

**ДАНИЛОВ Николай Стефанович, кандидат технических наук**  
**КАЛИНИН Сергей Владимирович,**  
**СУВОРОВ Петр Анатольевич, кандидат технических наук**

## ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ АНТЕНН, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СПЕЦИССЛЕДОВАНИЯХ

К основным параметрам измерительных антенн относятся:

- коэффициент антенны  $K_a$ , дБ (коэффициент пропорциональности между  $E$  (напряженность поля) и  $U$  (напряжение измерительного прибора), т.е.  $K_a = E/U$  (раз) или  $K_a = (E - U)$ , дБ);
- затухание асимметрии (или степень симметрии) симметрирующего устройства  $B_a$ , дБ;
- пороговая чувствительность измерителя по полю  $E_{ша}$ , дБ.

Указанные два последних параметра должны удовлетворять определенным требованиям, приведенным в [1]. Измерение затухания асимметрии согласующих устройств антенны производится при помощи эталона электрического поля, имеющего такие же характеристики электрического поля, что и при специссследованиях технических средств (ТС), т.е. электрическое поле на частотах до 150 МГц на близких расстояниях ( $d = 1$  м) имеет потенциальный характер. Для создания эталона электрического поля с указанными свойствами одна из пластин эталона поля была заземлена, другая подключалась к генератору стандартных сигналов. Схема эталона электрического поля представлена на *рис 1*.

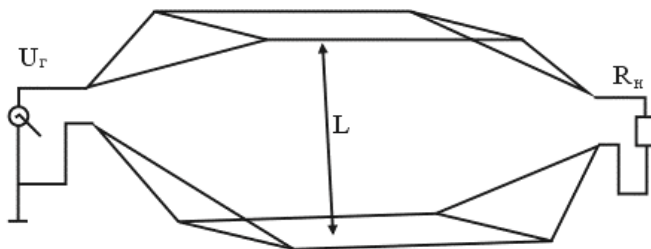


Рис. 1. Схема эталона электрического поля

Размеры эталона электрического поля были выбраны из условий, связанных с габаритами испытуемых антенн. Габариты антенны должны быть меньше, чем размер  $L$ , примерно в два раза.

Для приведенного эталона поля  $E_x = \frac{U_G}{L}$  мкв/м, или  $E_x = U_G + 2,5$  дБ, где  $L$  – расстояние между пластинами эталона поля ( $L = 0,75$  м).

Коэффициент антенны  $K_a = E_x - U_{cp}$  (дБ), где  $U_{cp} = \frac{U_1 + U_2}{2}$ ,  $U_1$  и  $U_2$  – показание селективного микровольтметра для двух противоположных положений антенны при измерениях в эталоне поля.

Степень симметрии симметрирующего устройства определяется как:

$$B_a = \frac{\varphi_{cp}}{\varepsilon_{ои}} = \frac{U_{ген}}{2U_{ои} / K_{пер}} = \frac{U_{ген}}{2U_{ои} K_a h_{\delta}} \text{ (раз)},$$

где:  $\varphi_{cp}$  – средний потенциал пространства, в который помещена испытываемая антенна,

$\mathcal{E}_{ош}$  – электродвижущая сила ошибочного сигнала в антенне за счёт конечного значения затухания

согласующего устройства,  $\mathcal{E}_{ош} = U_{ош} / K_{пер}$

$K_{пер}$  – коэффициент передачи согласующего устройства,

$h_{\delta}$  – действующая высота испытываемой антенны.

$U_{ш} = \frac{U_2 - U_1}{2}$  – полуразность двух показаний при измерениях в эталоне поля.

В свою очередь по определению  $K_a = \frac{1}{h_{\delta} K_{пер}} (1/m)$ , откуда  $K_{пер} = \frac{1}{K_a h_{\delta}}$ .

Значение ошибки при однократном измерении сигнала в ближней зоне излучателя за счёт конечного значения симметрии согласующего устройства антенны составляет [1]:

$$\psi\% = \frac{E_{св}}{E_c} \cdot \frac{h_{bpy}}{h_{\delta}} \cdot \frac{100}{B_a}$$

Так как в методических материалах по специсследованиям рекомендуется ориентация антенны на максимум, то возможна ошибка со знаком плюс.

Результаты измерения и расчёта параметров антенны  $K_a$  (дБ),  $B_a$  (дБ), и  $\psi\%$  приведены в табл. 1 – 5 и на соответствующих графиках (рис. 2 – 16) для следующих типов антенн:

#### Пассивные антенны:

DP-1, DP-3 производства ГДР, причем для антенны DP-1 измерения проводились при минимальных размерах плеч диполя ( $h_{\delta} = 0,15$  м), а параметры антенны DP-3 приводятся в нерабочем участке частотного диапазона, т.е. 30 – 100 МГц (по паспорту ее частотный диапазон 300 – 1000 МГц).

#### Активные антенны:

АИ4-2 (производства НИИФТРИ, г. Менделеево), Р6-51 (производства ОКБ РИАП, г. Нижний Новгород), ЭА-1 (производства НПО «Элерон»).

Таблица 1. DP-1

№	F, МГц	U1, дБ	U2, дБ	Uген, дБ	Ucp, дБ	Uош, дБ	Ex, дБ	Ка, дБ	Ва, дБ	ψ, %
1	30	83	84	115	83,51438	58,70791	117,5	33,98562	32,78465	9,113315
2	40	82	88	115	85,5081	75,93815	117,5	31,9919	17,54812	52,66265
3	60	87,5	88	111	87,7536	56,93371	113,5	25,7464	38,79806	4,56043
4	70	64	84	113	78,80725	77,06425	115,5	36,69275	9,721178	129,6731
5	80	75	82,5	113	79,53554	71,72252	115,5	35,96446	15,7912	64,4687
6	100	86	92	110	89,5081	79,93815	112,5	22,9919	17,54812	52,66265
7	150	86	87	109	86,51438	61,70791	111,5	24,98562	32,78465	9,113315
8	200	90	92	104	91,05744	72,24289	106,5	15,44256	26,79272	18,16656

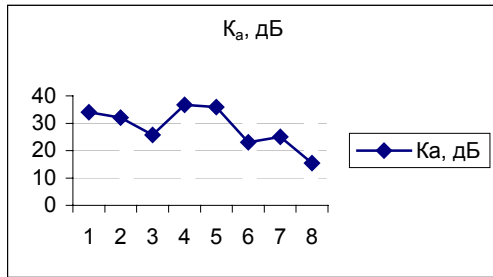


Рис. 2

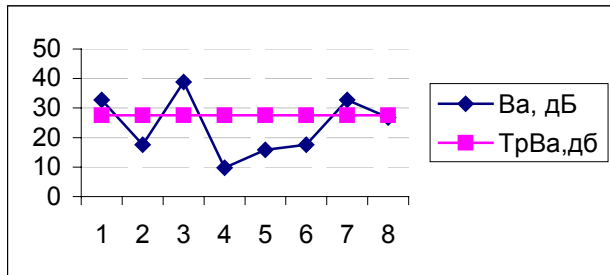


Рис. 3

Требуемое  $V_a = 27,5$  дБ

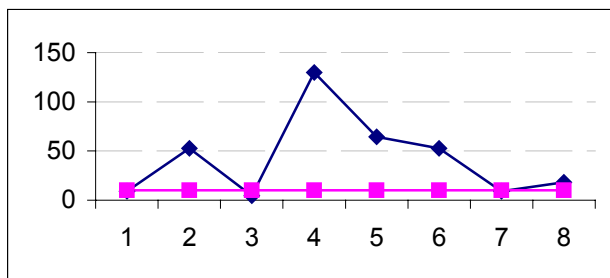


Рис. 4

$\Psi\%$ , требуемое  $\psi = 10\%$

Таблица 2. DP-3

№	F, МГц	U1, дБ	U2, дБ	Uген, дБ	Uср, дБ	Uош, дБ	Eх, дБ	$K_a$ , дБ	$V_a$ , дБ	$\psi$ , %
1	30	79	84	118	81,85492	70,80211	120,5	38,64508	11,67145	44,39761
2	40	86	89	118	87,62888	72,28867	120,5	32,87112	15,95885	27,10125
3	50	84	94	114	90,36602	84,67763	116,5	26,13398	6,307031	82,33423
4	60	90	96	113,5	93,5081	83,93815	116	22,4919	10,18859	52,66265
5	70	93	94	115	93,51438	68,70791	117,5	23,98562	25,42511	9,113315
6	80	93	94	115	93,51438	68,70791	117,5	23,98562	25,42511	9,113315
7	100	98	99	111,5	98,51438	73,70791	114	15,48562	25,42511	9,113315

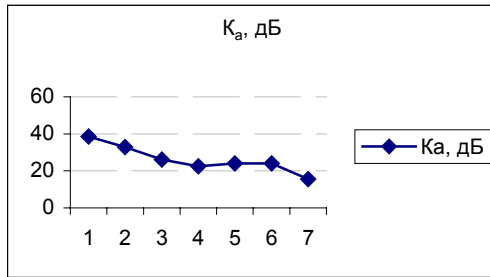


Рис. 5

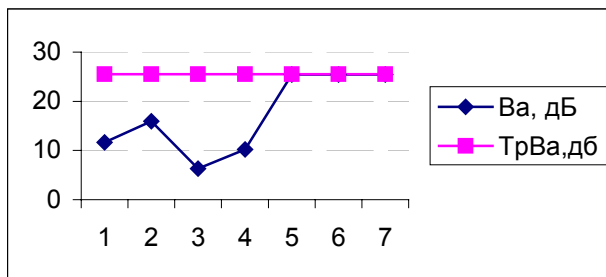


Рис. 6

Требуемое  $V_a = 25,5$  дБ

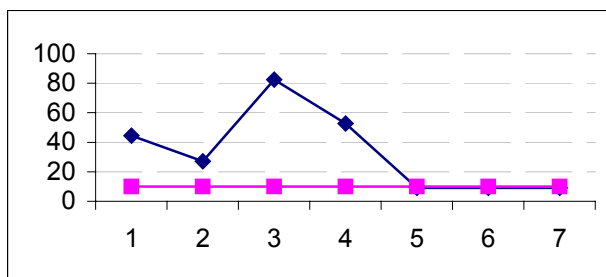


Рис. 7

$\Psi\%$ , требуемое  $\psi = 10\%$

Таблица 3. АИ2-4

№	F, МГц	$U_1$ , дБ	$U_2$ , дБ	$U_{ген}$ , дБ	$U_{ср}$ , дБ	$U_{ош}$ , дБ	$E_x$ , дБ	$K_a$ , дБ	$V_a$ , дБ	$\psi\%$
1	0,5	67	68	120	67,51438	42,70791	122,5	54,98561	35,19126	9,113314
2	1	72	72,5	119	72,25359	41,43371	121,5	49,24640	41,20467	4,560430
3	5	91	93	119	92,05743	73,24289	121,5	29,44256	29,19933	18,16656
4	10	86,5	87	116	86,75359	55,93371	118,5	31,74640	41,20467	4,560430
5	30	102	103	115,5	102,5143	77,70791	118	15,48561	35,19126	9,113314
6	50	97	97,5	114	97,25359	66,43371	116,5	19,24640	41,20467	4,560430
7	70	95	96	113	95,51438	70,70791	115,5	19,98561	35,19126	9,113314
8	90	92	93	112	92,51438	67,70791	114,5	21,98561	35,19126	9,113314

9	120	96	97,5	110	96,78233	75,48572	112,5	15,71766	31,68140	13,65115
10	150	92,5	95	109	93,83963	76,94187	111,5	17,66036	27,28255	22,65228

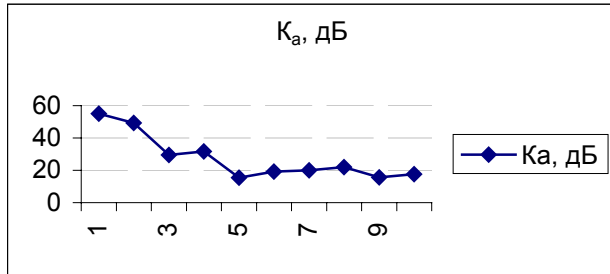


Рис. 8

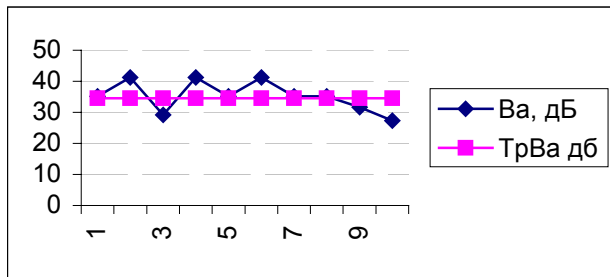


Рис. 9

Требуемое  $V_a = 34,5$  дБ

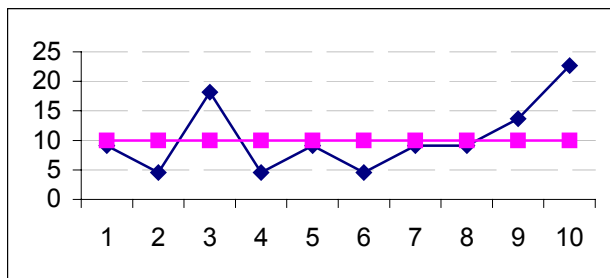


Рис. 10

$\psi$ %, требуемое  $\psi = 10\%$

Таблица 4. Р6-51

№	F, МГц	$U_1$ , дБ	$U_2$ , дБ	$U_{ген}$ , дБ	$U_{ср}$ , дБ	$U_{ош}$ , дБ	$E_x$ , дБ	$K_a$ , дБ	$V_a$ , дБ	$\psi$ , %
1	1	82	84	92	83,05744	64,24289	94,5	11,44256	24,29394	18,16656
2	2	82	83	92	82,51438	57,70791	94,5	11,98562	30,28587	9,113315
3	5	84	85	96	84,51438	59,70791	98,5	13,98562	30,28587	9,113315
4	10	84	85	96	84,51438	59,70791	98,5	13,98562	30,28587	9,113315
5	20	86	88	95	87,05744	68,24289	97,5	10,44256	24,29394	18,16656

6	50	85	86	96	85,51438	60,70791	98,5	12,98562	30,28587	9,113315
7	100	84	86	94	85,05744	66,24289	96,5	11,44256	24,29394	18,16656

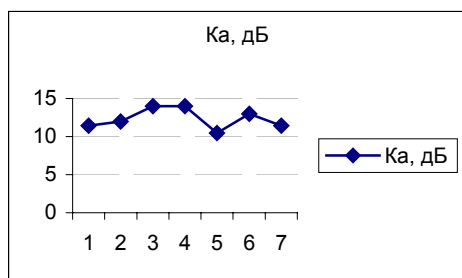


Рис. 11

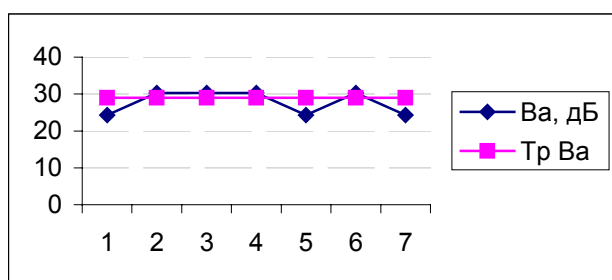


Рис. 12

Требуемое  $V_a = 29,5$  дБ

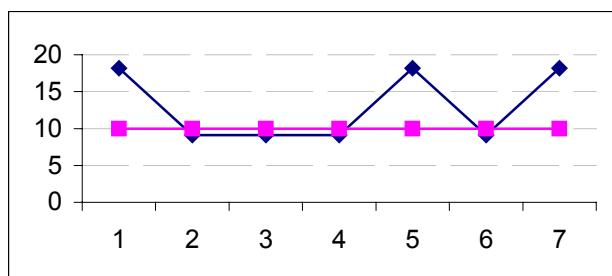


Рис. 13

$\Psi\%$ , требуемое  $\psi = 10\%$

Таблица 5. ЭА-1

№	F, МГц	U1, дБ	U2, дБ	Uген, дБ	Ucp, дБ	Uош, дБ	Ex, дБ	Ka, дБ	Va, дБ	$\psi\%$
1	0,5	112	113	120	112,5143	87,70791	122,5	9,985616	23,31021	27,10125
2	1	110	113	119	111,6288	96,28866	121,5	9,871118	20,87732	35,86195
3	5	110	114	119	112,2282	99,32093	121,5	9,271747	38,78988	4,560430
4	10	110	110,5	116	110,2535	79,43371	118,5	8,246402	38,78988	4,560430
5	30	92,5	116	115,5	110,5413	109,3785	118	7,458659	9,140940	138,6314

6	40	94	116	115	110,6433	109,2605	117,5	6,856687	9,360977	135,1636
7	50	108	110	114	109,0574	90,24289	116,5	7,442562	26,79271	18,16656
8	60	106,5	108	111	107,2823	85,98572	113,5	6,217660	29,27478	13,65115
9	70	105	107	113	106,0574	87,24289	115,5	9,442562	26,79271	13,65115
10	80	93,5	106	113	101,8277	97,62832	115,5	13,67224	12,17760	97,73011
11	100	103	111	110	107,8902	100,5697	112,5	4,609790	15,29860	68,23052

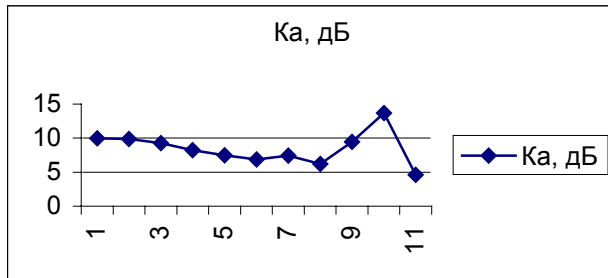


Рис. 14

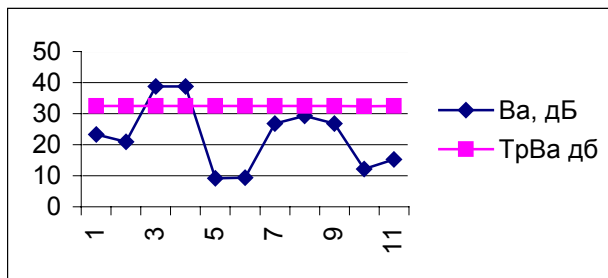


Рис. 15

Требуемое  $V_a = 32,5$  дБ

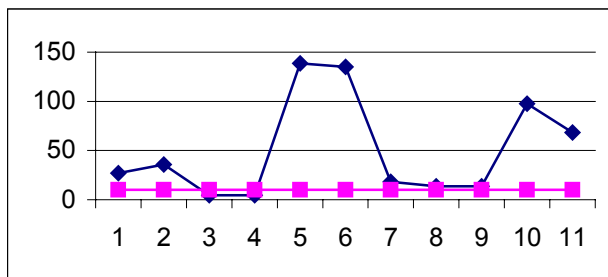


Рис. 16

$\Psi\%$ , требуемое  $\psi = 10\%$

Из анализа результатов  $V_a$  и  $\Psi\%$ , приведенных в таблицах и графиках при сравнении их с требуемыми параметрами можно констатировать, что исследуемые антенны не соответствуют требованиям по степени симметрии согласующих устройств, что приводит к недопустимо большим погрешностям при специследованиях.

Ниже рассмотрим методы и результаты измерения чувствительности пассивных измерительных антенн DP-1 и DP-3, работающих совместно с микрольтметром SMV-8.5.

При известном коэффициенте антенны  $K_a$  (дБ):

$$E_{ша} = \frac{U_{шпр} K_a}{\sqrt{\Delta F_{пр}}} \left( \frac{мкВ}{м\sqrt{кГц}} \right), \text{ где: } U_{шпр} - \text{чувствительность селективного микровольметра по входному}$$

напряжению.

Микровольтметр SMV-8.5 имеет чувствительность при полосе измерения  $\Delta F_{пр} = 120$  кГц,  $U_{шпр} = 1,25$  мкВ.

Результаты расчёта чувствительности указанных пассивных антенн приведены в табл. 6 – 7 и рис. 17 – 18.

Таблица 6. DP-1

№	F, МГц	$K_a$ , дБ	$E_{ша}$ , дБ	$TrE_{ша}$ , дБ
1	30	33,98562	15,11	15
2	40	31,9919	13,11	13
3	60	25,7464	6,86	10
4	70	36,69275	17,81	9
5	80	35,96446	16,97	8
6	100	22,9919	4,11	7
7	150	24,98562	6,09	6

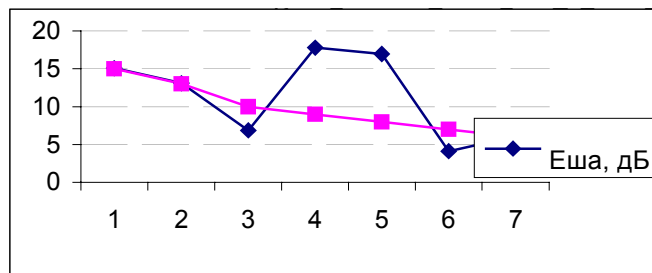


Рис. 17

Таблица 7. DP = 3

№	F, МГц	$K_a$ , дБ	$E_{ша}$ , дБ	$TrE_{ша}$ , дБ
1	30	38,6451	19,76	15
2	40	32,8711	13,98	13
3	50	26,134	7,24	10
4	60	22,4919	3,6	9
5	70	23,9856	5,09	8
6	80	23,9856	5,09	7
7	100	15,4856	-2,49	6

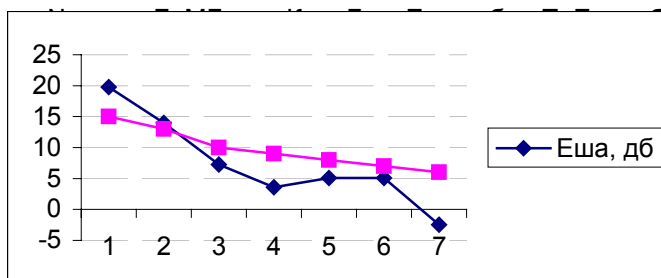


Рис. 18



Для известных активных антенн ЭА-1 и АИ4-2 их предельная чувствительность приведена в паспорте.

На *рис. 19* приведены значения  $E_{ша}$  для выше указанных активных антенн в сравнении с требуемой, причём значения реальной чувствительности этих антенн при работе в открытом эфире занижены на 10 дБ.

В тех случаях, когда в паспорте отсутствуют данные по чувствительности антенны, необходимо произвести измерения шумов антенны измерительным селективным вольтметром, при это антенна должна находится в замкнутом экранированном пространстве.

Чувствительность антенны по полю в этом случае определяется из выражения:

$$E_{ша} = \frac{U_{шпр} K_a}{\sqrt{\Delta F_{пр}}} \left( \frac{мкВ}{м\sqrt{кГц}} \right)$$

Из анализа результатов расчётов  $E_{ша}$ , приведенных в табл. 6 – 7, *рис. 16 – 18*, можно сделать вывод, что пассивные антенны (антенна DP-1 с укороченными диполями, антенна DP-3 в диапазоне частот ниже 300МГц, что находит широкое применение в практике специсследований) имеют чувствительность хуже, чем требуемая для проведения специсследований при  $d = 1$  м. Активные антенны требованиям чувствительности удовлетворяют только при работе в экранированной камере, при работе в открытом эфире для выполнения требований по чувствительности измерительной антенны расстояние измерения при специсследованиях должно быть сокращено до 0,5 м.

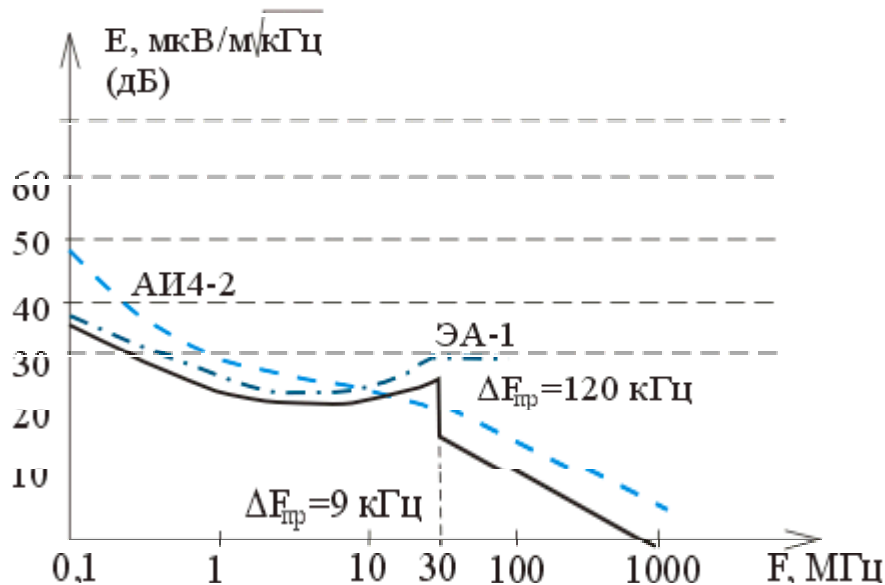


Рис. 19

### ВЫВОДЫ:

На основании анализа результатов, приведенных в статье можно сделать следующие выводы.

1. Активные антенны ЭА-1, АИ4-2 и Р6-51 не соответствуют требованиям по степени симметрии согласующего устройства, и поэтому значение погрешности при оценке поля при специсследованиях превышает допустимое

значение (около 1 дБ). Активные антенны типа АИ4-2 и Р6-51 имеют погрешность за счёт конечной степени симметрии около 2 дБ при измерении на расстоянии  $d = 1$  м. Для сокращения погрешности при использовании указанных антенн необходимо производить два измерения ( $U_1$  и  $U_2$ ) и затем брать среднее значение.

2. Пассивные антенны DP-1 и DP-3 в диапазоне частот 30 – 150 МГц также не соответствуют требованиям по степени симметрии пассивных согласующих устройств. Поэтому при специисследованиях надо также производить два измерения при изменении ориентации антенны на  $180^\circ$  и брать среднее значение.

3. Чувствительность по значению измеряемого поля для пассивных антенн DP-1 и DP-3 с учётом особенности их измерения не соответствует требованиям. Указанные антенны можно использовать при специисследованиях на расстояниях от ТС  $d = 0,5$  м.

4. Чувствительность активных антенн (ЭА-1, АИ2-4 и Р6-51) соответствует требованиям для  $d = 1$  м (в соответствии с паспортными данными). Но эти значения приведены без учёта возможных интермодуляционных помех, связанных с работой в открытом эфире. Следовательно, указанными антеннами следует пользоваться в экранированной камере. Для работы в открытом эфире указанные антенны можно использовать при специисследованиях на расстояниях от ТС  $d = 0,5$  м.

Выходом из создавшегося положения может быть отказ при специисследованиях от использования симметричных измерительных антенн в диапазоне частот до 150 МГц и переход на штыревую активную антенну, габаритами не более 0,5 м. Методические материалы по оценке защищённости технических средств СВТ позволяют также определять их защищённость при измерении поля от него с помощью несимметричной электрической антенны. Необходимость активного согласующего устройства объясняется тем, что пассивное согласующее устройство на широкополосном трансформаторе не позволяет получить необходимую требуемую чувствительность, поэтому согласующее устройство должно представлять собой антенный широкополосный усилитель с высоким входным сопротивлением. Для уменьшения ошибки при измерении параметров антенны, и следовательно, параметров измеряемого поля, необходимо непосредственно под штырём располагать противовес в виде заземлённой металлической пластины размерами 0,5х0,5 м.

#### Литература

1. Данилов Н.С., Калинин С.В., Суворов П.А. Требования к нестандартным малогабаритным измерительным антеннам для контроля побочных электромагнитных излучений технических средств.//Специальная техника, 2003, № 2, с. 61 – 64.