

**Определение уровней напряжений, наведенных электромагнитными полями на проводящие элементы зданий и сооружений в зоне действия мощных источников радиоизлучений**

**МУК 4.3.678-97. Определение уровней напряжений, наведенных электромагнитными полями на проводящие элементы зданий и сооружений в зоне действия мощных источников радиоизлучений**

#### **4.3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ, НАВЕДЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ НА ПРОВОДЯЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ МОЩНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ**

**Методические указания**

**МУК 4.3.678-97**

**Дата введения: с момента утверждения**

1. РАЗРАБОТАНЫ Бузовым А.Л., Романовым В.А., Казанским Л.С., Кольчугиным Ю.И., Юдиным В.В. (Самарский отраслевой научно-исследовательский институт радио Министерства связи Российской Федерации).

2. ПРЕДСТАВЛЕНЫ Госкомсвязи России письмом от 27.05.97 № НТУОТ-1/058.

ОДОБРЕНЫ к утверждению Комиссией по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Минздраве России.

3. УТВЕРЖДЕНЫ и введены в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации от 6 ноября 1997 г.

4. ВВЕДЕНЫ В ПЕРВЫЕ.

#### **1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Методические указания составлены в помощь инженерам органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы, инженерно-техническим работникам, проектным организациям средств связи с целью обеспечения предупредительного санитарного надзора за источниками излучения кило- (НЧ), гекто- (СЧ) и дециметрового (ВЧ) диапазонов технических средств радиовещания и радиосвязи, а также для прогнозирования уровней напряжений, наведенных электромагнитными полями на проводящие элементы зданий и сооружений в зоне действия мощных источников радиоизлучений этих диапазонов.

#### **2. СУЩНОСТЬ МЕТОДА**

Расчетный метод основан на предварительном расчете распределения тока, наведенного на проводящие элементы (металлоконструкции) объекта (здания или иного сооружения) полем излучения антенн радиостанций.

Задача о нахождении наведенного тока решается как внешняя электродинамическая задача методом интегрального уравнения в тонкопроволочном приближении. Исследуемый объект представляется в виде систем цилиндрических проводников. В соответствии с тонкопроволочным приближением, во-первых, считается, что ток течет по оси проводника (т.е. поверхностная плотность тока как векторная функция пространственных координат заменяется линейным осевым током - скалярной функцией криволинейной координаты, отсчитываемой вдоль оси проводника), а во-вторых, на

поверхности проводника учитывается только тангенциальная составляющая электрического поля, параллельная его оси.

Для решения интегрального уравнения используется разновидность метода моментов - метод сшивания в дискретных точках при кусочно-синусоидальном базисе разложения искомого токовой функции. Интегральное уравнение имеет смысл граничного условия на поверхности проводника, которое выражается равенством нулю тангенциальной составляющей полного электрического поля - суперпозиции поля излучения антенн радиостанций и поля, создаваемого излучением наведенных токов. В рамках данного метода граничное условие накладывается в дискретных точках - точках сшивания. Интегральное уравнение сводится к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), решаемой относительно коэффициентов разложения токовой функции по кусочно-синусоидальному базису. Число уравнений (неизвестных) СЛАУ, а также число базисных функций равно числу точек сшивания, размещенных вдоль проводников объекта.

Поле излучения радиостанций рассматривается как стороннее (не зависящее от параметров объекта) и рассчитывается (в точках сшивания) с учетом электрофизических параметров реальной почвы, экранизирующего и поглощающего действия стен зданий, а также подстилающей поверхности (нижнего перекрытия). Наведенные напряжения рассчитываются как результат действия полей излучения антенн радиостанций и наведенных токов.

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НАВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Расчет выполняется в следующей последовательности:

- рассчитываются геометрические параметры проволочной модели исследуемого объекта (пространственные координаты точек сшивания и сегментов - коротких отрезков проводников, на которых определяются соответствующие базисные функции);

- в точках сшивания рассчитываются тангенциальные составляющие стороннего поля - поля излучения антенн радиостанций с учетом электрофизических параметров реальной почвы, влияния стен здания и подстилающей поверхности;

- составляется и решается СЛАУ - аналог интегрального уравнения; найденные коэффициенты разложения совместно с базисными функциями восстанавливают токовую функцию, аппроксимирующую истинное распределение тока;

- по найденному распределению тока с учетом поля излучения антенн радиостанций рассчитываются наведенные напряжения.

#### 3.1. РАСЧЕТ ПРОВОЛОЧНОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

Задается основная декартова система пространственных координат. Относительно исследуемого объекта введенную систему целесообразно ориентировать таким образом, чтобы оси абсцисс и ординат лежали в плоскости земной поверхности, ось аппликата была направлена вертикально вверх.

Исследуемый объект представляется в виде системы цилиндрических проводников. Совокупность осей проводников представляет собой контур  $L'$  (не обязательно гладкий и непрерывный), на котором определяется токовая функция  $I(I')$ , где  $I'$  - криволинейная координата, отсчитываемая вдоль  $L'$  (каждой точке на проводниках модели должно однозначно соответствовать некоторое значение  $I'$ ). Для наложения граничных условий строится контур  $L$ , который представляет собой контур  $L'$ , перенесенный на поверхность проводников ( $L$  и  $L'$  нигде не пересекаются и не соприкасаются). На контуре  $L'$  выделяются  $N$  коротких отрезков - сегментов, как показано на рис. 1. Каждый  $k$ -й сегмент определяется тремя точками:  $I' = a_k$  - начало,  $I' = b_k$  - средняя точка,  $I' = c_k$  - конец. Отрезки  $[a_k, b_k]$  и  $[b_k, c_k]$  соответственно 1-е и 2-е плечи сегмента ( $k$ -го) - могут не лежать на одной прямой и иметь разную длину. Соседние сегменты частично перекрываются: средняя точка  $k$ -го сегмента  $b_k$  совпадает с концом  $(k-1)$ -го  $c_{k-1}$  и началом  $(k+1)$ -го  $a_{k+1}$  сегментов. Электрические соединения описываются введением дополнительных сегментов, плечи каждого из которых лежат на разных проводах, как показано на рис. 2.

Размещение сегментов на контуре  $L'$

Рис. 1

Описание электрических соединений в проволочной модели

Рис. 2

Длина плеча сегмента не должна превышать 10% длины волны, отношение этой длины к радиусу провода должно находиться в пределах  $3 \dots 10$ .

Каждому сегменту соответствует одна точка сшивания. В качестве точек сшивания берутся точки контура  $L$ , наименее удаленные от средних точек соответствующих сегментов.

В результате расчетов на данном этапе должны быть определены пространственные координаты (в основной системе) сегментов и точек сшивания.

### 3.2. РАСЧЕТ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН РАДИОСТАНЦИЙ

Поле излучения антенн радиостанций в некоторой точке наблюдения вычисляется следующим образом.

Антенны рассматриваемых диапазонов представляют собой системы линейных проводников (вибраторов, проводников-рефлекторов антенн СГД, проводников ромбических антенн). Каждый проводник представляется как совокупность элементарных электрических вибраторов (ЭЭВ).

Ток каждого ЭЭВ полностью определяется входным сопротивлением, мощностью передатчика и законом распределения тока.

В качестве последнего следует задаться синусоидальным распределением тока по проводникам вибраторных антенн и режимом бегущей волны в проводниках ромбических антенн. Поле в точке наблюдения находится как суперпозиция полей, создаваемых всеми ЭВВ антенны. Задача, таким образом, сводится к нахождению поля одного ЭВВ.

Рассматриваются два типа ЭВВ - горизонтальные и вертикальные. Практически все многообразие конструкций антенн Ч, СЧ и ВЧ диапазонов исчерпывается данными типами ЭВВ. Ниже для указания горизонтального и вертикального ЭВВ будут использоваться надстрочные индексы "г" и "в", соответственно.

Горизонтальный ЭВВ ориентируется вдоль оси ОХ вспомогательной декартовой системы (отличающейся от основной только поворотом на некоторый угол  $\alpha$  относительно оси аппликат). Высота ЭВВ относительно плоскости ХОУ (которая совпадает с поверхностью земли)  $h$ . Компоненты разложения по базисным ортам вспомогательной системы электрического поля в некоторой точке наблюдения с координатами  $x, y, z$  определяются выражениями:

$$\begin{aligned} E_x^z &= \frac{M e_x e^{jk_1 R_1}}{R_1} ; \\ E_y^z &= \frac{M e_y e^{jk_1 R_1}}{R_1} , \\ E_z^z &= \frac{M e_z e^{jk_1 R_1}}{R_1} , \end{aligned} \quad (3.1)$$

где  $M = jk_1 I_{\text{ЭВВ}}$  - дипольный момент;

$k_1 = 2\pi / \lambda$  - волновое число для воздуха;

$l$  - длина волны, м;

$I$  - амплитуда тока ЭВВ, А;

$l_{\text{ЭВВ}}$  - длина ЭВВ, м;

$R_1 = (x^2 + y^2 + (z-h)^2)^{1/2}$  - расстояние между точкой наблюдения и центром ЭВВ.

Функции  $e_x, e_y, e_z$  (3.1) имеют вид:

$$\begin{aligned} e_x &= e_{rx} \cos \varphi - e_{fx} \sin \varphi , \\ e_y &= e_{ry} \cos \varphi + e_{fy} \sin \varphi , \\ e_z &= e_{sz} \cos \varphi , \end{aligned} \quad (3.2)$$

где

$$\begin{aligned} e_{rx} &= [1 + a_{rr} - \Delta(1 + b_{rr} + 2i\delta b_s) - 2\delta^2 \Delta(\delta) - 2\delta \mathcal{U}(\delta) + 2\delta \mathcal{U}(1/\delta)] \cos \varphi , \\ e_{fx} &= \{- [1 + a'_{rr} - \Delta - \Delta b'_r + 2\Delta(1/\delta) - 2\delta \mathcal{U}(1/\delta) + 2\delta \mathcal{U}(\delta)]\} \sin \varphi , \\ e_{sx} &= a_{rs} - \Delta b_{rs} + 2i\delta \Delta \mathcal{U}(\delta) . \end{aligned} \quad (3.3)$$

Вертикальный ЭВВ ориентируется вдоль оси ОZ вспомогательной цилиндрической системы и расположен на высоте  $h$  над плоскостью  $z = 0$ , которая совпадает с поверхностью земли. Компоненты разложения по базисным ортам цилиндрической системы электрического поля в некоторой точке наблюдения с координатами  $r, z$  (в силу симметрии задачи азимут  $j$  может быть произвольным) определяются выражениями:

$$\begin{aligned} E_r^v &= (M e_r e^{jk_1 R_1}) / R_1 , \\ E_z^v &= (M e_z e^{jk_1 R_1}) / R_1 , \end{aligned} \quad (3.4)$$

где функции  $e_r, e_z$  имеют вид:

$$\begin{aligned} e_r &= a_{rs} + \Delta b_{rs} - 2i\delta \mathcal{U}(\delta) , \\ e_z &= 1 + a_{ss} + \Delta(-1 + b_{ss} - 2i\delta b_s) + 2\Delta(1 - \delta^2) \mathcal{U}(\delta) . \end{aligned} \quad (3.5)$$

Параметры, входящие в (3.3 - 3.5), вычисляются по формулам:

$$a_{rr} = a \cos^2 \Theta - b \sin^2 \Theta - 1 ,$$

$$\begin{aligned}
b_{rr} &= a \cos^2 \Theta' - b \sin^2 \Theta' - 1, \\
a_{rs} &= -(a+b) \sin \Theta \cos \Theta, \\
b_{rs} &= -(a'+b') \sin \Theta' \cos \Theta', \\
a_{ss} &= -a \sin^2 \Theta - b \cos^2 \Theta - 1, \\
b_{ss} &= a \sin^2 \Theta' - b \cos^2 \Theta' - 1, \\
a_r &= i(1 + i/k_1 R_1) \sin \Theta, \\
a'_r &= a_r / k_1 r, \\
b_r &= i(1 + i/k_1 R_2) \sin \Theta', \\
b'_r &= b_r / k_1 r, \\
b_s &= id' \cos \Theta, \\
d' &= 1 + i/k_1 R_2, \\
\Omega &= \delta^2 \Delta / k_1 r (1 - \delta^2), \\
\Delta &= R_1 \exp[-ik(R_1 - R_2)] / R_2, \\
\delta &= 1/(\varepsilon + i60\lambda\sigma + 1)^{1/2}, \\
a &= 1 + i/k_1 R_1 - 1/k_1^2 R_1^2, \\
a' &= 1 + i/k_1 R_2 - 1/k_1^2 R_2^2, \\
b &= 2i(1 + i/k_1 R_1) / k_1 R_1, \\
b' &= 2i(1 + i/k_1 R_2) / k_1 R_2, \\
\cos \Theta &= (z - h) / R_1, \\
\cos \Theta' &= (z - h) / R_2,
\end{aligned} \tag{3.6}$$

где  $r, R_2$  -геометрические параметры задачи, выражающиеся формулами:

$$\begin{aligned}
R_2 &= (x^2 + y^2 + (z+h)^2)^{1/2}, \\
r &= (x^2 + y^2)^{1/2}.
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Вспомогательные функции  $I(\delta)$  и  $U(\delta)$  выражаются через функцию ослабления  $y(z, r)$ :

$$\begin{aligned}
I(\delta) &= y(z, r), \\
U(\delta) &= r(i - 1/k_1 R_1) y(z, r) / R_1
\end{aligned} \tag{3.8}$$

Для вычисления функции ослабления, в которую входит интеграл вероятности от комплексного аргумента, используются сходящиеся и асимптотические разложения:

$$\begin{aligned}
y(z, r) &= 1 + j\sqrt{\pi S_0} e^{-s} - 2\sqrt{SS_0} \sum_{\nu=0}^n \frac{(-2S)^\nu}{(2\nu+1)!}, \quad |s| < 12, \\
y(z, r) &= 1 - \sqrt{S_0/S} \sum_{\nu=0}^n (2\nu-1)! / (2S)^\nu, \quad |s| \geq 12 \text{ и } \text{Im}(\sqrt{S}) \geq 0, \\
y(z, r) &= 1 + 2j\sqrt{\pi S_0} e^{-s} - \sqrt{S_0/S} \sum_{\nu=0}^n (2\nu-1)! / (2S)^\nu, \quad |s| \geq 12 \text{ и } \text{Im}(\sqrt{S}) < 0,
\end{aligned} \tag{3.9}$$

где  $S_0 = ik_1 R_2 \delta^2 / 2(r/R_2)^2$ ,

$$S = S_0 [1 + (z+h)/\delta R_2]^2.$$

После вычисления поля ЭЭВ как вектора в соответствующей вспомогательной системе координат должны рассчитываться компоненты его разложения по ортам основной системы. Поле излучения  $\vec{E}_{uz}$  (вектор в основной системе) находится как векторная сумма полей отдельных ЭЭВ.

### 3.3. РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА, НАВЕДЕННОГО НА ПРОВОДЯЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОБЪЕКТА

Распределение тока определяется как токовая функция  $I(l)$ , полностью определяемая коэффициентами разложения по кусочно-синусоидальному базису  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$  ( $N$  - число сегментов).

Коэффициенты  $I_1, I_2, \dots, I_N$  находятся решением СЛАУ:

$$\sum_{k=1}^N Z_{ik} I_k = E_i, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (3.10)$$

где  $Z_{ik}$  - коэффициенты, образующие квадратную матрицу импедансов;

$E_{ik}$  - свободные члены СЛАУ.

Некоторый коэффициент  $Z_{ik}$  выражает связь между  $k$ -м сегментом и  $i$ -й точкой сшивания (физический смысл - тангенциальное поле в  $i$ -й точке сшивания при  $I_k = 1$  А) и вычисляется по формуле:

$$Z_{ik} = Z'_{ik} + k_z Z''_{ik}, \quad (3.11)$$

где  $Z'_{ik}$  и  $Z''_{ik}$  - составляющие, обусловленные собственно  $k$ -м сегментом и его зеркальным изображением в плоскости подстилающей поверхности;

$k_z = 1$ , если объект содержит нижнее (на уровне земной поверхности) железобетонное перекрытие, в противном случае  $k_z = 0$ .

Величины  $Z'_{ik}$  и  $Z''_{ik}$  рассчитываются следующим образом.

На рис. 3 показаны произвольные  $i$ -я точка сшивания и  $k$ -й сегмент, с каждым плечом которого связан соответствующая вспомогательная цилиндрическая система координат. Сначала вычисляются  $z$ -я и  $g$ -я компоненты поля (при  $I_k = 1$  А) в точке сшивания поочередно от каждого плеча сегмента. Формулы для  $z$ -й и  $g$ -й компонент поля, создаваемого в точке сшивания одним из плеч сегмента (в соответствующей цилиндрической системе, - см. рис. 3) имеют вид:

$$E_z = \pm j30 \left[ \frac{\exp(-j\beta r_1)}{r_1} - \cos(\beta l) \frac{\exp(-j\beta r_0)}{r_0} - z \sin(\beta l) \left( 1/\beta r_0^3 + j/r_0^2 \right) \exp(-j\beta r_0) \right], \quad (3.12)$$

$$E_\rho = \pm \frac{j30}{\rho} \left[ -\frac{\exp(-j\beta r_1)}{r_1(z-1)^{-1}} - \cos(\beta l) \frac{\exp(-j\beta r_0)}{r_0 z^{-1}} - \sin(\beta l) \left( 1 - z^2/r_0^2 - j\beta z^2/r_0 \right) \frac{\exp(-j\beta r_0)}{\beta r_0} \right], \quad (3.13)$$

где  $r_1$  - расстояние до точки наблюдения от начала (конца) сегмента, м;

$r_0$  - расстояние до точки наблюдения от средней точки сегмента, м;

$\beta = 2\pi/\lambda$  - волновое число;

$l$  - длина волны, м;

$l$  - длина рассматриваемого плеча, м;

$z$  и  $g$  - цилиндрические координаты точки наблюдения (соответственно аппликата и проекция радиус-вектора точки на плоскость  $z = 0$ , м).

Знак "+" в (3.11, 3.12) соответствует 1-му плечу сегмента, знак "-" - 2-му.

К выводу формул для расчета элементов матрицы импедансов

$(\hat{o}^{(y)} z_1^{(y)})$  и  $(\hat{o}^{(y)} z_1^{(y)})$  - оси аппликат вспомогательных цилиндрических систем для 1-го и 2-го плеч  $k$ -го сегмента, соответственно  $l_{z1}, l_{r1}, l_{z2}, l_{r2}$  - единичные базисные векторы вспомогательных цилиндрических систем

Рис. 3

Пусть z- и r-компоненты поля рассчитаны для обоих плеч k-го сегмента, т.е. получены 4 числа. Обозначим их  $E_{m,k}$ ,  $m = 1, 2, 3, 4$ . Каждой m-й компоненте в исходной основной системе координат соответствует единичный вектор  $l'_{m,k}$ . С учетом этих обозначений формула для  $Z'_{ik}$  имеет вид:

$$Z'_{ik} = \sum_{m=1}^4 (l'_i, l'_{m,k}) E_{m,k}, \quad (3.14)$$

где  $l'_i = (c_i - a_i) / |c_i - a_i|$  - единичный тангенциальный вектор в i-й точке сшивания ( $c_i$  и  $a_i$  - радиус-векторы конца и начала i-го сегмента).

Величина  $Z''_{ik}$  вычисляется аналогичным образом для зеркального изображения k-го сегмента.

Свободный член i-го уравнения СЛАУ (соответствующего i-й точке сшивания)  $E_i$  рассчитывается по формуле:

$$E_i = -(l'_i, E_{uz}) * P_{cm}, \quad (3.15)$$

где  $E_{uz}$  - поле излучения радиостанций в i-й точке сшивания, В/м, вычисленное методом, описанным в п. 3.2.

$P_{cm}$  - коэффициент, учитывающий влияние стен здания (для железобетонных стен  $P_{cm} = 0,316$ , во всех остальных случаях  $P_{cm} = 1$ ).

### 3.4. РАСЧЕТ НАВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ



Наведенное напряжение между некоторыми точками с радиус-векторами  $\nu_1^0$  и  $\nu_2^0$  вычисляется по формуле:

$$U = - \int_{L_0} \left[ \sum_{k=1}^N Z_k^0 I_k + (l^0, E_{uz}) P_{cm} \right] dl^0, \quad (3.16)$$

где  $L_0$  - контур интегрирования - прямолинейный отрезок, соединяющий точки  $\nu_1^0$  и  $\nu_2^0$ ;

$\rho^0$  - переменная интегрирования - криволинейная координата, отсчитываемая вдоль  $L_0$ ;

$\nu^0$  - радиус-вектор точки  $\rho^0$  (в основной системе);

$$l_0 = \left( \nu_2^0 - \nu_1^0 \right) / \left| \nu_2^0 - \nu_1^0 \right|.$$

$E_{uz}$  - поле излучения радиостанций в точке  $\nu^0$ , В/м, вычисленное методом, описанным в п. 3.2.

Коэффициенты  $Z$  в (3.16) вычисляются также как и коэффициенты матрицы импедансов (п. 3.3), только вместо точки шивания берется точка  $\rho^0$  (с радиус-вектором  $\nu^0$ ).

#### 4. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЕЙ НАВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

##### 4.1. СОСТАВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В комплекс измерительного оборудования входят следующие комплекты, приборы и вспомогательные устройства:

- селективный микровольтметр SMV11;

- антенна для измерения напряженности поля "ОПТ" (разработана Самарским отраслевым НИИ радио);

- милливольтметр ВЗ-48А (широкополосный измеритель среднеквадратического значения напряжения произвольной формы в диапазоне 10 Гц... 50 МГц);

- металлический лист МЛ круговой формы диаметром 1 м, имитирующий тело человека как емкость относительно проводящего пола или реальной земли;

- соединительная шина, обеспечивающая соединение корпуса пробника прибора ВЗ-48А с МЛ;

- диэлектрическая штанга, осуществляющая надежную изоляцию тела оператора от металлоконструкции (штанга прикрепляется к корпусу пробника прибора ВЗ-48А).

##### 4.2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Экспериментальное определение величины наведенного напряжения выполняется в следующей последовательности.

4.2.1. Комплектом в составе SMV 11 и антенны "ОПТ" (измеритель напряженности поля) выполняются измерения напряженности поля вблизи металлоконструкции (в местах, доступных для прикосновения). При этом возможны два случая:

- вблизи исследуемого объекта (здание, отдельно стоящее металлическое сооружение) находится одна радиостанция;

- вблизи исследуемого объекта находится несколько радиостанций, но сигнал одной из них существенно превосходит по уровню остальные;

- вблизи исследуемого объекта находится несколько радиостанций, причем сигналы более чем 2-х из них измеримы по

уровню.

В первом случае измерителем напряженности поля находятся только точки максимумов напряженности поля (т.е. максимумов потенциала на металлоконструкции), в которых затем измеряются наведенные напряжения.

Во втором случае измерителем напряженности поля находятся точки максимумов поля (потенциала) на частотестанции с превалирующим уровнем сигнала. Фиксируются показания прибора в этих точках, наибольшее значение  $V_m$  принимается равным 0 дБ (остальные нормируются по этому уровню). Затем в этих же точках определяются относительные (нормированные к  $V_m$ ) уровни сигнала на частотах остальных радиостанций  $V_{ji}$ , дБ ( $i$  - номер радиостанции,  $j$  - номер точки измерения). Все показания прибора фиксируются.

В третьем случае определяется относительное среднеквадратическое значение как функция криволинейной координаты  $x$ , отсчитываемой вдоль металлоконструкции:

$$V_s(x) = \left[ \sum_{i=1}^N 10^{M(x)/10} \right]^{1/2}, \quad (4.1)$$

где  $i$  - номер радиостанции;  $N$  - общее число радиостанций.

Максимумы функции  $V_s(x)$  будут точками, в которых необходимо выполнить измерение напряжения. Эти точки фиксируются, фиксируются также показания прибора в этих точках  $V_{ji}$ , нормированные к максимальному измеренному уровню  $V_m$ .

4.2.2. В найденных точках максимумов напряжения производится его измерение прибором ВЗ-48А согласно схеме рис. 4., предварительно удалив покрытия (например, краску) с поверхности металла в этих точках. При измерениях необходимо щуп прибора плавно приближать к точке касания, контролируя показания прибора. Если измеренное значение оказывается равным 300 В до момента касания, измерение в данной точке прекращается и делается вывод о превышении в ней уровня 300 В. В противном случае осуществляется касание щупом поверхности металла и фиксируется показание прибора -

среднеквадратическое значение  $U_j^c$ , В ( $j$  - номер точки измерения).

Схема измерений наведенных напряжений

Рис. 4

4.2.3. Если радиостанция одна, измерения прекращаются. Значение наведенного напряжения для  $j$ -й точки наблюдения берется равным  $U_j^c$ , В. Если радиостанций несколько для каждой  $j$ -й точки измерения вычисляются значения наведенных напряжений  $U_{ij}$ , В по формулам:

$$U_{kj} = U_j^c \left[ \sum_{i=1}^{k-1} 10^{(V_{\#} - V_{\#j})/20} + \sum_{i=k+1}^N 10^{(V_{\#} - V_{\#j})/20} \right]^{1/2}, \quad (4.2)$$

$$U_{ij} = U_{kj} 10^{(V_{\#} - V_{\#j})/20}, \quad i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, N,$$

где  $k$  - номер радиостанции, уровень сигнала которой превышает все остальные.

4.2.4. При проведении измерений прибором ВЗ-48А по схеме, показанной на рис. 4, необходимо обеспечить надежный электрический контакт между соединительной шиной, корпусом пробника прибора и металлическим листом МЛ.

4.2.5. Результаты измерений и расчетов заносятся в протокол.