{-\frac{h}{2\cos\varphi}}^{\frac{h}{2\cos\varphi}} \frac{dx dy}{r} (\sin\varphi \cos\gamma - \cos\varphi \sin\gamma \sin\beta)$$

$$r = \sqrt{(d + b(1 - \cos\beta) + x \cos\beta - y \sin\varphi \sin\beta)^2 + (y \cos\varphi)^2}$$

$$\gamma = \arctan \frac{y \cos\varphi}{r}$$

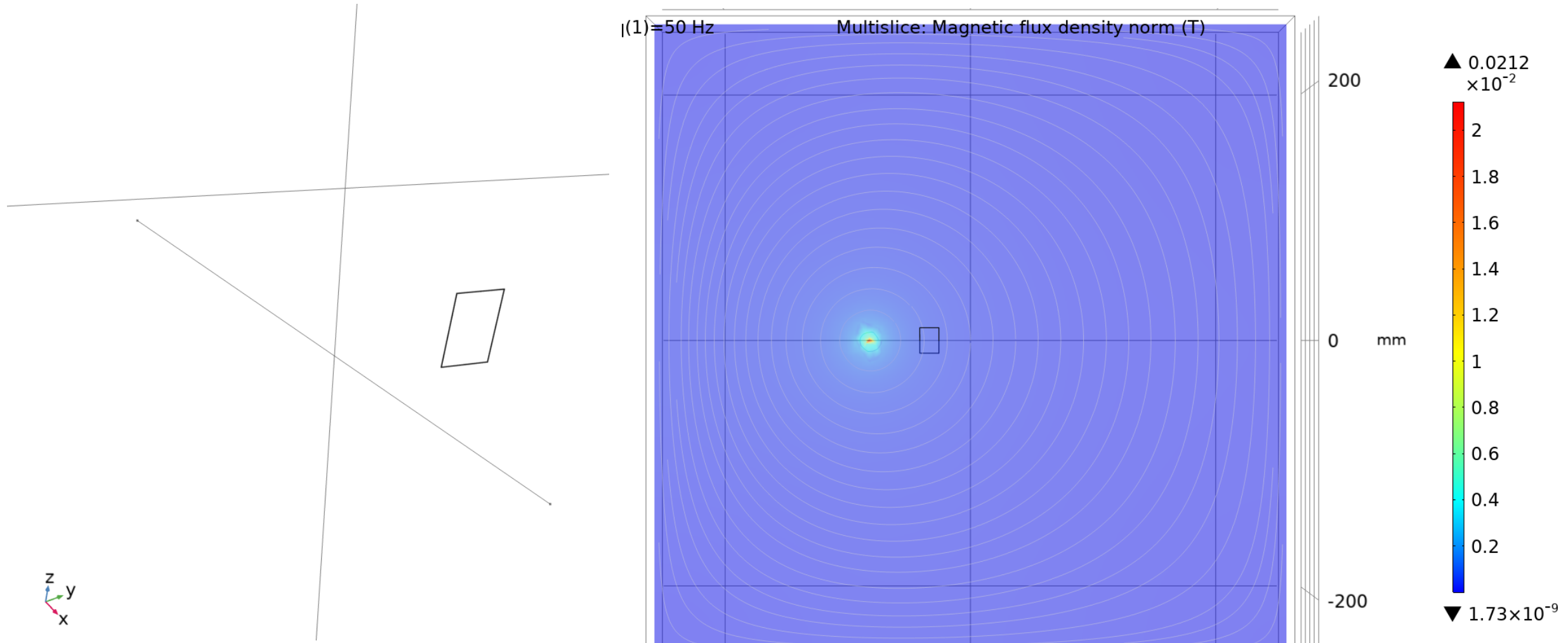
Напряжение на витке:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

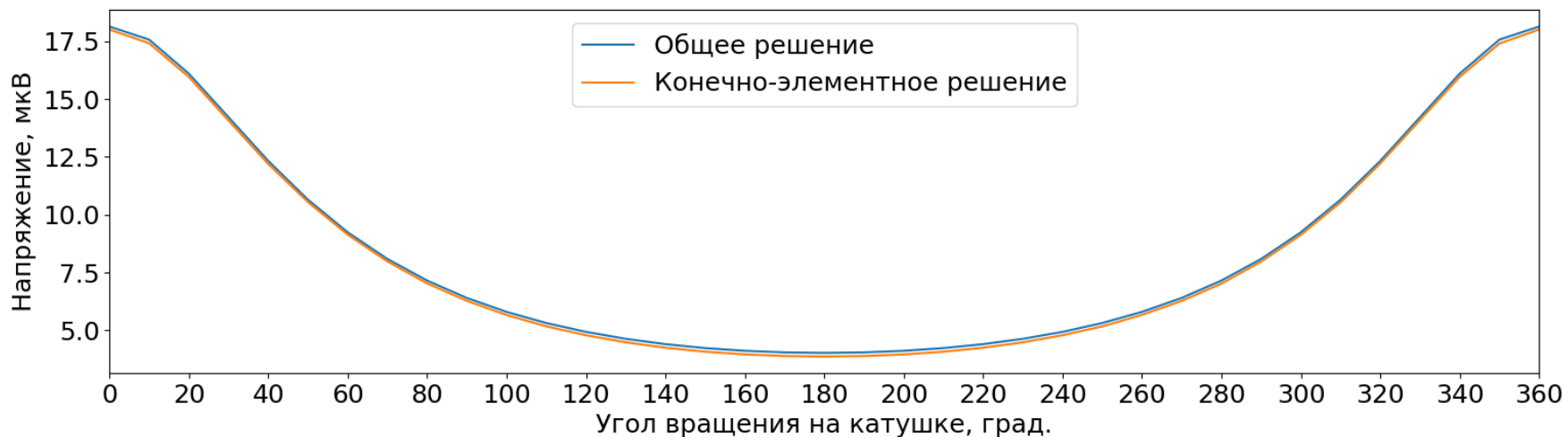
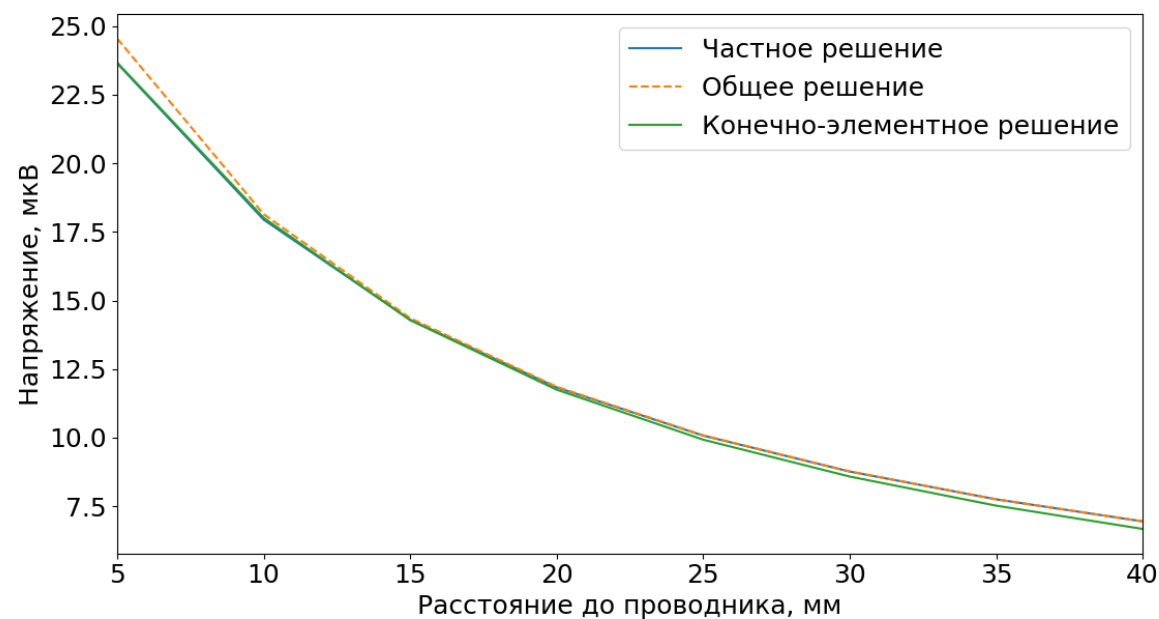
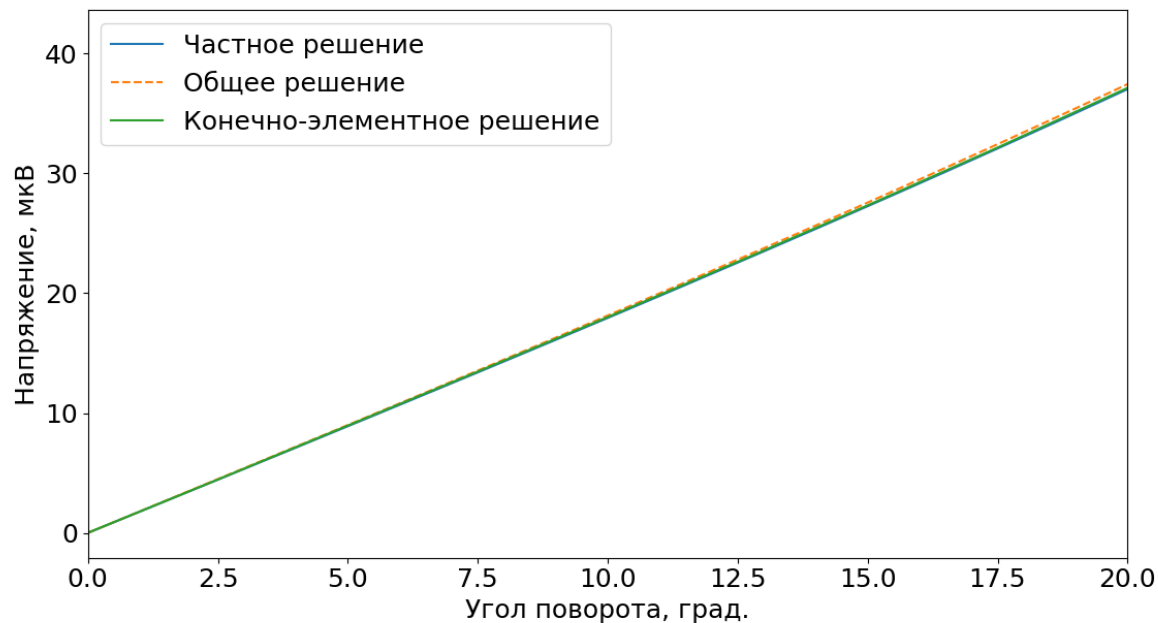
Напряжение на катушке:

$$U_{\text{amp}} = \mu_0 \mu I_{\text{amp}} f \sum_{i=0}^{N-1} \int_0^{b-a} \int_{-\frac{h}{2\cos\varphi}}^{\frac{h}{2\cos\varphi}} \frac{dx dy}{r} (\sin\varphi \cos\gamma - \cos\varphi \sin\gamma \sin\beta), \quad \beta = \frac{2\pi}{N} i$$

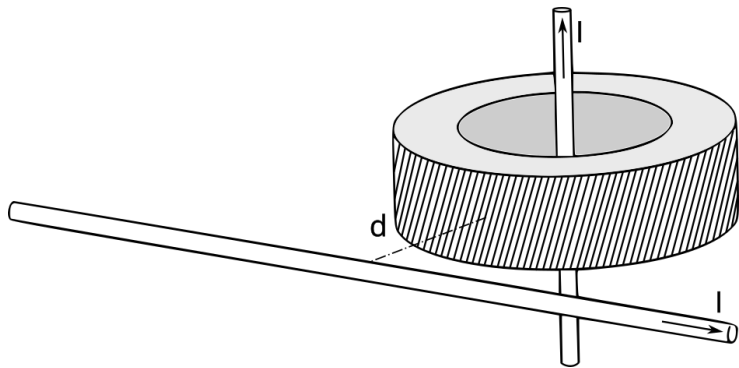
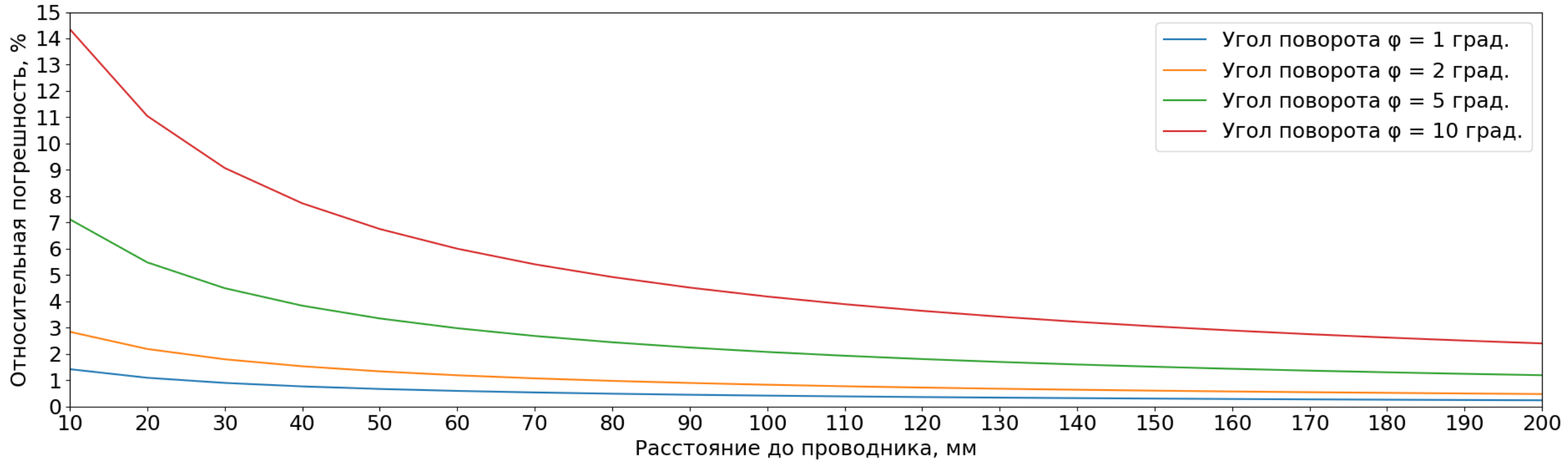
Решение интеграла возможно получить путем численного интегрирования.



Для одного витка решение также можно получить методом конечно-элементного анализа.



Катушка  $a = 25$  мм,  
 $b = 40$  мм,  $h = 20$  мм на  
расстоянии  $d = 10$  мм и  
токе  $I = 100$  А,  $f = 50$  Гц.



Наводка на катушку  $a = 25$  мм,  $b = 40$  мм,  $h = 20$  мм,  $N = 1000$  сравнивается со значением выходного напряжения, которое индуцируется при нормальном прохождении тока с такой же величиной через центр катушки.

- Наклон витков значительно повышает чувствительность катушки к внешнему магнитному полю.
- Достаточно наклонить витки всего на несколько градусов, чтобы на расстоянии 200 мм иметь влияние более 0.5%.
- При усилении тока во внешнем проводнике относительно внутреннего относительная погрешность будет еще больше.
- В реальной системе все витки не будут наклонены на один и тоже же угол. Логично введение в расчет нормального распределения.

