

**В.В.КНЯЗЕВ**, канд. техн. наук, зав.отд., НТУ «ХПИ»;  
**А.Ю.СКОБЛИКОВ**, аспирант, НТУ «ХПИ»

## **МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОРПУСОВ – ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ**

У статті наведено методики перевірки ступеню адекватності розрахункових моделей за оцінки екрануючих властивостей корпусів, які розроблено авторами. Перевірка здійснена шляхом порівняння з результатами вимірювання параметрів електричного та магнітного полів в середині металеві оболонки при дії імпульсних електричного і магнітного полів, та струму, який тече скрізь оболонку.

To the article methodologies of verification of degree of adequacy are driven worked out by the authors of calculation models as evaluated by screening properties of shell. Verification comes true by comparing to the results of measuring of the parameters electric and magnetic fields into a metallic shell at influence impulsive electric and magnetic fields, and also current leak on a shell.

В статье приведены методики проверки степени адекватности разработанных авторами расчетных моделей по оценке экранирующих свойств корпусов. Проверка осуществляется путем сравнения с результатами измерения параметров электрического и магнитного полей внутри металлической оболочки при воздействии импульсных электрического и магнитного полей, а также тока, протекающего по оболочке

### **Введение**

Наиболее надежным и универсальным способом защиты электронного оборудования от дестабилизирующего действия электромагнитных полей является экранирование. В качестве электромагнитного экрана целесообразно использовать корпус самого оборудования и корпус объекта ракетно-космической техники (РКТ), внутри которого размещается оборудование. Из общих законов электродинамики известно [1], что степень ослабления электромагнитного поля однородной металлической оболочкой тем выше, чем больше толщина стенки экрана и чем больше значения удельной электропроводности и магнитной проницаемости материала, из которого изготовлен корпус. При всей простоте этой закономерности, на практике возникает необходимость оценить экранирующие свойства реального корпуса при действии электромагнитного поля с заданными амплитудно-временными параметрами. Решение такой задачи расчетным путем с учетом всех особенностей корпуса оказывается достаточно сложным. В настоящее время известны частные случаи, для которых получены аналитические решения [2-5]. Решение задачи экранирования численными методами анонсируется некоторыми пакетами прикладных программ, которые реализовываются на рынке. Однако, возможности таких программ весьма ограничены, особенно для корпусов, у которых толщина стенок составляет несколько миллиметров, а габаритные

размеры превышают десятки метров [6]. Задача еще более усложняется при рассмотрении импульсных процессов, сопровождающих молниевый разряд. Авторами разработаны математические модели процессов взаимодействия импульсных электрического и магнитного полей, сопровождающих молниевый разряд, с реальными корпусами РКТ [4, 5, 7]. В данной статье излагается методика проверки адекватности этих моделей.

### **Постановка задачи**

Разработанные математические модели позволяют рассчитать амплитудно-временные параметры электрического и магнитного полей внутри реального корпуса, с учетом имеющихся структурных неоднородностей его стенок, при воздействии поражающих факторов, сопровождающих молниевый разряд. Объективным доказательством правильности математической модели является совпадение полученных с ее помощью результатов с результатами экспериментальных исследований. Искомыми являются характеристики электрического и магнитного полей внутри корпуса. Проверка адекватности моделей осуществляется путем сравнения расчетных значений этих характеристик, со значениями, полученными экспериментальным методом.

Основные задачи методики проверки адекватности заключаются в следующем:

- определить требования к макету корпуса РКТ, который позволит провести измерения электрического и магнитного полей внутри него;
- согласовать размеры макета с размерами испытательного поля стенда ВВС-1.2;
- определить значения параметров электрического, магнитного полей и тока, характерных для процесса молниевых разряда;
- определить требования к средствам измерения напряженностей электрического и магнитного полей, с учетом ожидаемых характеристик полей внутри макета;
- определить точки измерения и значимые компоненты векторов полей с учетом конечных размеров соответствующих преобразователей и особенностей их конструкций;
- оптимизировать очередность выполнения измерений для минимизации общего времени, затраченного на испытания.

### **Основные элементы методики**

Исходя из размеров испытательного поля стенда ВВС-1.2, для проведения экспериментов изготовлен макет корпуса – экрана, в виде цилиндрической оболочки, характерной для объектов РКТ. Основные технические характеристики макета указаны в табл. 1. Материал корпуса – сплав алюминия АМц. На боковой поверхности оболочка имеет отверстие, закрываемое сменными накладками. С торцов цилиндрическая оболочка закрыта крышками, одна из которых – съемная.

Для подтверждения влияния формы и количества отверстий на уровень полей, проникающих внутрь макета корпуса, используются накладки. Накладки изготовлены из того же материала и такой же толщины, что и макет корпуса. Размеры накладок таковы:

- А) Заглушка для обеспечения однородности стенки корпуса 410x460 мм;
- В) Квадратное отверстие 180x180 мм;
- С) Узкое прямоугольное отверстие (щель) 340x20 мм;
- Д) Множественные отверстия: 4 отверстия диаметром 100 мм, расстояние между центрами отверстий 150 мм.

Таблица 1 – Основные технические характеристики макета корпуса

Параметр	Единица	Значение
Диаметр	м	0,9
Длина	м	3,0
Толщина стенки	м	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Материал	–	АМц
Удельная электрическая проводимость	См/м	$2,9 \cdot 10^7$
Относительная магнитная проницаемость	–	1,0
Отверстие в боковой поверхности в форме прямоугольника с размерами <sup>1)</sup>	м x м	0,35x0,40

Введена следующая идентификация вариантов использования макета корпуса:

- «МК-0» – корпус без накладки (отверстие 350x400 мм).
- «МК-1» – корпус с накладкой А (однородный);
- «МК-2» – корпус с накладкой В;
- «МК-3» – корпус с накладкой С;
- «МК-4» – корпус с накладкой Д.

Подтверждение устойчивости бортового оборудования к действию сторонних электромагнитных помех, является обязательным требованием при сертификации летательного аппарата. Амплитудно-временные параметры электромагнитных помех, сопровождающих молниевый разряд, определены в межгосударственном стандарте ГОСТ 30585-98 [8]. Основные значения этих параметров представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Основные параметры ЭМП молниевый разряда [8]

Вид помехи	Форма волны	Граничная частота, кГц	Длина волны, м	Максимальный уровень
Е - поле	0,1/10 мс	7,2	41782	300 кВ/м
Н - поле	2/50 мкс	778	386	300 А/м
I - ток	2/50 мкс	778	386	200 кА

Определение требований к средствам измерения (СИ) напряженностей электрического и магнитного полей, осуществлено с учетом ожидаемых характеристик полей внутри макета. Предельные требуемые параметры СИ по уровню поля и верхней границы полосы частот определены с учетом данных таблицы 2. Нижняя граница частотного диапазона и требуемая чувствительность СИ определены на основании результатов расчетной оценки, произведенной с учетом реально достижимых значений параметров помех, которые создает стенд ВВС-1.2.

Для проведения экспериментов созданы три вида измерителей полей:

- измеритель внешнего и внутреннего электрических полей типа ИНЭП К-1 (рис. 1);
- измеритель внутреннего магнитного поля типа ИНМП К-1А (рис. 2);
- измеритель внешнего магнитного поля типа ИНМП К-1Б, внешний вид которого аналогичен ИНМП К-1А.

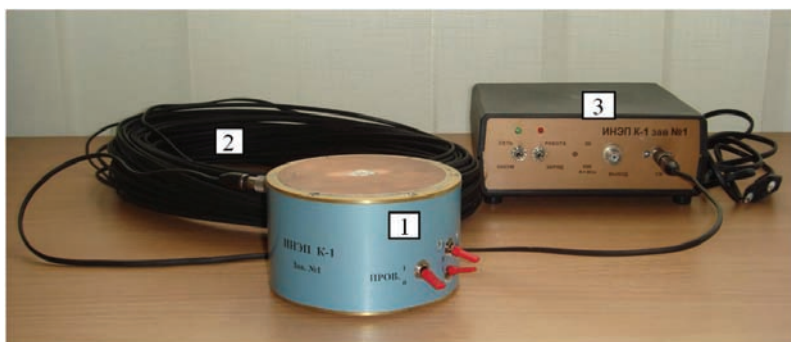


Рисунок 1 – Общий вид измерителя ИНЭП К-1:

- 1 – блок емкостного измерительного преобразователя (БЕИП);
- 2 – оптический кабель (ОК); 3 – блок фотоприемника (БФП)

Все измерители содержат измерительный преобразователь (ИП) того или иного вида, блок преобразования электрического сигнала в световой (БПС), гибкий оптический кабель (ОК) длиной 50 м и фотоприемник (БФП), преобразовывающий световой сигнал в напряжение, регистрируемое осциллографом. Подробное описание электрических схем СИ и результатов их государственной метрологической аттестации представлено в работе [9]. Требование гальванической развязки, реализованной с помощью ОК, является обязательным при измерении пространственной структуры полей, тем более в условиях мощных помех. При измерениях электрических и магнитных полей в экспериментальной установке ИП размещаются в заданной точке измерения, БФП вместе с регистратором размещаются в измерительной кабине, а связь между ними осуществляется через ОК. При метрологической аттестации определены времена переходных характеристик (ПХ) измерителей и ко-

эффиценты преобразования измерителей. На рис. 3 представлен пример осциллограммы, получаемой при метрологической аттестации.

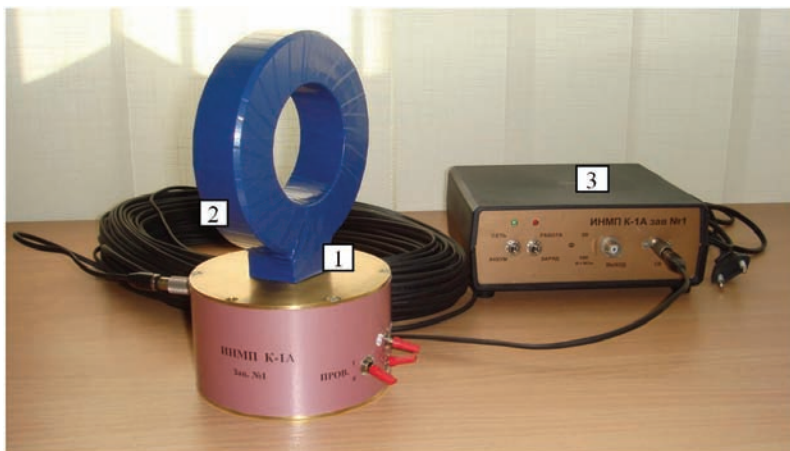


Рисунок 2 – Общий вид измерителя ИНМП К-1А (ИНМП К-1Б):  
1 – блок индукционного измерительного преобразователя (БИИП);  
2 – оптический кабель (ОК); 3 – блок фотоприемника (БФП)

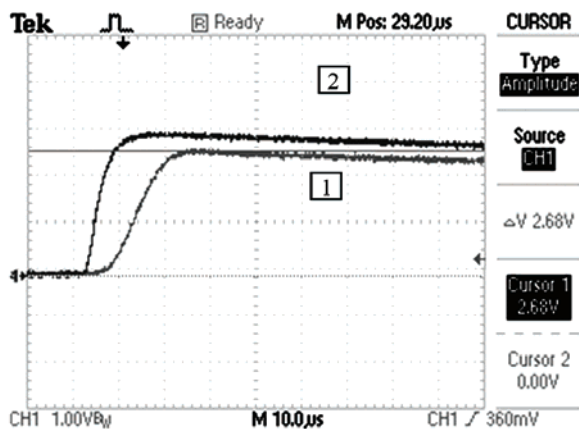


Рисунок 3 – Типовая осциллограмма фронта импульса напряжения положительной полярности на выходе измерителя ИНЭП К-1А на верхнем уровне 2 диапазона – кривая 1 и аттестационного импульса Е поля эталона РЭМП – кривая 2

Результаты метрологической аттестации всех вышеперечисленных выше видов измерителей приведены в табл. 3-5. Блоки измерительных преобразователей имеют диаметр 105 мм, что вносит ограничения на выбор возмож-

ных точек измерения. Габариты преобразователя в значительной мере обусловлены размерами используемого аккумулятора, емкость которого должна быть достаточной для продолжительности работы не менее 8 часов.

### Программа исследований

1. Измерения электрического и магнитного полей внутри пустого корпуса проводятся в следующих вариантах:

1.1. Измерения полей в пустом электрически однородном корпусе (накладка А) в трех точках для каждого вида испытательных импульсов;

1.2. Измерения полей в пустом электрически неоднородном корпусе (накладка В) в трех точках для каждого вида испытательных импульсов;

1.3. Измерения полей в пустом электрически неоднородном корпусе (накладка С) в трех точках для каждого вида испытательных импульсов;

1.4. Измерения полей в пустом электрически неоднородном корпусе с множественными отверстиями (накладка D) в трех точках для каждого вида испытательных импульсов;

1.5. Измерения полей в пустом корпусе (накладка Е с установленным разъемом) в трех точках для каждого вида испытательных импульсов.

Таблица 3 – Метрологические характеристики ИНЭП К-1

Метрологические характеристики	Требования по ТЗ		Получено при аттестации		
	Величина	Погрешность	Величина	Относит. погрешность	Абсолютная погрешность
Коэффициент преобразования, $K_{np}$ , В/(В/м), Первый диапазон Второй диапазон	не устанавливается	10 %	$0,40 \times 10^{-3}$ $9,10 \times 10^{-6}$	3,94 % 3,94 %	$0,02 \times 10^{-3}$ $0,36 \times 10^{-6}$
Время нарастания ПХ, $T_n^{ПХ}$ с, не более Первый диапазон Второй диапазон	$10^{-6}$	5 %	$0,625 \times 10^{-6}$ $0,023 \times 10^{-6}$	1,0 % 1,0 %	$6,3 \times 10^{-9}$ $0,2 \times 10^{-9}$
Время спада ПХ, $T_c^{ПХ}$ , с, не менее Первый диапазон Второй диапазон	0,1	5 %	$129,00 \times 10^{-3}$ $133,00 \times 10^{-3}$	1,1 % 1,1 %	$1,41 \times 10^{-3}$ $1,46 \times 10^{-3}$

2. Измерение электрического и магнитного полей внутри электрически

однородного корпуса с установленным макетом оборудования в тех же точках пространства, что и по пункту 1. В качестве макета оборудования используются корпуса электронных приборов в количестве 3 штук общим объемом от  $120 \text{ дм}^3$  до  $160 \text{ дм}^3$ .

Макеты приборов гальванически соединены между собой.

Таблица 4 Метрологические характеристики ИНМП К-1А

Метрологические характеристики	Требования по ТЗ		Получено при аттестации		
	Величина	Погрешность	Величина	Относительная погрешность	Абсолютная погрешность
Коэффициент преобразования, $K_{пр}$ , В/(А/м) для положительной полярности: Первый диапазон Второй диапазон для отрицательной полярности: Первый диапазон Второй диапазон	не устанавливается	10%	$560 \times 10^{-3}$ $63,2 \times 10^{-3}$	2,45 %	$13,7 \times 10^{-3}$ $1,5 \times 10^{-3}$
			$520 \times 10^{-3}$ $56,1 \times 10^{-3}$		$12,7 \times 10^{-3}$ $1,4 \times 10^{-3}$
Время нарастания ПХ, $T_n^{ПХ}$ с, не более	$20 \times 10^{-6}$	5%	$11,3 \times 10^{-6}$	1,0 %	$0,1 \times 10^{-6}$
Время спада ПХ $T_c^{ПХ}$ , с, не менее Первый диапазон Второй диапазон	$5 \times 10^{-3}$	5%	$11,0 \times 10^{-3}$ $40,0 \times 10^{-3}$	1,1 %	$0,12 \times 10^{-3}$ $0,44 \times 10^{-3}$

3 Измерение полей внутри макета корпуса при протекании по нему импульса тока осуществляются для всех вариантов макета МК0 – МК5.

При исследованиях используются следующие испытательные импульсы:

- импульс электрического поля формы 0,1/10 мс с пиковым значением 300 кВ/м;
- импульс магнитного поля формы 2/50 мкс с пиковым значением 300 А/м;
- импульс тока формы 2/50 мкс с пиковым значением 2000 А.

В процессе исследований подлежат определению значения следующих параметров:

- амплитудно-временные параметры импульсных электрических полей,

- проникающих внутрь макетов (в 3 точках каждого вида МК) при внешних электрических полях формы 0,1/10 мс;
- амплитудно-временные параметры импульсных магнитных полей, проникающих внутрь макетов (в 3 точках каждого вида МК), при воздействии внешних магнитных полей формы 2/50 мкс.
  - амплитудно-временные параметры электрических и магнитных полей, проникающих внутрь макетов (в 3 точках каждого вида МК), при протекании импульсного тока по корпусу МК.

Последовательность проведения испытаний определяется из соображений удобства и минимизации времени на их проведение.

Таблица 5 Метрологические характеристики ИНМП К-1Б

Метрологические характеристики	Требования по НД		Получено при аттестации		
	Величина	Отклонение	Величина	Относ. погрешность	Абсолютная погрешность
Коэффициент преобразования, $K_{пр}$ , В/(А/м) Первый диапазон Второй диапазон	не устанавливается	10%	$57,8 \times 10^{-3}$ $3,40 \times 10^{-3}$	2,43 %	$1,4 \times 10^{-3}$ $0,08 \times 10^{-3}$
Время нарастания ПХ, $T_n^{ПХ}$ , с, не более	$300 \times 10^{-9}$	5%	$156,9 \times 10^{-9}$	1,1 %	$1,7 \times 10^{-9}$
Время спада ПХ, $T_c^{ПХ}$ , с, не менее	$0,5 \times 10^{-3}$	5%	$1,30 \times 10^{-3}$	1,0 %	$0,01 \times 10^{-3}$

### Методические рекомендации

Измерения формы и амплитудно-временных параметров импульсных электрических и магнитных полей внутри исследуемого корпуса производится в трех контрольных точках КТ1, КТ2 и КТ3 (рис. 4). Координаты этих точек устанавливаются перед началом испытаний. В качестве исходного варианта предлагается такое расположение:

- КТ1 – на оси макета напротив центра отверстия (без на);
- КТ2 – вдоль оси, проходящей через центр отверстия на расстоянии 0,25 м от точки КТ1;
- КТ3 – вдоль оси макета в точке его геометрического центра (0,225 м от точки КТ1).

В каждой точке производится измерение в трех ортогональных положе-



ниях измерительных преобразователей СИТ. Компонента поля, которая регистрируется СИТ, показана на рис. 18 и 19 для случая электрического и магнитного полей, соответственно.

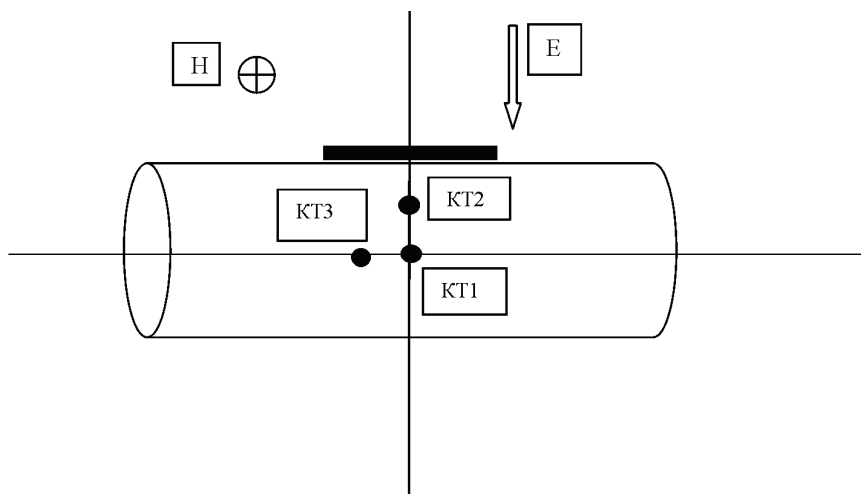


Рисунок 4 – Расположение контрольных точек измерения электрических и магнитных полей внутри МК

Измерения амплитудно-временных параметров импульсных электрических и магнитных полей внутри исследуемого корпуса производится поочередно для всех типов исследуемых корпусов (МК0-МК5). Установка измерительных преобразователей СИ производится на координатное устройство (КУ) МК, которое предварительно устанавливается и фиксируется внутри МК таким образом, чтобы вертикальная ось КУ совпадала с направлением вектора  $E$ , проходящего через геометрический центр накладки или была параллельна вектору  $H$ . Общий вид КУ представлен на рис. 5.

Для изменения ориентации измерительного преобразователя необходимо снять накладку с МК и через открывшееся отверстие при помощи штатных устройств на КУ произвести пространственное изменение измерительного преобразователя относительно векторов  $E$  или  $H$ . Присоединенный к измерительному преобразователю гибкий волоконный световод пропустить через торцевую крышку МК и далее через специальный ввод завести в измерительную кабину, присоединить его к фотоприемнику, а фотоприемник кабелем к входу осциллографа. Настроить СИ импульсных электрических и магнитных полей по методике, изложенной в Руководствах по эксплуатации этих СИ.

Установить МК на подставку и всю эту конструкцию разместить в центре рабочего объема испытательного стенда ВВС-1.2 таким образом, чтобы

центральная ось МК совпадала с продольной осью рабочего объема. Подставка для установки (ПУ) представляет собой диэлектрическую конструкцию (рис. 6) и предназначена для установки МК на высоте 1м в рабочем объеме.

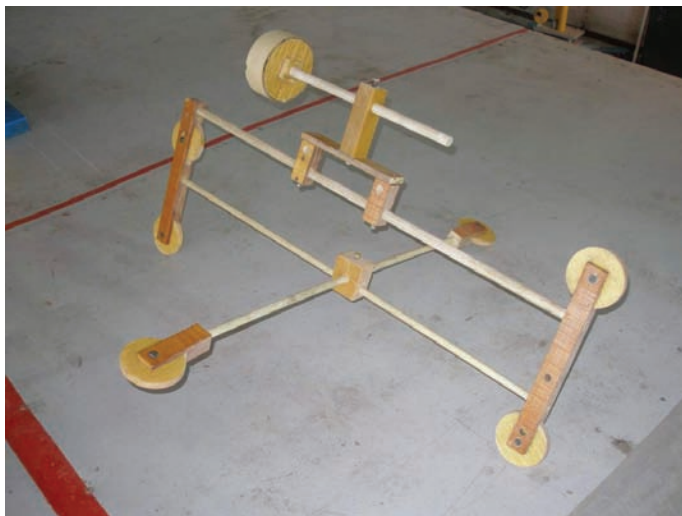


Рисунок 5 – Общий вид координатного устройства



Рисунок 6 – Общий вид подставки для установки МК

Для контроля внешних воздействующих электрических и магнитных

полей установить измерительные преобразователи ИНЭП или ИНМП в пределах рабочего объема испытательной установки, но вдали от МК. ОК от них провести в измерительную кабину, присоединить к соответствующим фотоприемникам и осциллографу. После выполнения всех вышеперечисленных подготовительных работ можно приступить к проведению экспериментальных работ.

### Методика измерения экранирующих свойств МК при воздействии импульсных электрических полей

В качестве примера, рассмотрим методику измерения электрического поля  $E_i$  внутри макета корпуса при внешнем воздействии электрического поля  $E_0$ .

Схема измерений, показана на рис. 7. Последовательность действий такова:

1. Включить и прогреть все задействованные в испытаниях приборы.
2. Установить измерительный преобразователь ИНЭП-К1 в контрольную точку КТ1 в одной из ориентаций и включить его.
3. На осциллографе ЭО-1 установить:

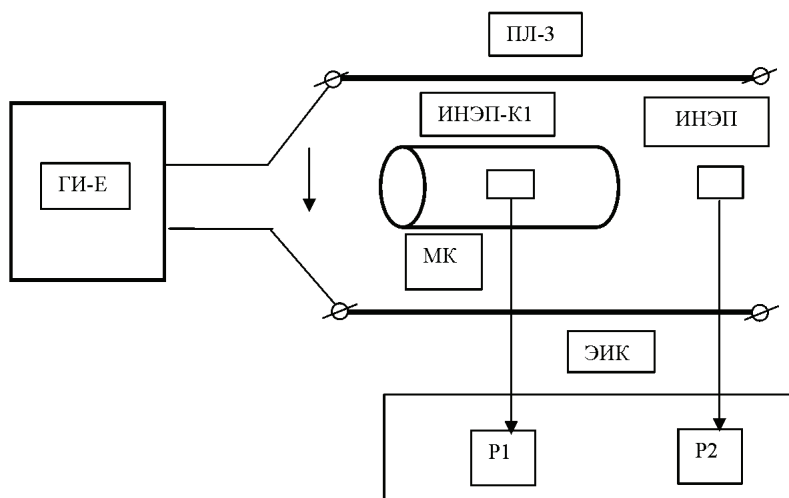


Рисунок 7 – Схема проведения исследований экранирующих свойств МК при нагружении внешним импульсным электрическим полем:

ГИ-Е – генератор импульсов электрического поля формы 0,1/10 мс;  
 ПЛ-3 – полеобразующая система 3 м; МК – испытуемый макет корпуса;  
 $E$  – вектор напряженности испытательного электрического поля;  
 ИНЭП-К1 – измеритель внутренних электрических полей;  
 ИНЭП – измеритель напряженности внешних электрических полей;  
 ЭИК – экранированная измерительная камера;  
 Р1, Р2 – регистраторы (осциллографы)

- режим работы ждущий
  - развертка 2мс/дел.
  - чувствительность - в зависимости от прогнозируемой амплитуды сигнала.
4. На осциллографе ЭО-2 установить:
- режим работы ждущий
  - развертка 2мс/дел.
  - чувствительность - в зависимости от прогнозируемой амплитуды сигнала.
5. На пульте управления генератора ГИ-Е установить зарядное напряжение, соответствующее напряженности электрического поля 300 кВ/м.
6. Нажатием кнопки «ПОДЖИГ» произвести разряд ГИ-Е. Зафиксировать осциллограмму импульса внешнего электрического поля на экране осциллографа ЭО-2.
7. Из осциллограммы определить амплитуду и временные параметры импульса напряженности внешнего электрического поля по следующей процедуре:
- амплитуду напряженности электрического поля определить по формуле :

$$E_{\max} = \frac{U_{\max}^E}{K_{II}^E} \quad (1)$$

где  $U_{\max}^E$  – импульс напряжения с выхода ИНЭП;  
 $K_{II}^E$  – коэффициент преобразования ИНЭП, берется из свидетельства о его метрологической аттестации (СМА)

- временные параметры униполярных импульсов  $E$  поля определить по методике, изложенной в международном стандарте ИЕС 60060-1:1989, которая заключается в раздельном определении длительности фронта импульса  $T_{\phi}$  и длительности полуспада  $T_c$ .
- а) Длительность фронта импульса определяется как интервал времени между уровнями  $0,9U_m(I_m)$  и  $0,1 U_m(I_m)$ , умноженное на коэффициент 1,25.
  - б) Длительность полуспада импульсов определяется как интервал времени между условным началом импульса и уровнем  $0,5 U_m(I_m)$  и спаде импульса.
8. Если амплитудно-временные параметры импульсов напряженности внешнего электрического поля соответствуют требованиям к его амплитуде и форме, то можно начинать измерения внутренних электрических полей.
  9. Проведя несколько контрольных разрядов ГИ-Е и изменяя при этом чувствительность осциллографа ЭО-1 получить осциллограмму напряжения с выхода ИНЭП-К1 с амплитудой не менее половины эк-

рана. При помощи горизонтальных курсоров ЭО-1 измерить амплитуду этого импульса напряжения  $U_{\max}^i$  а результат измерения занести в таблицу.

10. Для набора статистических данных с целью подтверждения стабильности амплитуды напряжения с выхода ИНЭП-К1 произвести еще 4 разряда генератора ГИ-Е, результаты измерения также, занести в таблицу.
11. По методике, изложенной выше, поочередно изменить ориентацию измерительного преобразователя, и повторить измерения.
12. Повторить эксперименты в других контрольных точках КТ2 и КТ3.

Аналогичный порядок действий при проведении измерений параметров магнитного поля внутри макета корпуса. Отличие заключается в схеме формирования воздействующего магнитного поля и использовании соответствующих измерителей типа ИНМП.

Исследования экранирующих свойств корпуса при протекании по нему тока имеют некоторые отличия. При этом, выход генератора тока подключается непосредственно к макету РКТ, а измерение проводится только Н - поля. Проникновением электрического поля в этом случае можно пренебречь.

#### **Выводы:**

1. Представлена методика проверки адекватности математических моделей защитных свойств корпусов - электромагнитных экранов.
2. Методика реализована при проведении исследований в рамках контракта с ГП «КБ «Южное».
3. Исследования подтвердили адекватность разработанных математических моделей процессов проникновения полей в корпус РКТ при действии электрического, магнитного полей и токов, сопровождающих молниевый разряд.
4. Результаты исследований опубликованы в работах [11, 12]. Погрешность расчетной методики не превышает 20%.

**Список литературы:** 1. *Каден Г.* Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи : пер. с нем. *В.М. Лаврова.* – М.-Л.: ГосЭнергоИздат, 1957. – 327 с. 2. *Васильев В.В., Колеский Л.Л., Медведев Ю.А.* Проводящие оболочки в импульсном электромагнитном поле. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 200 с. 3. *Кравченко В.И.* и др. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с. 4. *Князев В.В.* Аналитическое решение задачи проникновения электрического поля через эллиптическое отверстие в проводящей плоскости // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сб. научных трудов. Тем. вып. «Энергетика и преобразовательная техника». – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – № 35. – С. 71-82. 5. *Князев В.В.* Аналитическое решение задачи проникновения высокочастотного магнитного поля через эллиптическое отверстие в проводящей плоскости // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сб. научных трудов. Тем. вып. «Техника и электротехника высоких напряжений». – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – № 37. – С. 19-29. 6. *Байда Е.И.* Электротехника и электромеханика. – Х.: НТУ «ХПИ» 2009. – № 3. – С. 45-49. 7. *Скобlikов А.Ю.* Методика оценки влияния структурных

неоднородностей электромагнитного экрана на его защитные свойства / *А.Ю. Скобликов* // «Электротехника и электромеханика» Научно-практический журнал. – Х.: НТУ «ХПИ», 2010. – № 4. – С. 44-48. **8.** ГОСТ 30585-98 Совместимость технических средств электромагнитная. Стойкость к воздействию грозовых разрядов. Технические требования и методы испытаний. **9.** *Князев В.В., Немченко Ю.С., Лесной И.П.* и др. Использование эталона РЭМП в работах по исследованию импульсных экранирующих свойств металлических экранов // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сб. научных трудов. Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х.: НТУ «ХПИ», 2011. – № 16. – С. 92-110. **10.** IEC 60060-1:1989 High-voltage test techniques. – Part 1: General definitions and test requirements. **11.** *Скобликов А.Ю.* Анализ точности гибридного метода при расчете электрического поля внутри неоднородного электромагнитного экрана // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тем. вип. «Техніка і електрофізика високих напруг». – Х.: НТУ «ХПИ», 2011. – № 16. – С. 162-172. **12.** *Скобликов А.Ю.* Результаты моделирования процесса проникновения электрического поля внутрь структурно-неоднородного электромагнитного экрана // «Электротехника и электромеханика». Научно-практический журнал. – Х.: НТУ «ХПИ», 2011. – № 4. – С. 66-71.

*Поступила в редколлегию 11.04.2012.*