

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАЩИТЫ РАБОТАЮЩИХ И НАСЕЛЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНОВ

*Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю., Перов С.Ю.*

XIV РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОНГРЕСС  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ПРОФЕССИЯ И ЗДОРОВЬЕ»  
Санкт-Петербург, 26-29 сентября 2017 г.

# ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Защита временем
- Защита расстоянием
- Организационно-технические мероприятия:
  - выбор рациональных режимов работы оборудования;
  - выделение зон воздействия ЭМП (зоны с уровнями ЭМП, превышающими предельно допустимые),
- Применение коллективных и индивидуальных средств защиты

# ЗАЩИТА РАБОТАЮЩИХ ПРИНЦИП ЭКРАНИРОВАНИЯ

- ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования
- ГОСТ 12.4.172-87 ССБТ «Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования и методы контроля».
- ГОСТ 12.4.172-2014 ССБТ. «Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования и методы испытаний».

## ПОСТОЯННОЕ МАГНИТНОЕ, ПЕРЕМЕННОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

**ПМП и ПеМП** - пермаллой прецизионный сплав с магнитно-мягкими свойствами, состоящий из железа и никеля (45—82 % Ni) М.б. дополнительно легирован другими компонентами. Высокая магнитная проницаемость (максимальная относительная магнитная проницаемость  $\mu \sim 100\ 000$ ), малая коэрцитивная сила, почти нулевая магнитострикция и значительный магниторезистивный эффект.

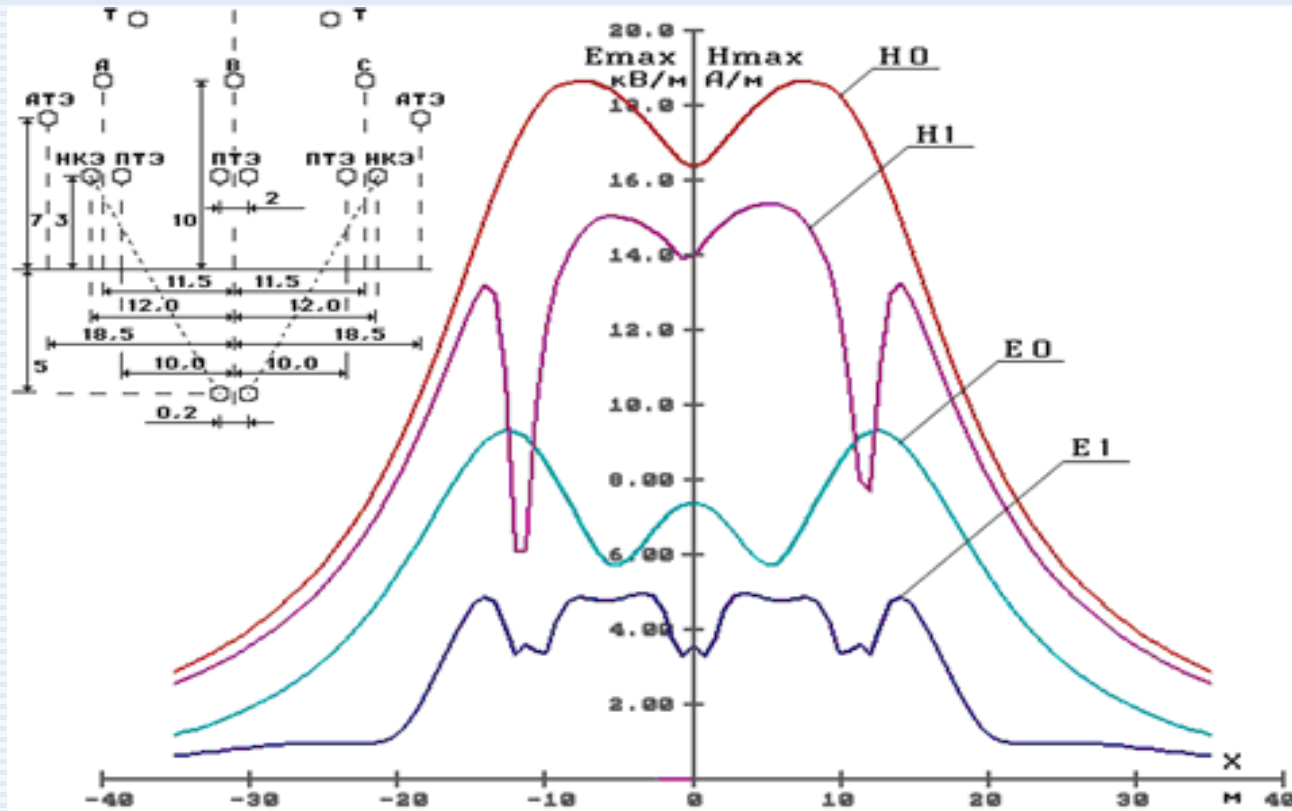
**Магнифер** – аналог пермаллоя (Германия)

**«ПРОМЕТЕЙ»** - новые магнитные экраны на основе лент аморфных и нанокристаллических магнитомягких сплавов на основе Fe и Co с конкурентоспособными магнитными свойствами для изготовления экранирующих конструкций, эффективно защищающих от постоянных и переменных магнитных полей

# НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ ЭП И МП ПЧ

- ✓ Полная компенсация ЭП и МП ПЧ с внедрением компактных двухцепных коаксиальных и однорадиусных ВЛ
- ✓ Экранирование ЭП ВЛ СВН с помощью пассивных, активных и резонансных тросовых экранов;
- ✓ Экранирование магнитных полей ВЛ СВН с помощью пассивных, активных и резонансных направленных контурных экранов;
- ✓ Электромагнитные экраны для снижения уровней напряжённости МП от электрических реакторов без ферромагнитного сердечника;
- ✓ Конструкции электрических реакторов без ферромагнитного сердечника со сниженными уровнями напряженности МП

## Совместная работа ТЭ и НКЭ



Распределение  $E_{\max}$  и  $H_{\max}$  на уровне 1,8 м от поверхности земли в сечении ВЛ–500 кВ с габаритом 10 м при горизонтальном расположении верхних проводов НКЭ и проводов ПТЭ: незранированное ЭП – кривая  $E_0$ ; экранирование ЭП с помощью двух АТЭ, трех ПТЭ и верхних проводов двух НКЭ – кривая  $E_1$ ; незранированное МП – кривая  $H_0$ ; экранирование МП с помощью двух пассивных НКЭ – кривая  $H_1$

# КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

- При эксплуатации кабельных линий (КЛ) электропередачи в пространстве создаются магнитные поля (МП) промышленной частоты (ПЧ) высокой интенсивности.
- Технические средства защиты (ферромагнитные экраны).
- ПДУ в РФ напряженности МП ПЧ для населенной местности: 16 А/м в СЗЗ или ОЗ и 8 А/м на границе СЗЗ или ОЗ.
- Соблюдения ПДУ для КЛ сложно, т.к. для КЛ СЗЗ нет, а есть только ОЗ – 1 м от крайнего кабеля КЛ, а увеличение глубины прокладки КЛ приводит к снижению ее пропускной способности из-за термических параметров.

# Токопроводы напряжением 20 кВ



Напряженность МП ПЧ на поверхности токопроводов в случае размещения муфтовых соединений достигает 3,8 кА/м, а на поверхности собственно токопроводов 6,1 кА/м ( $I=2900$  А) ПДУ: от 80 А/м (весь рабочий день); до 1600 А/м (до 1 ч)



## Совершенствование СИЗ от ЭП ПЧ

- ✓ Индивидуальные экранирующие средства защиты персонала от неблагоприятного воздействия ЭП ПЧ могут быть использован для работы на потенциале земли (ЭП-1, ЭП-3) и на потенциале проводов (ЭП-4(0)).
- ✓ С учетом соблюдения требований ПДУ (по напряженности ЭП - кВ/м) необходима комплексная оценка, включающая не только наведенный ток на манекене, размещенном в ЭП, но и напряженность в пододежном пространстве.

Оценка по току смещения	Оценка по напряженности электрического поля
Металлизированный манекен	Непроводящий полый манекен
$K_1 = 100 \frac{I_1}{I_1 + I_2},$ <p>где <math>I_1</math> – суммарный ток через костюм и манекен . <math>I_2</math> - ток через манекен.</p> <p>IEC 60895- 2002 Live working - Conductive clothing for use at nominal voltage up to 800 kV a.c. and +/- 600 kV d.c</p>	$K_E = 201g \frac{E_1}{E_2}$ <p>где <math>E_1</math> - напряженность внешнего ЭП, измеренная без комплекта, <math>E_2</math> - напряженность ЭП, измеренная внутри комплекта.</p> <p>ГОСТ 12.4.172-2014 ССБТ. Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования и методы испытаний</p>

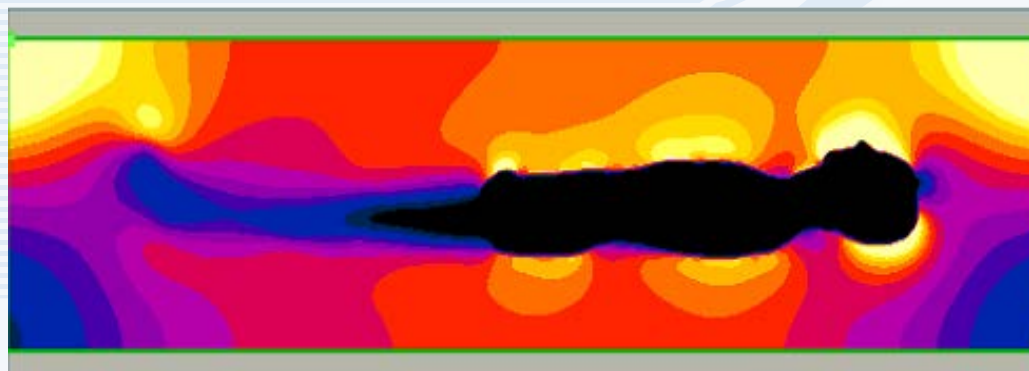
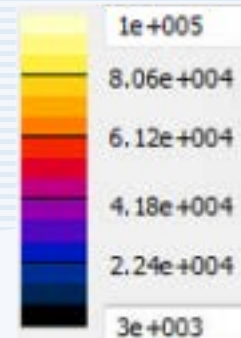
# Установка электрического поля – испытательный стенд



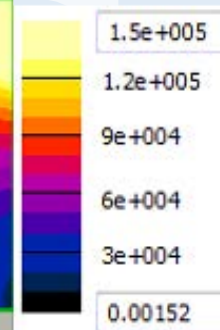
# Численное моделирование экспериментальных условий



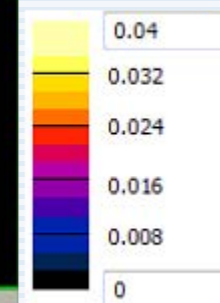
$E$  (V/m)



$E$  (V/m)

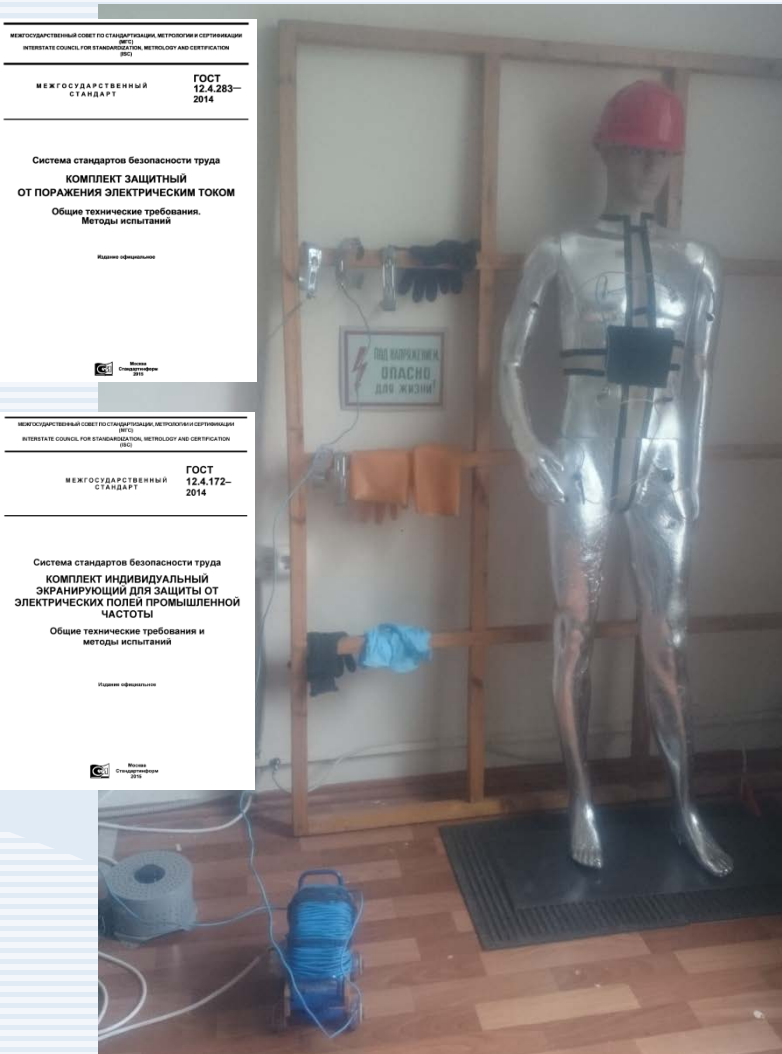


$J$  (A/m<sup>2</sup>)



# СИЗ от наведенного напряжения и поражения электрическим током

- При нахождение персонала в условиях превышающих ПДУ для промышленной частоты (50Гц) может вызывать наведенное напряжение, что является смертельным при превышении тока через тело человека более 6мА.
- Разработанный и созданный испытательный стенд, в соответствии с требованиями ГОСТов, позволяет проводить оценку эффективности СИЗ вплоть до 100 А, что превышает ПДУ в **100 000** раз и реально моделирует условия нахождения персонала на объектах электроэнергетики и железной дороги.



# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ОТ ЭМП РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Вступили в силу с 01.09.2017 г.

- Межгосударственный стандарт Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) **ГОСТ 12.4.305-2016 ССБТ. Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Общие технические требования.**
- Межгосударственный стандарт МГС **ГОСТ 12.4.306-2016 ССБТ «Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Методы контроля».** Включает в себя методы контроля эффективности экранирующих материалов, методы контроля эффективности экранирующих комплектов в целом, в т.ч. в свободном пространстве и с использованием дозиметрических фантомов для диапазона 30 кГц-60 ГГц

Основная характеристика СИЗ от ЭМП РЧ, определяющая эффективность защиты - коэффициент экранирования  $K_{э}$ , дБ:

- ✓ в диапазоне частот 10 кГц-300 МГц по Е (1),
- ✓ в диапазоне частот 300 МГц- 60 ГГц по ППЭ (2) .

$$K_{SE} = 20 \log \frac{E_1}{E_2} \quad (1)$$

где  $E_1$  – напряженность электрического поля без экранирующего комплекта

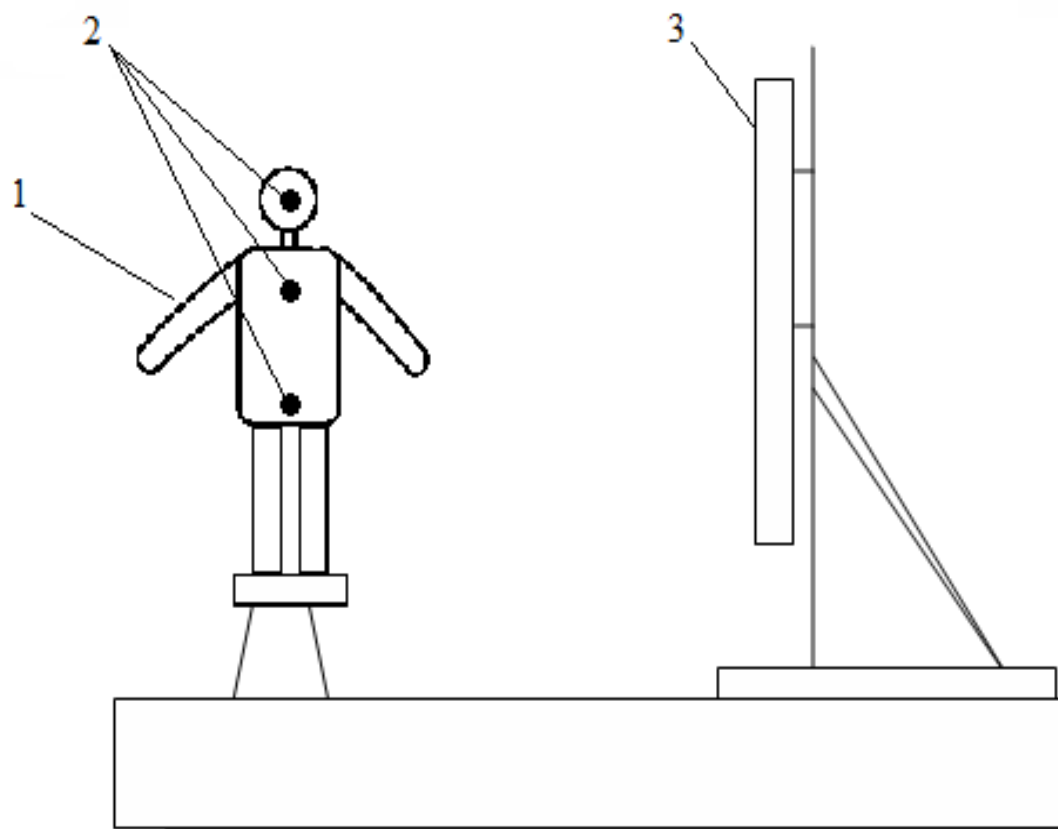
$E_2$  – напряженность электрического поля при наличии экранирующего комплекта

$$K_{SE} = 10 \log \frac{PD_1}{PD_2} \quad (2)$$

где  $PD_1$  – плотность потока энергии (ППЭ) без СИЗ,

$PD_2$  – плотность потока энергии (ППЭ) при наличии экранирующего комплекта

# МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ

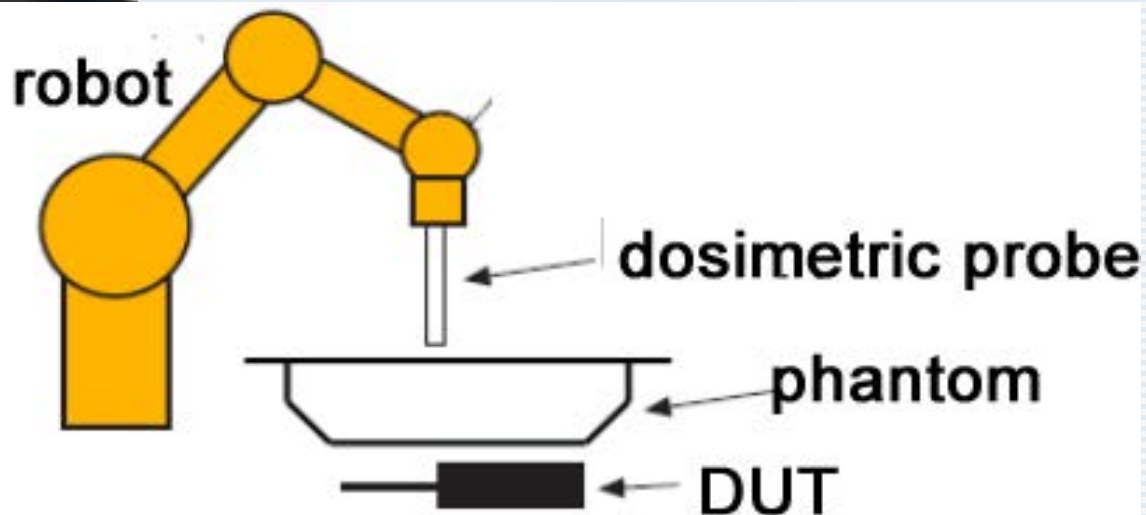


1- фантом,  
2 – контрольные точки  
измерений  
( голова, грудь, пах ),  
3 – Источник ЭМП РЧ.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ДОЗИМЕТРИЯ как совершенствование методов оценки эффективности СИЗ



**Specific Absorption Rate (SAR)**  
- измерения осуществляются посредством дозиметрической системы DASYS 52 NEO (SPEAG AG, Switzerland).



# ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ ОЦЕНКИ ЭМП РЧ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Нахождение человека в непосредственной близости от источника - дополнительные сложности в оценке уровней экспозиции в связи с неоднородностью распространения излучения, обусловленного наличием ближней зоны. Ведется работа по обоснованию необходимости комплексного подхода к определению дозы на фантоме (дозиметрия с оценкой SAR) и оценкой среднеквадратичного значения вектора напряженности магнитного поля в свободном пространстве, что позволит корректно оценивать реальные условия экспозиции и учитывать поглощение энергии человеком, находящимся в ближней зоне источника.



*Спасибо за внимание*