



РФЯЦ-ВНИИЭФ  
РОСАТОМ

# Принцип взаимности при предельных оценках токов, возбуждаемых электромагнитными полями в экранах кабелей

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

**Докладчик: Гетманец Александр Никитович**

Прудкой Н.А., Лебединская А.В.

# Принцип взаимности при определении (в процессе испытаний и численных экспериментов) предельных характеристик воздействия электромагнитных полей на объекты



**Принцип взаимности** для получения предельных характеристик воздействия электромагнитных полей на объекты при испытаниях и численном моделировании.

$$[\vec{E}_1 \times \vec{H}_2] = [\vec{E}_2 \times \vec{H}_1]$$

$$\begin{array}{c} \vec{E}_1 \\ \bullet \\ \vec{H}_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \vec{H}_1 \\ \bullet \\ \vec{E}_2 \end{array}$$

## Методический подход

В чувствительных местах объекта устанавливается источник электромагнитного поля ( $\vec{E}$  или  $\vec{H}$ ). Численным моделированием определяются резонансные частоты и диаграмма направленности излучения. Направления максимума диаграммы и соответствующая поляризация напряженности поля являются наиболее опасными для объекта при

# Предельные оценки параметров тока, возбуждаемого электромагнитным полем в экране кабеля, соединяющего блоки аппаратуры

Проведем расчет предельных параметров тока, возбуждаемого электромагнитным полем в экране кабеля, соединяющего блоки аппаратуры модельного объекта (рис. 1).

В модели приборы представляются прямоугольными алюминиевыми блоками размером 100 x 100 x 100 мм, а экран кабеля - медной трубой диаметром 4 мм и толщиной стенки 0,1 мм.

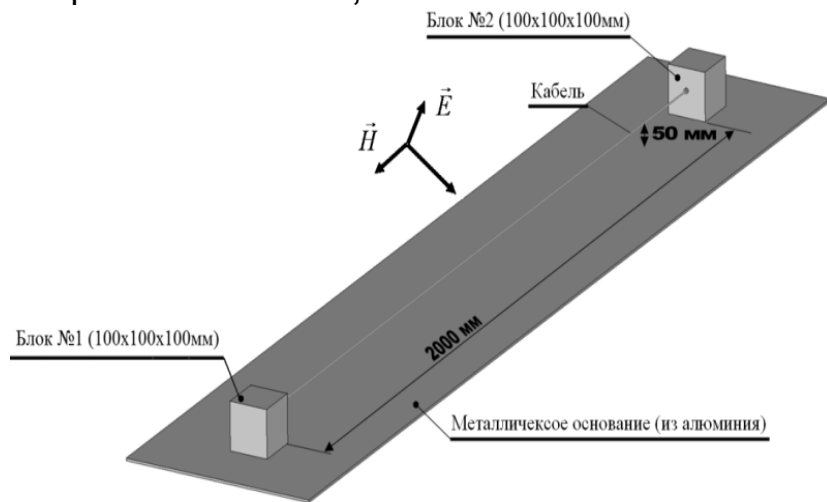


Рис. 1 – Блоки аппаратуры, соединенные экранированным кабелем, подверженные воздействию ЭМП

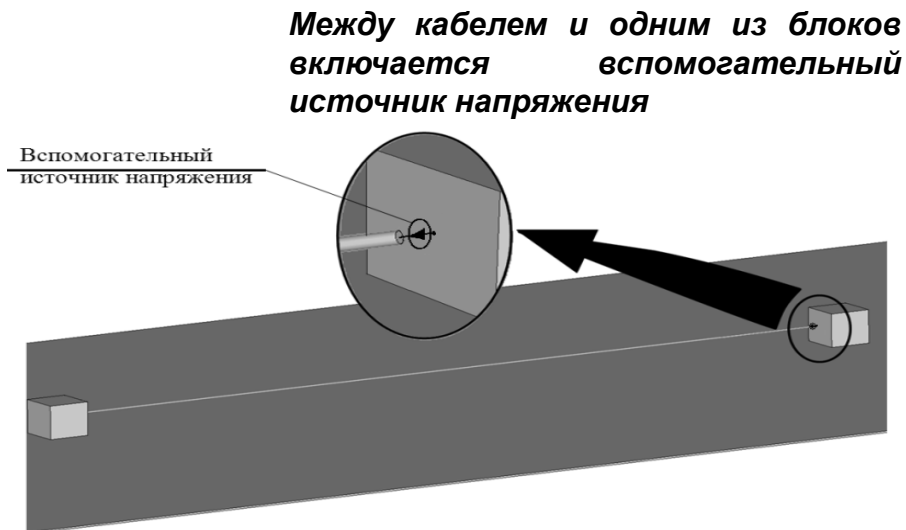


Рис. 2 – Расчетная модель для определения антенных характеристик модельного объекта

# Предельные оценки параметров тока, возбуждаемого электромагнитным полем в экране кабеля, соединяющего блоки аппаратуры



**Максимальное значение тока** по экрану кабеля реализуется при падении волны с направления максимального излучения (  $G_{ms} = G_{ms}^{max}$  ) и равно:

$$I_{s\ max} = \frac{cE_{in}}{fZ_s} \sqrt{\frac{R_s G_{ms}^{max}}{\pi Z_0}} \quad (\text{в приближении дальней зоны})$$

где  $R_s$ ,  $Z_s$ ,  $G_{ms}$  – сопротивление излучения, модуль входного импеданса, коэффициент усиления передающей антенны.

Поскольку мощность, излучаемая техническим средством, равна  $P_s = \frac{e_s^2 R_s}{2Z_s^2}$ , то

$$I_{s\ max} = \frac{cE_{in}}{fe_s} \sqrt{\frac{2P_s G_{ms}^{max}}{\pi Z_0}}$$

**Данная формула позволяет** по результатам расчетов параметров электромагнитного излучения объекта, возбуждаемого вспомогательным генератором, **определять максимальные уровни токов**, возбуждаемых гармоническими электромагнитными полями в проводниках этого объекта.

# Результаты расчетов

Частотная зависимость максимального тока по экрану кабеля в месте его сочленения с корпусом прибора (рис.3):

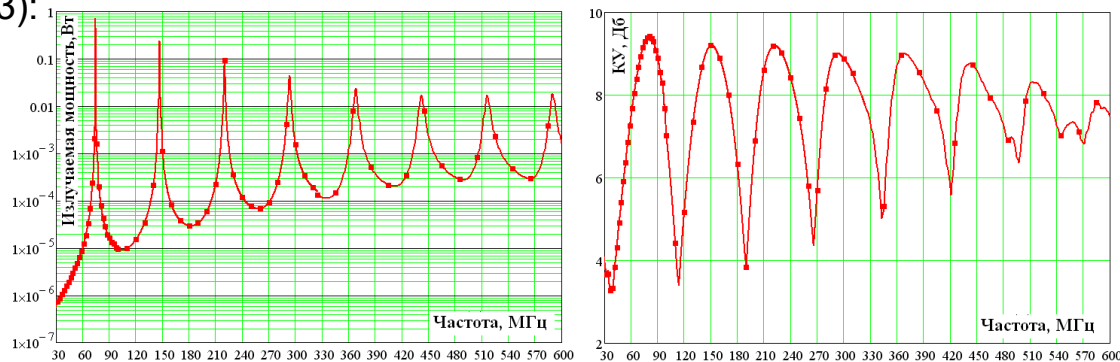
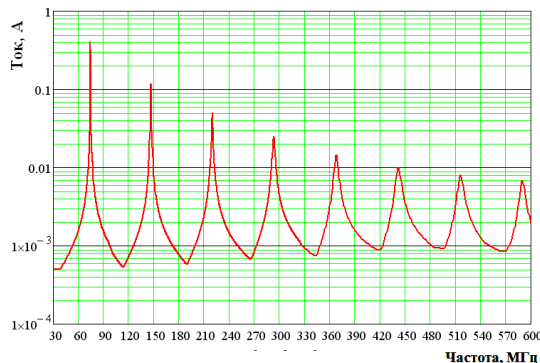


Рис. 3 – Частотные зависимости излучаемой мощности (а) и коэффициента усиления по главной поляризации (б) модельного объекта, возбуждаемого вспомогательным источником напряжения  $e = 1$  В



Как видно из рис.4, имеются резонансные частоты, на которых **наблюдаются резкие пики тока.**

Рис. 4 – Частотная зависимость максимального тока (амплитудное значение), индуцируемого в экране кабеля; амплитуда напряженности электрического поля принята равной 1 В/м

# Результаты расчетов

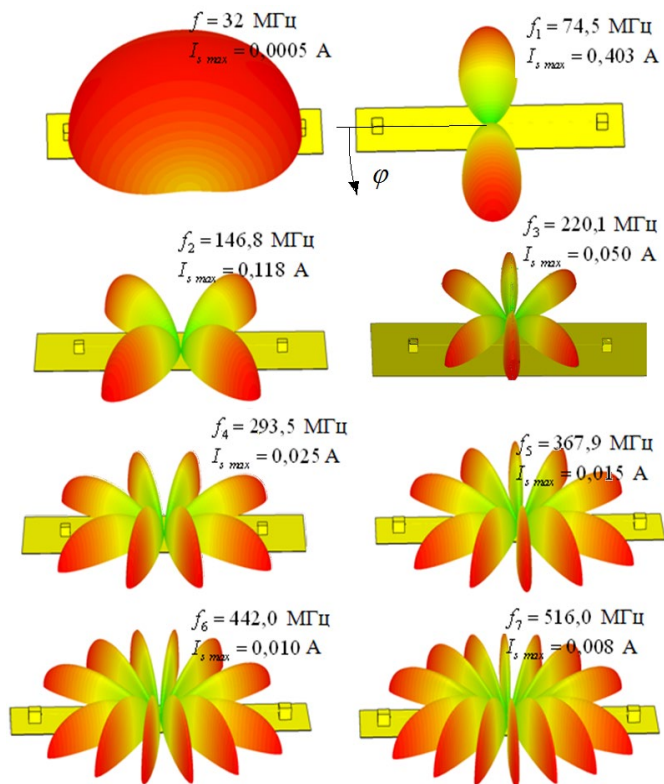


Рис. 5 – Диаграммы направленности модельного объекта на резонансных частотах

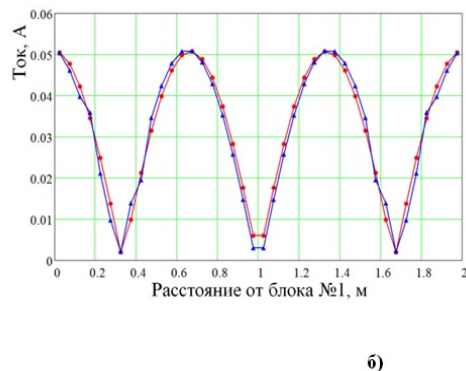
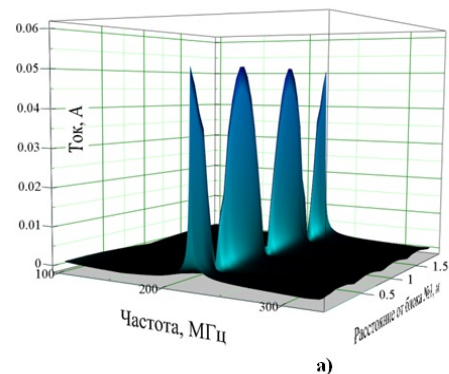
Максимальные величины пиков реализуются при падении плоской линейно поляризованной волны с направлений, совпадающих с направлениями максимумов диаграмм направленности модельного объекта (рис. 5). Направление поляризации волны - вертикальное. На низких частотах (длина волны превышает четверть длины кабеля) максимальный ток достигается, когда плоскость поляризации падающей волны проходит через продольную ось кабеля перпендикулярно к металлическому основанию и не зависит от зенитного угла.

Экран кабеля и металлическое основание образуют короткозамкнутую на концах линию передачи, поэтому на резонансных частотах пучности тока будут находиться в местах сочленений экрана с корпусами блоков.

# Численное моделирование падения плоской электромагнитной волны на модельный объект

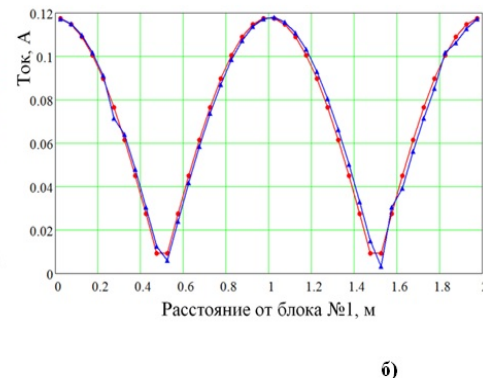
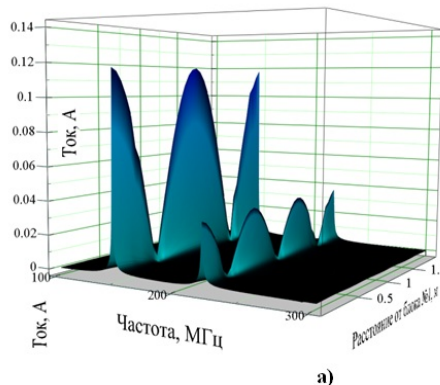
Ток в экране при падении волны под азимутальным углом  $\varphi = 90^\circ$ :

- а) зависимость распределения тока вдоль экрана от частоты (численное моделирование);
- б) распределение тока по длине экрана на резонансной частоте  $f_3 = 220,1$  МГц (▲ – численное моделирование; ● – расчет)



Ток в экране кабеля при падении волны под азимутальным углом  $\varphi = 120^\circ$ :

- а) зависимость распределения тока вдоль экрана от частоты (численное моделирование);
- б) распределение тока по длине экрана на резонансной частоте  $f_2 = 146,8$  МГц (▲ – электродинамическое моделирование; ● – расчет)





# Заключение

1. **Предложен методический подход** получения предельных характеристик воздействия электромагнитных полей на объекты при испытаниях и численном моделировании.
2. На примере модельного объекта **проведены предельные оценки параметров наведенного тока в экране кабеля**, соединяющего блоки аппаратуры. Показано, что на резонансных частотах максимальные амплитуды тока реализуются при падении плоской линейно поляризованной волны с направлений, совпадающих с направлениями максимумов диаграмм направленности модельного объекта.
3. **Предложена аналитическая формула** для определения наведенного тока при наихудших условиях облучения.
4. **Проведено численное моделирование** падения плоской электромагнитной волны на модельный объект.
5. **Полученные результаты согласуются с результатами расчетов по аналитической формуле.**



# Спасибо за внимание

**Гетманец Александр Никитович**  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Тел.: 8 (83130) 3-79-26, 2-50-55,  
E-mail: ANGetmanets@vniief.ru  
[www.rosatom.ru](http://www.rosatom.ru)

**май 2021**