

УДК 621.317.08

**В.Е. Драч, И.В. Чухраев, Н.В. Самбуров****ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЮСТИРОВКИ АНТЕНН  
НА КОМПАКТНЫХ ПОЛИГОНАХ**

*Анализируется точность выполнения работ по юстировке электрической оси антенны сопоставлением методов измерений на компактных полигонах и в «дальней зоне». Описывается и исследуется способ юстировки антенн на компактном полигоне.*

**Ключевые слова:** электрическая ось, антенна, юстировка, характерные уровни, компактный полигон, коллиматор.

**Введение.** Диаграммы направленности (ДН) направленных антенн радиотехнических систем должны, во-первых, иметь заданную форму, во-вторых, быть определенным образом ориентированы в пространстве. Последнее сводится к однозначной ориентации характерного уровня ДН, в качестве которого используют: главный максимум, равносигнальный уровень при пеленговании по равносигнальной зоне, главное нулевое значение у антенн моноимпульсных систем и др.

Для остронаправленных антенн диапазона СВЧ с шириной главного лепестка диаграммы направленности порядка одного градуса и меньше ориентация ДН в требуемую точку пространства представляет собой сложную техническую задачу. По причине вводимых в теории антенн идеализаций, выполнений расчетов приближенными методами и изготовления антенн и их элементов с допусками, свойственными механической обработке и сборке, часто не удается указать достаточно точно направление характерного уровня антенны. Данное направление приходится уточнять экспериментально для каждого образца антенного устройства.

Процесс экспериментального уточнения направления характерного уровня диаграммы направленности (т.н. «юстировка электрической оси» или максимума ДН [1]) сводится к установлению соответствия между направлением электрической оси и показаниями оптической или (и) координатной системы антенны. В отдельных случаях электрическая ось ставится вначале в соответствие с оптической системой (например, трубой или телескопом с оптической осью) (рисунок 1). Затем оптическая система ставится в соответствие с координатной системой антенны относительно носителя, что производится либо механически (настройка шкал, редукторов, механическая ориентация датчиков угла), либо

электрически – введением поправочных коэффициентов в систему съема координат ориентации антенн (в цифровом или аналоговом виде).

Процесс определения направления электрической оси сводится к снятию диаграммы направленности антенны. При этом можно ограничиться измерением небольшой зоны вблизи *характерного уровня*.

Компактные полигоны для измерения параметров антенных устройств получили широкое распространение и неоднократно описаны в соответствующей специализированной литературе [1, 2]. Неоспоримым их достоинством является высокая оперативность проводимых измерений комплекса параметров антенн. Подобные полигоны обычно располагаются в непосредственной близости либо непосредственно на предприятии – изготовителе антенных постов, что дает преимущество при проведении анализов отказов и отклонений параметров.

**Цель данной работы** – разработка нового, обладающего повышенной точностью, способа юстировки электрической оси антенны на компактных антенных полигонах.

**Постановка задачи.** Рассмотрим схему измерений антенных устройств в поле зеркального коллиматора (т.н. «компактный полигон») (рисунок 2), содержащую испытываемую антенну *ИА*, зеркало *K* и облучатель коллиматора, расположенный в фокусе *F*.

В отличие от измерений в т.н. «дальней зоне», где процесс юстировки происходит при достаточно большом расстоянии  $R_{ДЗ}$  от визира до юстировочных меток (марок) (рисунок 2), для компактных полигонов величина  $R_{КП}$  относительно мала:

$$R_{ДЗ} \geq 2D_{ИА}^2 / \lambda, \quad (1)$$

$$R_{КП} \cong f \dots 2f, \quad (2)$$

где  $f$  – фокусное расстояние зеркала коллиматора.

Выражение (1) справедливо для случая измерений в дальней зоне на т.н. «поднятом» полигоне с аппроксимацией главного лепестка квадратичной экспонентой и критерием допустимости изменения амплитуды синфазного поля в раскрыве испытуемой антенны не более 5%.

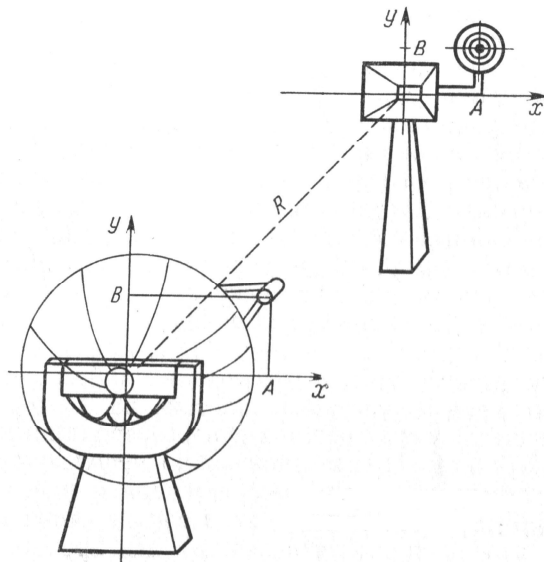


Рисунок 1 – Юстировка. Размещение визира и юстировочных меток [1]

При этом величина  $R$  напрямую влияет на точность юстировки антенн, обусловленную погрешностью нанесения марок, и взаимное расположение вдоль каждой из осей  $x$  и  $y$  следующим простым соотношением (для оси  $x$ ):

$$\Delta\alpha = \arctg \frac{\Delta x}{R}, \quad (3)$$

где  $\Delta\alpha$  – угловая погрешность юстировки вдоль оси  $x$ , рад;  $\Delta x$  – общая линейная погрешность взаимного расположения визира, антенн и юстировочной метки вдоль осей  $x$ , м;  $R$  – расстояние между антеннами, м.

Или, для малых углов,  $\Delta\alpha$  может быть выражено приближенно:  $\Delta\alpha \approx \frac{\Delta x}{R}$ , что характеризует обратную зависимость  $\Delta\alpha$  от базы  $R$ :  $\Delta\alpha \sim \frac{1}{R}$ .

При измерениях ДН в «дальней зоне» величина  $R_{ДЗ}$ , кроме ограничений, накладываемых (1), ограничивается сверху потенциальной возможностью принять полезный сигнал и определить *характерные уровни*. Т.е. соотношением мощности сигнала источника СВЧ, коэффициентом усиления испытуемой и измерительной антенны, коэффициентом шума и динамическим

диапазоном входного измерительного приемного устройства, потерями в трактах и в атмосфере. Практически расстояния могут доходить до 600 м и более и ограничиваются, в большинстве случаев, возможностью оптического распознавания изображения юстировочной метки. Этого вполне достаточно для проведения юстировочных работ на антеннах метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов волн большинства РЛС обнаружения и сопровождения. При предъявлении более жестких требований к электрической юстировке применяют «метод перекидки» и радиоастрономические методы для антенн больших размеров с широкой полосой рабочих частот [2].

Для компактных полигонов, согласно (2), величина  $R_{КП}$  практически ограничена размером и формой вспомогательных антенн (коллиматоров) и размерами безэховых камер полигонов.

Антенные измерения и юстировка антенн на уменьшенных расстояниях требуют тщательного учета погрешностей, возникающих в результате действия ряда факторов, влияние которых возрастает по мере приближения вспомогательной антенны (зеркала коллиматора) к раскрыву испытуемой антенны. Ниже проводится анализ погрешности юстировки электрической оси на современных компактных полигонах (в сравнении с методом дальней зоны). В целях повышения точности юстировки предлагается новый способ юстировки электрической оси на компактных антенных полигонах и сравнение его с методами компактного полигона и дальней зоны.

**Погрешность юстировки электрической оси антенн.** Для упрощения будем рассматривать (рисунок 2) юстировку оси в одной плоскости – горизонтальной (т.е. по азимуту). На зеркале коллиматора на расстоянии  $l_{юк}$  от фокальной оси нанесена юстировочная метка  $Ю_к$ . Центр вращения  $ИА$  – т.  $O$  располагается на вертикальной плоскости, проходящей через фокальную ось коллиматора  $ВПФО$ . Антенна установлена на вращаемом координатно-поворотном устройстве таким образом, что проекция фазового центра на горизонтальную плоскость неподвижна и совпадает с т.  $O$ . На расстоянии  $l_{юв}$  от точки  $O$  располагается оптический визир (далее – визир), механически жестко связанный с  $ИА$ .

Расстояние  $R_{КП}$  между зеркалом  $K$  и  $ИА$  значительно меньше величины, определенной границей зон дифракции Френеля и Фраунгофера [1], что позволяет производить измерения в «безэховых» камерах и помещениях ограниченного размера.

Процесс юстировки электрической оси проходит в 3 этапа:

- 1) определение ДН *ИА*. Нахождение характерного уровня;
- 2) разворот *ИА* на угол, соответствующий характерному уровню;
- 3) фиксация визира в направлении метки  $Ю_k$ .

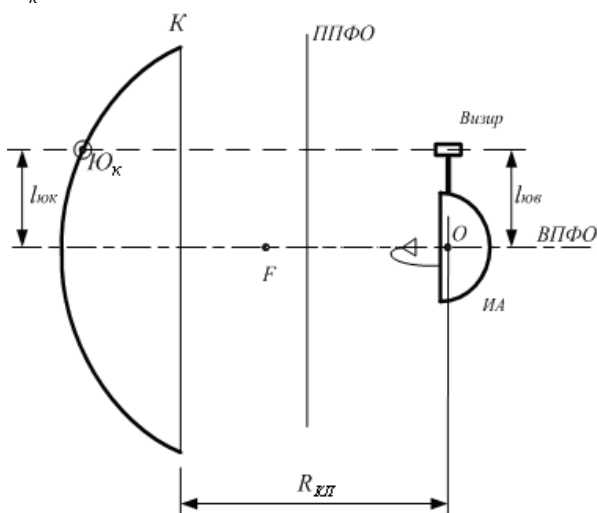


Рисунок 2 – Компактный полигон. Схема размещения визира и юстировочных меток

Рассмотрим погрешность юстировки для следующего характерного уровня – положения максимума ДН по уровню -3 дБ. На основе суперпозиции ряда случайных ошибок, вероятность появления каждой из которых подчиняется нормальному закону распределения, среднеквадратическое значение погрешности юстировки электрической оси антенны  $\delta_{ю}^o$  в поле коллиматора составляет:

$$\delta_{ю}^o = \sqrt{\delta_{xm}^{o2} + \delta_{юм}^{o2} + \delta_o^{o2} + \delta_{oc}^{o2} + \delta_{он}^{o2} + \delta_{КПВ}^{o2} + \delta_{виз}^{o2} + \delta_{ФП}^{o2}}, \quad (4)$$

где  $\delta_{xm}^o$  – среднеквадратическое значение погрешности определения углового положения характерных точек на ДН (максимума ДН) (или погрешность первого этапа);  $\delta_{юм}^o$  – среднеквадратическое значение погрешности нанесения юстировочной метки  $Ю_k$  (проекция на плоскость, перпендикулярную к фокальной оси зеркала коллиматора ППФО);  $\delta_o^o$  – среднеквадратическое значение погрешности, обусловленной несоответствием центра оси вращения антенны *O* и плоскости ВПФО;  $\delta_{oc}^o$  – среднеквадратическое значение погрешности, обусловленной отличием величины  $l_{юк}$  от проекции  $l_{юв}$  на ППФО в результате поворота *ИА*, причем  $l_{юк} = l_{юв}$ ;  $\delta_{он}^o$  – среднеквадратическое значение погрешности соответствия механической и оптической систем

визира;  $\delta_{КПВ}^o$  – среднеквадратическое значение погрешности отсчета углов поворота антенны;  $\delta_{виз}^o$  – среднеквадратическое значение погрешности обусловленной инструментальной точностью отсчета визира (в т.ч. с учетом углового размера юстировочной метки);  $\delta_{ФП}^o$  – среднеквадратическое значение погрешности, обусловленной отличием фазового фронта волны, падающей на *ИА*, от плоскости, параллельной ППФО.

Погрешность определения углового положения максимума ДН  $\delta_{xm}^o$  связана со значением погрешности измерения (восстановления) ДН антенны в поле коллиматора (СКО)  $\delta_{он}^o$  следующей зависимостью [3]:

$$\delta_{xm}^o = \frac{\delta_{он}^o}{k\sqrt{2}}. \quad (5)$$

Коэффициент  $k$  зависит от конструкции координатно-поворотного устройства, кривизны ДН в районе характерных и вспомогательных точек отсчета и определяется по формуле:

$$k = \frac{|F_1 - F_2|}{2\Delta_0},$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – нормированные значения ДН в двух последовательных точках, в которых проводится измерение ДН. В нашем случае значения  $F_1$  и  $F_2$  выбираются в непосредственной близости от уровня -3дБ;  $\Delta_0$  – дискрет отсчета

угла поворота антенны, обычно  $\Delta_0 \leq \frac{\Theta_{0,5}}{5...7}$ , где

$\Theta_{0,5}$  – ширина ДН *ИА*.

Для случаев нахождения значений характерных уровней антенн иного рода – равносигнального уровня (при пеленговании по равносигнальной зоне), главного нулевого значения (для моноимпульсных систем) – выражение (4) будет соответственно иным. Так, для локального максимума, минимума либо нулевых значений ДН с прямым методом измерения (на однократно измеренной ДН):

$$\delta_{xm}^o = \frac{\delta_{он}^o}{k}.$$

Величина среднеквадратического значения погрешности восстановления ДН  $\delta_{он}^o$  коллиматорным методом определяется следующим выражением:

$$\delta_{он}^o = \sqrt{\delta_A^{o2} + (k\delta_{КПВ}^o)^2 + \delta_{АФР}^{o2}}, \quad (6)$$

где  $\delta_A^o$  – среднеквадратическое значение погрешности измерения амплитуды сигнала с вы-

хода  $IIA$ ;  $\delta_{АФР}^o$  – среднее квадратическое значение погрешности, обусловленной отличием амплитудно-фазового распределения (АФР) в рабочей зоне коллиматора от плоской волны [4].

**Анализ погрешности.** На основе вышеописанной методики проведем целочисленный анализ погрешности юстировки антенн по максимуму ДН на практических компактных полигонах. Для сравнения проведем анализ для метода т.н. *дальней зоны*.

За первичный практический объект анализа примем компактный полигон, описанный в [5-7]. Результаты оценки вклада составляющих погрешности и общая погрешность юстировки представлены на рисунке 3 в виде серии нормированных гистограмм. Процедура определения составляющих погрешности громоздка, ее рассмотрение выходит за рамки данной статьи. Соответствие номеров гистограмм переменным из выражений (4)–(6) приводится в таблице 1.

**Таблица 1 – Соответствие номеров гистограмм переменным из выражений (4)–(6)**

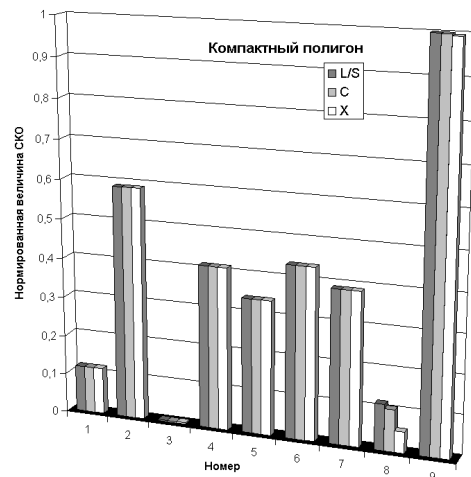
№ гистограммы	Обозначение переменной
1	$\delta_{юм}^o$
2	$\delta_o^o$
3	$\delta_{ос}^o$
4	$\delta_{оп}^o$
5	$\delta_{КПУ}^o$
6	$\delta_{виз}^o$
7	$\delta_{ФП}^o$
8	$\delta_{хт}^o$
9	$\delta_{ю}^o$

Анализ гистограмм (рисунок 3) показал, что:

1) наибольшая точность юстировки максимума ДН обеспечивается при использовании высокочастотного диапазона устройства. Эффект заключается в повышении точности восстановления направления на характерную точку ( $\delta_{хт}^o$  – см. гистограмму 8, рисунок 3). В свою очередь на величину  $\delta_{хт}^o$  наибольшее влияние оказала частотная зависимость коэффициента  $k$ , напрямую связанная с соответствующей зависимостью формы главного лепестка ДН на уровне -3 дБ. Однако данный эффект слаб;

2) наибольший вклад в величину  $\delta_{ю}^o$  (см. гистограмму 9, рисунок 3), характеризующую точность юстировки антенны, оказывают величины, характеризующие несоответствие центра

оси вращения антенны  $O$  и плоскости ВПФО ( $\delta_o^o$ ), величины, характеризующие точность визирования ( $\delta_{оп}^o, \delta_{виз}^o$ ), погрешность ориентации антенны в направлении расчетной характерной точки ( $\delta_{КПУ}^o$ ) и погрешность ориентации среднего фазового фронта поля коллиматора ( $\delta_{ФП}^o$ ).



**Рисунок 3 – Составляющие погрешности (гистограммы 1-8) и общая погрешность (гистограмма 9) юстировки максимума антенного устройства на компактном полигоне для различных частотных диапазонов: L/S, C и X**

Технологии восстановления ДН методом в дальней зоне и коллиматорным методом схожи, отличается лишь способ формирования плоской электромагнитной волны (ЭМВ). Поэтому вышеприведенные выражения можно без труда спроецировать на метод дальней зоны с некоторыми дополнениями. А именно:

1) зеркало коллиматора  $K$  отсутствует – на условной фокальной оси установлен условно точечный источник сигнала, на расстоянии  $l_{юк}$  от которого установлена юстировочная метка;

2) величина  $R_{КП}$  определяется зоной Фраунгофера для высшего диапазона рабочих частот полигона;

3) величина  $\delta_{АФР}$  определяется в первую очередь стабильностью уровня поля, а не неравномерностью АФР в районе расположения  $IIA$ , как в случае коллиматорных измерений на компактных полигонах.

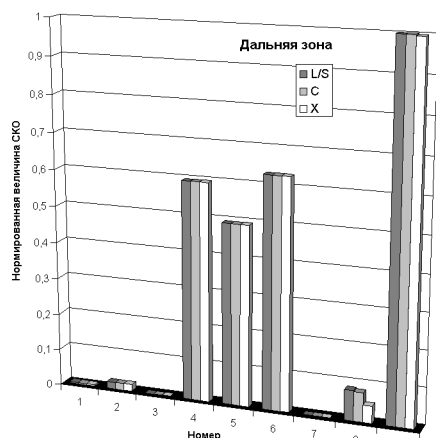
Иные значения погрешностей для полигонов равных классов определяются развитием техники и могут совпадать (с учетом вышеприведенных дополнений). За вторичный объект исследования примем условный полигон, на котором реализованы вышеприведенные дополнения.

На рисунке 4 показаны соотношения погрешностей для юстировки антенны в дальней зоне. Рассмотрим его:

1) основной вклад в погрешность в данном случае вносят величины, характеризующие точность визирования ( $\delta_{оп}^o, \delta_{виз}^o$  – гистограммы 4 и 6, рисунок 4), и ориентации антенны в направлении расчетной характерной точки ( $\delta_{КПУ}^o$  – гистограмма 5, рисунок 4);

2) другие величины погрешностей, преобладавшие при измерении на компактном полигоне, сведены к минимуму за счет следующих эффектов: возросшей величины  $R_{КП}$ , а значит и снижения требований к геометрической точности взаимного положения и ориентации антенны и юстировочной метки, и возросшей стабильности ориентации среднего фазового фронта облучающего поля;

3) как и в рассмотренном случае для коллиматорного метода, зависимость точности юстировки от диапазона частот имеется, однако она настолько слаба, что ею можно пренебречь.

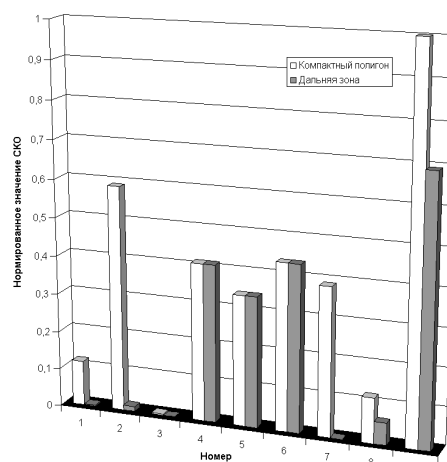


**Рисунок 4 – Составляющие погрешности (гистограммы 1-8) и общая погрешность (гистограмма 9) юстировки максимума антенного устройства в дальней зоне для различных частотных диапазонов: L/S, C и X**

На рисунке 5 для сравнительной оценки помещены величины СКО для случая компактного полигона и дальней зоны, нормированные к максимальному значению. Показано 31%-е увеличение точности юстировки в дальней зоне. В дополнение к проанализированному выше стоит обратить внимание на соотношения величины  $\delta_{xt}^o$  (см. гистограмму 8, рисунок 5). Если для случая компактного полигона эта величина характеризовала качество формирования равномерного АФР в рабочей зоне коллиматора, т.е. качество засветки коллиматора и точность его изготовления, то для дальней зоны – влияние подстилающей поверхности и погодных условий.

Метод дальней зоны, обладая потенциально более высокой точностью по сравнению с ближней зоной, имеет ряд прикладных и технических

недостатков [1]. Одним из недостатков, проявляющихся при проведении юстировки на компактном полигоне, является относительная малая величина расстояния от визира до юстировочной метки.



**Рисунок 5 – Соотношения погрешностей юстировки максимума ДН антенного устройства на компактном полигоне и в дальней зоне**

Предлагаемый способ в качестве теоретического базиса имеет методику [8], позволяющую повысить точность юстировки на компактных полигонах относительно общепринятых процедур, описанных в авторитетных источниках.

**Описание способа.** В [3, 9] перечислены известные технические способы повышения точности юстировки для компактных полигонов и в дальней зоне, даны рекомендации по их реализации. Большинство изложенных способов направлены на формирование равномерного АФР поля в раскрытие коллиматора и повышение точности измерения ДН [4], т.е. на снижение величины  $\delta_{оп}^o$ .

Однако в связи с малой, ограниченной конструкционными габаритами беззювых камер и помещений, базой  $R_{КП}$  величины  $\delta_{юм}^o, \delta_o^o, \delta_{oc}^o$  оказывают определяющее влияние на  $\delta_{ю}^o$ . Особенно это характерно для антенных устройств больших габаритов.

Кроме очевидных методов повышения точности юстировочных работ, основанных на повышении механической, геометрической и оптической точностей, предлагается использовать лазерный построитель плоскостей (ЛПП) для формирования юстировочной метки  $Ю_k^*$  на зеркале коллиматора.

Рассмотрим данный способ.

Процесс юстировки электрической оси проходит в 5 этапов:

– определение ДН ИА. Нахождение характерного уровня;

– разворот *ИА* на угол, соответствующий характерному уровню;

– *ЛПП* помещают между зеркалом *К* и *ИА* на расстоянии около  $0,5 R_{КП}$  от *ИА*. *ЛПП* ориентируют т.о., чтобы построить плоскость, перпендикулярную к *ППФО*, проходящую через центр визира (вместо визира необходимо временно установить метку по аналогии с юстировочной меткой  $Ю_K$  на коллиматоре);

– засветку на зеркале коллиматора *К* от *ЛПП* принять за уточненное значение  $Ю_K^*$ ;

– фиксация визира в направлении метки  $Ю_K^*$ .

*ППФО* может быть построена на основе известного расположения точки фокуса *F* и зеркала *К* в пространстве или на основе анализа реального АФР поля в рабочей зоне полигона.

По аналогии с выражением (4), максимальная угловая погрешность юстировки электрической оси антенны  $\delta_{ю}^*$  в этом случае равна:

$$\delta_{ю}^* = \sqrt{\delta_{хт}^{o2} + \delta_{оп}^{o2} + \delta_{КПУ}^{o2} + \delta_{ФП}^{o2} + \delta_{ЛПП}^{o2} + \delta_{Мв}^{o2} + \delta_{виз}^{*2}}, \quad (7)$$

где  $\delta_{ЛПП}^o$  – угловая погрешность лазерного построителя плоскостей при построении вертикальной плоскости, перпендикулярной к *ППФО*, град;  $\delta_{Мв}^o$  – общая погрешность установки метки на место визира, град;  $\delta_{виз}^*$  – погрешность, обусловленная инструментально точностью отсчета визира и угловым размером засветки  $Ю_K^*$ , град.

Данный способ позволяет нивелировать погрешности, связанные с эксцентриситетом установки антенного устройства на координатно-поворотное устройство, несоответствием центра вращения координатно-поворотного устройства и *ВПФО*, отклонением величины  $l_{юк}$  от проекции  $l_{юв}$  на *ППФО*, механической точностью исполнения величины  $l_{юв}$ , и универсален для антенн с любым расстоянием  $l_{юв}$ .

Структура и вклад составляющих погрешности для данного способа показаны на рисунке 6. Соответствие номеров гистограмм переменным из выражения (7) для данного рисунка приводится в таблице 2. Как видно из рисунка, решающее влияние в формировании величины ошибок оказывают оптическая и механическая погрешности визирования и погрешность выезда в направлении характерной точки.

На рисунке 7 для сравнительной оценки со- вмещены общие величины погрешностей для случая компактного полигона, дальней зоны и предлагаемого способа.

Таблица 2 – Соответствие номеров гистограмм переменным из выражения (7)

№ гистограммы	Обозначение переменной
1	$\delta_{хт}^o$
2	$\delta_{оп}^o$
3	$\delta_{КПУ}^o$
4	$\delta_{ФП}^o$
5	$\delta_{ЛПП}^o$
6	$\delta_{Мв}^o$
7	$\delta_{виз}^*$
8	$\delta_{ю}^*$

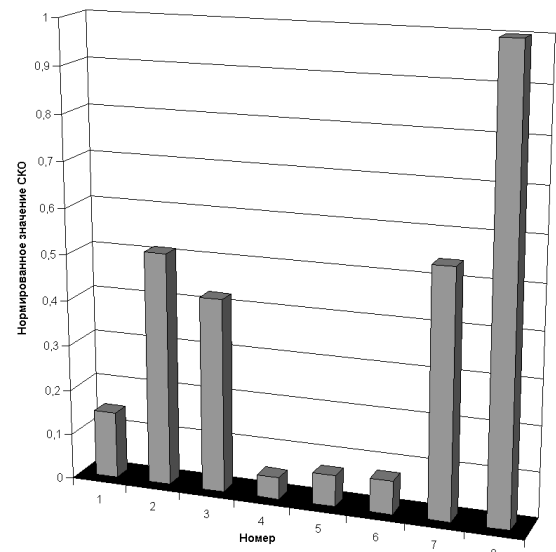


Рисунок 6 – Составляющие погрешности (гистограммы 1-7) и общая погрешность (гистограмма 8) юстировки максимума антенного устройства на компактном полигоне для предлагаемого способа

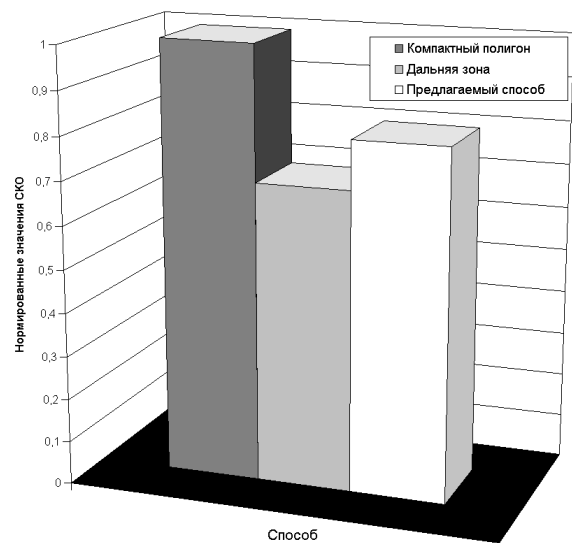


Рисунок 7 – Соотношения погрешностей юстировки максимума ДН антенного устройства

Из рисунка видно, что точность юстировки предлагаемым способом выше точности метода компактного полигона, однако ниже метода дальней зоны.

**Заключение.** Описанный способ снижает систематические ошибки юстировки, связанные с отклонениями механических и геометрических параметров, как элементов антенных устройств, так и элементов компактного антенного полигона. Относительное снижение величины СКО юстировки положения максимума ДН на компактном полигоне при его использовании составило 14%.

Предложенный способ может быть рекомендован к внедрению на предприятиях, специализирующихся на проектировании и изготовлении антенных постов.

#### **Библиографический список**

1. Фрадин А.З., Рыжков Е.В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. М.: Связь, 1972. 352 с.
2. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / под ред. Н.М. Цейтлина. М.: Радио и связь, 1985. 368 с.
3. Самбуров Н.В. Юстировка электрической оси антенн на компактных антенных полигонах // Радиопромышленность. 2011. Вып. 1. С. 18-26.
4. Мазин А.В., Николаев П.В. Определение погрешностей при коллиматорном методе измерения антенных устройств на компактных антенных полигонах // Радиопромышленность. 2011. Вып. 1. С. 31-40.
5. Бут Р.О., Драч В.Е., Чухраев И.В. Управляющий комплекс координатно-поворотного устройства для реализации коллиматорного метода антенных измерений // Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки». Белгород: ИП Петрова М.Г., 2015. Часть II. С. 58-60.
6. Драч В.Е., Чухраев И.В., Бут Р.О. Расширение функциональных возможностей коллиматорного метода антенных измерений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2015. Т. 15. № 2. С. 125-130.
7. Самбуров Н.В., Рыбаков Д.Ю., Иванов Н.Г. Компактный антенный полигон в условиях геометрически ограниченных помещений // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. Т. 19. № 10. С. 25-32.
8. Самбуров Н.В. Повышение точности юстировки электрической оси антенн на компактных антенных полигонах // Материалы 21-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011). Севастополь: Вебер, 2011. Т. 2. С. 918-919.
9. Самбуров Н.В., Ганичев А.А. Комплексный подход к повышению качества вторичного поля компактного полигона // Сборник научных работ лауреатов областных премий и стипендий. Калуга: Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, 2014. Вып. 10. С. 85-99.