2.4. Одномерные задачи магнитолокации.

Начнем с простейшей ситуации: искомый объект находится на прямой АА, на которой расположен и локатор. Можно выделить несколько последовательно возрастающих по сложности задач магнитолокации:

I. Регистрация наличия постороннего объекта с ненулевым магнитным моментом.

2. Локация диполя (с двумя подзадачами: определение расстояния до объекта и определение угла ориентации диполя).

3. Идентификация объекта (определение величины магнитного момента диполя).

4. Идентификация недипольности объекта (т.е. наличие "размагниченного" объекта с нулевым дипольным и ненулевым квадрупольным моментом или наличие в обозреваемом пространстве нескольких диполей

5. Раздельная локация двух диполей.

6. Идентификация каждого из двух лоцируемых диполей. И т.д.

Рассмотрим, как решаются эти задачи локаторами разных типов

А. Определяется только Z-компонента поля и ее производные по Х. Для решения задачи можно использовать уравнения (9), (I4), (20), (25) и (29).

Модуль сигнала от удаленного ($r \gg I$) объекта очень быстро убывает по мере роста порядка производной. Поэтому при приближении объекта первым на него должен откликнуться магнитометрический канал, затем - канал определения первой производной, и т.д. Однако непредсказуемые вариации магнитного поля Земли (МПЗ) не позволяют использовать непосредственно информацию с магнитометрического канала, поэтому критерий работоспособности ЛМЛС, очевидно, придется связать с оценкой величины H' . Если задаться условием 50%-ной достоверности определения факта наличия объекта, это будет соответствовать соотношению:

$$|H'| > 0{,}954\,\sigma_{\overline{H'}} \tag{32}$$

применительно к z-компоненте. При $\alpha = \alpha_I$, когда модуль $|H'|$ стремится к нулю, критерий (32) относится уже не к первой, а ко второй производной, т.е.:

$$|\overline{H''}| > 0{,}954\,\sigma_{\overline{H''}} \tag{32a}$$

Вторая задача магнитолокации (определение местоположения объекта) решается следующим образом: при $\alpha \neq \alpha_I$ и $\alpha \neq \alpha_3$

$$r = \frac{H'}{H''} \cdot \frac{\sin^2\alpha - 4\cos^2\alpha}{\cos\alpha} \tag{33a}$$

При $\alpha = \alpha_3$ $H'' = 0$ и r определяется из соотношени:

$$r = \sqrt{-8\frac{H'}{H'''}} \tag{33б}$$

При $\alpha = \alpha_I$ все нечетные производные равны нулю, и для вычисления r можно использовать формулу:

$$r = \sqrt{-15\frac{H''}{H^{IV}}} \tag{33в}$$

Критерии 50%-ной точности определения r можно записать в виде*:

$$|H''| > 2\,\sigma_{\overline{H''}} \quad \text{при} \quad \alpha \neq \alpha_I \quad \text{и} \quad \alpha \neq \alpha_3 \tag{34a}$$

$$|\overline{H'''}| > \sigma_{\overline{H'''}} \quad \text{при} \quad \alpha = \alpha_3 \tag{34б}$$

$$|\overline{H^{IV}}| > \sigma_{\overline{H^{IV}}} \quad \text{при} \quad \alpha = \alpha_I \tag{34в}$$

Третья задача магнитолокации – вычисление M_z – решается при том же объеме сведений, что и вторая:

$$M_z = \frac{4\pi r^4 H'}{3\cos\alpha} \quad \text{при} \quad \alpha \neq \alpha_I \tag{35a}$$

$$M_z = \frac{4}{3}\pi r^5 H'' \quad \text{при} \quad \alpha = \alpha_I \tag{35б}$$

---

*Здесь и в дальнейшем молчаливо предполагается, что определяющий вклад в ошибку дает наивысшая из используемых производных.

50%-ная точность в этом случае определяется точностью определения r и критерий для третьей задачи локации несколько более жес' кий:

$$|\overline{H''}| > 8\sigma_{\overline{H''}} \quad \text{при} \quad \alpha \neq \alpha_I \ \text{ и } \ \alpha \neq \alpha_3 \tag{36а}$$

$$|\overline{H'''}| > 4\sigma_{\overline{H'''}} \quad \text{при} \quad \alpha = \alpha_3 \tag{36б}$$

$$|\overline{H^{IV}}| > 5\sigma_{\overline{H^{IV}}} \quad \text{при} \quad \alpha = \alpha_I \tag{36в}$$

Задачи более высокого ранга здесь не рассматриваются из-: недостатка места (хотя в одномерном случае они решаются аналитичес: но с привлечением производных более высокого порядка).

В. Локатор измеряет только компоненту поля, направленную вдоль оси ЛМЛС, и ее производные по этой же коррдинате. Здесь в задаче уже три неизвестных параметра: величина момента М (M_{xy}), угол его ориентации φ и дальность r до объекта. Рабочий комплект фо: мул включает (I2), (I6), (22), (27) и (30), из них первое уравнение, как уже говорилось выше, использовать затруднительно из-за вариаций МПЗ.

Задача обнаружения объекта (первая задача магнитолокации) как и в предыдущем случае, определяется альтернативным выполнением либо условия (32), либо (32а) применительно к Х-компоненте. Второе из соотношений работает при $\varphi \neq \varphi_3(\alpha)$ (кривая 3 на рис. 2). Очевидно, при $\varphi = \varphi_3(\alpha)$ поворот оси локатора на 90° "настроит" его на максимальную чувствительность по H', поэтому если известна преимущественная ориентация дипольных моментов объектов (например, в случае стимулированной намагниченности в МПЗ), то можно заранее сориентировать локатор наилучшим образом.

Вторая задача решается в два этапа: вначале определяется φ, а затем r. Если ни одна из первых трех производных не равна нулю, то $tg\,\varphi$ определяется из соотношения:

$$\frac{H'H'''}{(H'')^2} = \frac{(2tg\alpha\, tg\varphi - tg^2\alpha + 3)\left[3tg\alpha\, tg\varphi(5-3tg^2\alpha) + (3tg^4\alpha - 30tg^2\alpha - 5)\right]}{\left[tg\alpha\, tg\varphi(5-tg^2\alpha) + 6(1-tg^2\alpha)\right]^2} \tag{37}$$

после чего расстояние до объекта вычисляется по формуле:

$$r=\left(\frac{2H'}{H''}\right)\frac{6\cos\alpha\cos\varphi(\sin^2\alpha-\cos^2\alpha)-\sin\alpha\sin\varphi(5\cos^2\alpha-\sin^2\alpha)}{\cos\varphi(3\cos^2\alpha-\sin^2\alpha)+2\sin\alpha\cos\alpha\sin\varphi} \tag{38}$$

Если равна нулю какая-либо из первых трех производных, угол φ определяется по соответствующей кривой рис. 2 (или по соответствующему тригонометрическому уравнению), а расстояние r – по соотношению, составленному из ненулевых производных, т.е. либо по (38) (при $\varphi=\varphi_{11}$ или $H'''=0$), либо по:

$$r=\left(\frac{2H''}{H'''}\right)\left[\cos\varphi(3\sin^4\alpha-5\cos^4\alpha-30\sin^2\alpha\cos^2\alpha)+3\sin\alpha\cos\alpha\sin\varphi(5\cos^2\alpha-3\sin^2\alpha)\right]\Big/\left[6\cos\alpha\cos\varphi(\sin^2\alpha-\cos^2\alpha)-\sin\alpha\sin\varphi(5\cos^2\alpha-\sin^2\alpha)\right] \tag{38а}$$

(при $\varphi=\varphi_3(\alpha)$, т.е. $H'=0$),

либо по:

$$r=2\sqrt{\frac{H'}{H'''}}\cdot\sqrt{\frac{3\,\mathrm{tg}\,\alpha\,\mathrm{tg}\,\varphi(5-3\,\mathrm{tg}^2\alpha)+(3\,\mathrm{tg}^4\alpha-30\,\mathrm{tg}^2\alpha-5)}{(2\,\mathrm{tg}\,\alpha\,\mathrm{tg}\,\varphi-\mathrm{tg}^2\alpha+3)(\mathrm{tg}^2\alpha+1)}}=2\sqrt{-\frac{H'}{H'''}\,\frac{3\,\mathrm{tg}^6\alpha-45\,\mathrm{tg}^4\alpha+127\,\mathrm{tg}^2\alpha+43}{(\mathrm{tg}^2\alpha+3)(\mathrm{tg}^2\alpha+1)^2}} \tag{38б}$$

(при $\varphi=\varphi_7(\alpha)$, т.е. $H''=0$).

Третья задача решается в пределах тех же требований, т.к. момент M можно определить из соотношений (16) или (22), привлекая уже вычисленные r и φ.

Для локатора типа B (B-ЛМЛС) нельзя составить столь же однозначные критерии работоспособности, какие записаны для А-ЛМЛС, поскольку точность определения угла φ зависит и от φ, и от α, причем весьма непростым образом (соотношение для ошибки определения φ можно получить дифференцированием (37) по φ).

Для локатора типа C (измеряющего H_y и все его производные по X), процедура расчета практически та же, что и для B-ЛМЛС, расчетные формулы приводятся в Приложении B.

Переходим теперь к более сложным, но и более информативным двумерным однокомпонентным ЛМЛС.

$\mathcal{D}$. Локатор измеряет вертикальную компоненту поля H_z и все необходимые $\partial^n H_z/\partial x^n$ и $\dfrac{\partial^n H_z}{\partial x^{n-1}\partial y}$. Основные расчетные соотношения включают формулы (I4), (I5), (20) и (2I). В задаче всего два неизвестных, поэтому уравнения (26) и (29), содержащие высшие производные, вполне можно опустить.

Напомним, что в $\mathcal{D}$-ЛМЛС производная по У обязательно измеряется, а производные по Х могут и вычисляться; поэтому следует учитывать, что точность определения $\dfrac{\partial}{\partial y}$ приблизительно в $\dfrac{L}{\ell}$ раз хуже, чем точность определения $\dfrac{\partial}{\partial x}$. Поэтому, в частности, для решения первой задачи критерий (32) для $H_z^{\prime}$* гораздо предпочтительнее, чем тот же критррий для $\partial H_z/\partial y$. Однако при $\alpha = \alpha_I$ соотношением (32) пользоваться уже нельзя для $H_z^{\prime}$, и в этом случае в зависимости от величины момента объекта будет определяющей либо формула (32) для $\partial H_z/\partial y$, либо уравнение (32а) для $\partial^2 H_z/\partial x^2$.

Решение второй задачи локации при углах α, далеких от α_I и α_3, проходит без привлечения производных по У, по формуле (33а). При $\alpha = \alpha_3$ $\dfrac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = 0$ и надо пользоваться либо $\dfrac{\partial^2 H_z}{\partial x \partial y}$, либо $\dfrac{\partial^3 H_z}{\partial x^3}$ (в зависимости от того, какая из этих величин определяется точнее в данной конкретной структуре $\mathcal{D}$-ЛМЛС):

$$r = \sqrt{5\left(\frac{\partial H_z}{\partial x} \Big/ \frac{\partial^3 H_z}{\partial x^3}\right)\left(4\cos^2\alpha - 3\sin^2\alpha\right)} \tag{39}$$

или

$$r = -\frac{5}{\sin\alpha}\left(\frac{\partial H_z}{\partial x} \Big/ \frac{\partial^2 H_z}{\partial x \partial y}\right) \tag{39а}$$

Наконец, при $\alpha = \alpha_I$ работает соотношение:

$$r = -\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} \Big/ \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2}\right) \tag{39б}$$

Соответственно, критерий работоспособности $\mathcal{D}$-ЛМЛС по второй задаче

---

*Здесь и в дальнейшем для компактности записи будем обозначать штрихами производные по Х; дифференцирование по У выписывается без сокращений.

с 50%-ной ошибкой можно записать в виде:

$$|\overline{H_z''}| = \left|\frac{\overline{\partial^2 H_z}}{\partial x^2}\right| > 2\sigma_{\overline{H_z''}} \quad \text{при} \quad \alpha \neq \alpha_I \quad \text{и} \quad \alpha \neq \alpha_3 \qquad (34а)$$

$$|\overline{H_z'''}| > \sigma_{\overline{H_z'''}} \quad \text{или} \quad \left|\frac{\overline{\partial^2 H_z}}{\partial x \partial y}\right| > 2\sigma_{\frac{\overline{\partial^2 H_z}}{\partial x \partial y}} \quad \text{при} \quad \alpha = \alpha_3 \qquad (34б,г)$$

$$|H_z''| > 2\sigma_{H_z''} \quad \text{или} \quad \left|\frac{\overline{\partial H_z}}{\partial y}\right| > 2\sigma_{\frac{\overline{\partial H_z}}{\partial y}} \quad \text{при} \quad \alpha = \alpha_I \qquad (34а,д)$$

Третья задача локации диполя решается, как и для А-ЛМЛС, по формулам (35).

Е. Локатор измеряет H_x и все необходимые $H_x^{(n)}$ и $\frac{\partial^n H_x}{\partial x^{n-1}\partial y}$. В данном случае задача имеет три неизвестных (M_{xy}, φ, r), а число уравнений в исходном комплекте (I6) – (2I), включающих H_x, значительно больше. Первые ври задачи линейной локации вполне разрешимы, если даже ограничиться системой их четырех уравнений (I6), (17), (22) и (23), содержащих только первые и вторые производные.

Что касается первой задачи, то все критерии выглядят совершенно аналогично критериям для Д-ЛМЛС, т.е. любое из трех первых уравнений должно иметь левую часть, по модулю большую, чем $0{,}954\sigma$, где σ – среднеквадратичная ошибка измерения соответствующей производной.

Для определения угла φ в общем случае можно пользоваться соотношением:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{3 - \operatorname{tg}^2\alpha - 8b\cdot\operatorname{tg}\alpha}{b(3\operatorname{tg}^2\alpha - 1) - 2\operatorname{tg}\alpha} \quad \text{при} \quad \frac{\partial H_x}{\partial y} \neq 0 \qquad (40)$$

где $b = \frac{\partial H_x}{\partial x} / \frac{\partial H_x}{\partial y}$. При $\frac{\partial H_x}{\partial y} = 0$ угол φ определяется еще проще: $\varphi = \varphi_4(\alpha)$. Расстояние r до объекта вычисляется из (38) при $H_x' \neq 0$ и $H_x'' \neq 0$; если $H_x' = 0$, можно эту производную заменить на $\frac{\partial H_x}{\partial y}$, это дает соотношение:

$$r = \left(4\frac{\partial H_x}{\partial y} \Big/ \frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2}\right) \frac{6\cos\alpha\cos\varphi(\sin^2\alpha - \cos^2\alpha) - \sin\alpha\sin\varphi(5\cos^2\alpha - \sin^2\alpha)}{(3\sin^2\alpha - \cos^2\alpha)\sin\varphi + 8\sin\alpha\cos\alpha\cos\varphi} \qquad (4Iа)$$

Наконец, если $H_x''=0$, r рассчитывается по формуле:

$$r=\left(-2H_x'\Big/\frac{\partial^2 H_x}{\partial x\partial y}\right)\frac{\cos\alpha\sin\varphi(5\sin^2\alpha-\cos^2\alpha)+2\sin\alpha\cos\varphi(5\cos^2\alpha-\sin^2\alpha)}{\cos\varphi(3\cos^2\alpha-\sin^2\alpha)+2\sin\alpha\cos\alpha\sin\varphi} \qquad (41б)$$

Третья задача линейной локации решается с использованием соотношений:

$$M_{xy}=\frac{2\pi r^4 H_x'}{\cos\varphi(3\cos^2\alpha-\sin^2\alpha)+\sin\varphi\cdot\sin 2\alpha} \quad \text{при} \quad H_x'\neq 0 \qquad (42а)$$

$$M_{xy}=\frac{4\pi r^4(\partial H_x/\partial y)}{\sin\varphi(3\sin^2\alpha-\cos^2\alpha)+4\cos\varphi\cdot\sin 2\alpha} \quad \text{при} \quad H_x'=0 \qquad (42б)$$

Критерий работоспособности по второй задаче (без учета точности определения φ):

$$|\overline{H}_x''|>2\sigma_{\overline{H}_x''} \quad \text{при} \quad H_x'\neq 0 \quad \text{и} \quad H_x''\neq 0 \qquad (34а)$$

$$\left|\frac{\partial^2 H_x}{\partial x\partial y}\right|>2\sigma_{\frac{\partial^2 H_x}{\partial x\partial y}} \quad \text{при} \quad H_x''=0 \qquad (34г)$$

$$\left|\frac{\partial H_x}{\partial y}\right|>2\sigma_{\frac{\partial H_x}{\partial y}} \quad \text{при} \quad H_x'=0 \qquad (34д)$$

Критерии работоспособности по третьей задаче:

$$|\overline{H}_x''|>8\sigma_{\overline{H}_x''} \quad \text{при} \quad H_x''\neq 0 \qquad (36а)$$

$$\left|\overline{\frac{\partial^2 H_x}{\partial x\partial y}}\right|>8\sigma_{\frac{\partial^2 H_x}{\partial x\partial y}} \quad \text{при} \quad H_x''=0 \qquad (35г)$$

G. Локатор измеряет H_x, H_z и все необходимые $H_x^{(n)}$ и $H_z^{(n)}$. Набор рабочих формул комплектуется из двух комплектов: для А-ЛМЛС и В-ЛМЛС. Однако очевидно, что здесь уже нет необходимости забираться в область производных высших порядков, так что ограничимся уравнениями (16), (14), (20) и (22). В задаче, решаемой локатором типа G, не три, а четыре неизвестных: φ, r, M_{xy} и M_z. Поэтому четыре уравнения являются необходимым и достаточным комплектом во всех случаях, кроме $\alpha=\alpha_1$ и $\alpha=\alpha_3$ (поэтому надо либо избегать такой ориентации ЛМЛС, либо привлекать третьи производные). Равенство нулю одного из уравнений (16) или (22) некритично, т.к. оно сразу позволяет определить $\varphi = \varphi_3$ или $\varphi = \varphi_2$. Единственным исключением являются четыре точки ($\alpha = 0$, $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$) и ($\alpha = \pi$, $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$), в которых пересекаются кривые φ_3 и φ_2, т.е. одновременно оказывается и $H'_x = 0$, и $H''_x = 0$. Таким образом, если ориентировать ось G-ЛМЛС избегая углов $\alpha = 0$ $\pm 63{,}5^\circ$, 180° и $\pm 90^\circ$, то никаких провалов в диаграмме направленности не будет, т.к. при любо ориентации диполя с ненулевыми компонентами M_{xy} и M_z все расчеты можно проводить без привлечения третьей производной.

Критерий работоспособности G-ЛМЛС по первой задаче обусловлен соотношением (32) для любой из первых производных. Вторая задача может быть решена сразу относительно r (уравнение (33а)). Угол ориентации φ диполя (при $H'_x \neq 0$ и $H''_x \neq 0$) можно определить из уравнения:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{(3-\operatorname{tg}^2\alpha)(4-\operatorname{tg}^2\alpha) + 6b(\operatorname{tg}^2\alpha - 1)}{\operatorname{tg}\alpha\left[b(5-\operatorname{tg}^2\alpha) - 2(4-\operatorname{tg}^2\alpha)\right]} \qquad (42)$$

где $b = 2\frac{H'_x H''_z}{H''_x H'_z}$. Если какая-либо из производных X-компоненты равна нулю, это сразу дает уравнение для расчета $\varphi = \varphi_3(\alpha)$ или $\varphi = \varphi_2(\alpha)$.

Величина r определяется из (33а), вслед за чем без труда вычисляются обе компоненты дипольного момента: M_z - по формуле (35а), а M_{xy} - по формуле (42а) при $H'_x \neq 0$ или по

$$M_{xy} = \frac{\pi r^5 H''_x}{6\cos\alpha\cos\varphi(\sin^2\alpha - \cos^2\alpha) - \sin\alpha\sin\varphi(5\cos^2\alpha - \sin^2\alpha)} \quad \text{при } H'_x = 0 \qquad (22а)$$

Критерий работоспособности G-ЛМЛС по второй задаче определяется соотношением (34а) (поскольку выше оговорено, что ориентация ЛМЛС исключает углы $\alpha = \alpha_I$ и $\alpha = \alpha_3$). Тогда для третьей задачи критерий (36а) одинаково справедлив для обеих компонент дипольного момента.

Прежде чем переходить к более сложным типам ЛМЛС, оценим, какие дополнительные преимущества можно получить добавлением, напри мер, производной по У. Двухкомпонентные одномерные ЛМЛС уже решают все три задачи локации без привлечения третьих производных. Но определить раздельно Г и М можно только имея не менее двух производных разного порядка (по любой координате). Это значит, что уменьшить число необходимых производных уже нельзя, их и так - минимум. Кроме того, производная по У в линейных локаторах не вычисляется, а измеряется, так что точность здесь во много раз хуже. Анализируя нижнюю часть таблицы 4, нетрудно заключить, что какое-то улучшение свойств можно ожидать лишь для Р-ЛМЛС - одномерного трехкомпонентного магнитолокатора, да и то улучшение относится только к диаграмме направленности.

Для Р-ЛМЛС комплект рабочих формул (с избытком) содержит уравнения (I4), (I6), (I8), (20), (22) и (24). При любых комбинациях α и ψ в нуль обращается одновременно не более двух уравнений, так что диаграмма направленности действительно однородна, ориентация локатора и диполя могут быть какими угодно, локационных данных всегда достаточно для того, чтобы решить все три задачи линейной магнитолокации, ограничившись только использованием первых и вторых производных. Само же решение описано в разделах для А- и I-ЛМЛС. Дальнейшее усложнение локатора (Q-ЛМЛС) уже ничего нового не дает.

2.5. Сравнение характеристик ЛМЛС различных типов в одномерной задаче магнитолокации.

Одномерные задачи магнитолокации могут быть сформулированы и в виде, отличном от простейшего, а именно: линия перемещения объекта является плоской или трехмерной линией, локатор расположен произвольно относительно этой линии. Во всех случаях предполагается, что локатор "знает" и свое расположение, и расположение линии перемещения объектов.

Мы не будем сейчас анализировать эти виды одномерных задач в той же форме, что и в п.5, поскольку, во-первых, это займет много места, во-вторых, потребует многократных повторов, в-третьих, эти задачи легче рассмотреть как частные случаи двумерной и трехмерной задач. Наконец, полезно вспомнить, что весь предыдущий анали п.5 относился к поиску первого приближения для алгоритма (I) и зада чей последующего анализа будет скорее не поиск точного решения зада определения параметров, используемых затем в качестве первого приближения, а оценка возможности использования точного решения приближенной модели в качестве исходного приближения для поиска точного (а точнее, наиболее вероятного) решения в реальной геометрии. Поэтому анализ одномерных задач, перечисленных в начале этого параграфа, отложим на потом, а сейчас попробуем сравнить характеристики ЛМЛС разных типов по уже рассмотренной простейшей одномерной задаче

Обилие типов ЛМЛС, каждый из которых может быть реализован в виде любой из пяти рассмотренных выше структур, не позволяет представить информацию о характеристиках ЛМЛС в наиболее наглядном графическом виде. Поэтому данные о критериях работоспособности ЛМЛС разных типов по всем задачам линейной магнитолокации сведены в таблицу 6. Анализируя эти данные, можно сделать следующие выводы:

1. Первая задача локации решается с почти одинаковой чувс твительностью всеми типами ЛМЛС, различие их состоит только в разно образии "критических" углов, где основная формула (32) заменяется на аналогичную формулу для другой производной.

2. Угловая ориентация диполя лучше всего определяется локаторами типа I- и P-, меньшей чувствительностью обладают E- и F-ЛМЛС, вслед за которыми идет группа B-, C-, G- и K-ЛМЛС; наконец, A- и D-ЛМЛС не реагируют на угловую ориентацию объекта.

3. Расстояние до объекта точнее всего определяют локаторы типа G-, I-, K- и P-. Для остальных типов ЛМЛС критерий работоспосо ности по второй задаче в общем случае одинаков, различие – только

Таблица 6. Критерии работоспособности ЛМЛС разных типов по четырем задачам линейной одномерной локации.

Задача / Тип ЛМЛС	I Сигнализация о наличии объекта	2 Определение расстояния до объекта	3 Определение магнит нитного момента
A	$\lvert H_z'\rvert > 0{,}954\sigma_{H_z'}$ $(\alpha\neq\alpha_I)$ $\lvert H_z''\rvert > 0{,}954\sigma_{H_z''}$ $(\alpha=\alpha_I)$	$\lvert H_z''\rvert>2\sigma_{H_z''}$ $(\alpha_I\neq\alpha\neq\alpha_2)$ $\lvert H_z'''\rvert>\sigma_{H_z''}$ $(\alpha=\alpha_2)$ $\lvert H_z^{IV}\rvert>\sigma_{H_z^{IV}}$ $(\alpha=\alpha_I)$	$\lvert H_z''\rvert>8\sigma_{H_z''}$ $(\alpha_6\neq\alpha\neq\alpha_2)$ $\lvert H_z'''\rvert>4\sigma_{H_z'''}$ $(\alpha=\alpha_2)$ $\lvert H_z^{IV}\rvert>5\sigma_{H_z^{IV}}$ $(\alpha=\alpha_I)$
B	$\lvert H_x'\rvert>0{,}954\sigma_{H_x'}$ $(\varphi\neq\varphi_I(\alpha))$ $\lvert H_x''\rvert>0{,}954\sigma_{H_x''}$ $(\varphi=\varphi_I(\alpha))$	$\lvert H_x''\rvert>2\sigma_{H_x''}$ $(\varphi_I(\alpha)\neq\varphi$ и $\varphi\neq\varphi_3(\alpha))$ $\lvert H_x'''\rvert>\sigma_{H_x'''}$ $(\varphi=\varphi_3(\alpha))$ $\lvert H_x''\rvert\ 2\sigma_{H_x'''}$ $(\varphi=\varphi_I(\alpha))$	$\lvert H_x''\rvert>8\sigma_{H_x''}$ $(\varphi_I(\alpha)\neq\varphi$ и $\varphi\neq\varphi_3(\alpha))$ $\lvert H_x'''\rvert>4\sigma_{H_x'''}$ $(\varphi=\varphi_3(\alpha))$ $\lvert H_x''\rvert>10\sigma_{H_x'''}$ $(\varphi=\varphi_I(\alpha))$
D	$\lvert H_z'\rvert>0{,}954\sigma_{H_z'}$ $(\alpha\neq\alpha_I)$ $\lvert H_z''\rvert>0{,}954\sigma_{H_z''}$ или $\left\lvert\frac{\partial H_z}{\partial y}\right\rvert>0{,}954\sigma_{\frac{\partial H_z}{\partial y}}$ $(\alpha=\alpha_I)$	$\lvert H_z''\rvert>2\sigma_{H_z''}$ $(\alpha_I\neq\alpha\neq\alpha_2)$ $\left\lvert\frac{\partial H_z}{\partial y}\right\rvert>2\sigma_{\frac{\partial H_z}{\partial y}}$ или $\lvert H_z'''\rvert>\sigma_{H_z'''}$ $(\alpha=\alpha_2)$ $\lvert H_z''\rvert>2\sigma_{H_z''}$ и $\left\lvert\frac{\partial H_z}{\partial y}\right\rvert>2\sigma_{\frac{\partial H_z}{\partial y}}$ $(\alpha=\alpha_I)$	$\lvert H_z''\rvert>8\sigma_{H_z''}$ $(\alpha_I\neq\alpha\neq\alpha_2)$ $\lvert H_z'''\rvert>4\sigma_{H_z'''}$ или $\left\lvert\frac{\partial H_z'}{\partial y}\right\rvert>8\sigma_{\frac{\partial H_z}{\partial y}}$ $(\alpha=\alpha_2)$ $\lvert H''\rvert>10\sigma_{H_z''}$ или $\left\lvert\frac{\partial H_z}{\partial y}\right\rvert>8\sigma_{\frac{\partial H_z}{\partial y}}$ $(\alpha=\alpha_I)$
E	$\lvert H_x'\rvert>0{,}954\sigma_{H_x'}$ $(\varphi\neq\varphi_I(\alpha))$ $\left\lvert\frac{\partial H_x}{\partial y}\right\rvert>0{,}954\sigma_{\frac{\partial H_x}{\partial y}}$ или $\lvert H_x''\rvert>0{,}954\sigma_{H_x''}$ $(\varphi=\varphi_I(\alpha))$	$\lvert H_x''\rvert>2\sigma_{H_x''}$ $(\varphi_I(\alpha)\neq\varphi$ и $\varphi\neq\varphi_3(\alpha))$ $\left\lvert\frac{\partial H_x'''}{\partial y}\right\rvert>2\sigma_{\frac{\partial H_x'}{\partial y}}$ или $\lvert H_x'''\rvert>\sigma_{H_x'''}$ $(\varphi=\varphi_3(\alpha))$ $\left\lvert\frac{\partial H_x}{\partial y}\right\rvert>2\sigma_{\frac{\partial H_x}{\partial y}}$ $(\varphi=\varphi_I(\alpha))$	$\lvert H_x''\rvert>8\sigma_{H_x''}$ $(\varphi_I(\alpha)\neq\varphi$ и $\varphi\neq\varphi_3(\alpha))$ $\left\lvert\frac{\partial H_x'}{\partial y}\right\rvert>8\sigma_{\frac{\partial H_x'}{\partial y}}$ или $\lvert H_x'''\rvert>4\sigma_{H_x'''}$ $(\varphi=\varphi_3(\alpha))$ $\left\lvert\frac{\partial H_x}{\partial y}\right\rvert>8\sigma_{\frac{\partial H_x}{\partial y}}$ $(\varphi=\varphi_I(\alpha))$
G	Альтернативное выполнение условий для A- или B- ЛМЛС	$(H_x'')^2+(H_z'')^2>4\sigma^2_{H''}$	Одновременное выполнение условий для A- и B- ЛМЛС
I	$\lvert H_x'\rvert>0{,}954\sigma_{H_x'}$ или $\lvert H_y'\rvert>0{,}954\sigma_{H_y'}$	$(H_x'')^2+(H_y'')^2>4\sigma^2_{H''}$	$(H_x'')^2+(H_y'')^2>8\sigma^2_{H''}$
P	Альтернативное выполнение условий для A-, B- или C- ЛМЛС	$(H_x'')^2+(H_y'')^2+(H_z)^2>$ $>4\sigma^2_{H''}$	Одновременное выполнение условий для A- и I- ЛМЛС

Примечания к таблице 6.

1. Углы α_1 и α_2 равны, соответственно, $\frac{\pi}{2} \pm k\pi$ и $\pm 63{,}4^{\circ} + k\pi$

2. Углы $\varphi_i(\alpha)$ определяются из таблички

i	$tg\,\varphi_i$
I	$\frac{3 - tg^2\alpha}{2\,tg\,\alpha}$
2	$\frac{tg^2\alpha - 3}{8\,tg\,\alpha}$
3	$\frac{6\,(tg^2\alpha - 1)}{(5 - 2\,tg^2\alpha)}$
4	$\frac{2\,(tg^2\alpha - 5)}{3\,(1 - tg^2\alpha)}$

3. Формулы для С-ЛМЛС аналогичны формулам, относящимся к В-ЛМЛС, с заменой $H_y \to H_x$; $\varphi_2(\alpha) \to \varphi_1(\alpha)$; $\varphi_4(\alpha) \to \varphi_3(\alpha)$.

4. Формулы для F-ЛМЛС аналогичны формулам для Е-ЛМЛС с теми же заменами, что и в предшествующем примечании.

5. Условия для К-ЛМЛС аналогичны критериям для G-ЛМЛС, с заменой $H_y \to H_x$ и В-ЛМЛС $\to$ С-ЛМЛС.

в разнообразии "критических" углав и в формулах, определяющих работоспособность при этих углах.

4. Третья задача линейной магнитолокации в общем случае решается с почти одинаковой чувствительностью, различие опять только в критических углах.

Четвертая задача линейной одномерной магнитолокации (идентификация недипольности объекта) рассмотрена в Приложении С.

2.6. Задачи магнитолокации на плоскости.

Следующий класс дадач - задачи локации на плоскости. В этом случае к числу неизвестных относится и угол α - угол направления на объект. Как и для линейной магнитолокации, здесь можно выделить ряд задач, последовательно возрастающих по сложности:

I. Регистрация наличия постороннего объекта с ненулевым магнитным моментом.

2. Определение направления на объект (в качестве побочного результата при решении этой задачи обычно получается и угол ориентации магнитного момента объекта).

3. Определение расстояния до объекта.

4. Идентификация диполя (определение его магнитного момент

5. Идентификация недипольности объекта. И т.д.

Поскольку отличие задач магнитолокации на плоскости от таковых на линии состоит только во введении задачи угловой локации (вторая задача), которая фактически является ключевой задачей плоскостной локации (без нее не решается ни одна из последующих задач), то именно на ней мы и сосредоточим свое внимание. Посмотрим, как задача угловой локации решается с помощью ЛМЛС различных типов.