

# ИНЕРЦИЯ МЕТРОЛОГИИ

**Е.Б. Ключин (МИИГАиК)**

В 1962 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК. С 1966 г. по 1975 г. работал в Государственном союзном проектном институте. С 1975 г. работает на кафедре прикладной геодезии МИИГАиК доцентом, профессором, а с 1982 г. по настоящее время — заведующим кафедрой. С 1987 г. по 1992 г. — декан геодезического факультета.

Метрология — наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности. К основным проблемам метрологии относятся:

- создание общей теории измерений;
- образование единых физических единиц и систем единиц;
- разработка методов, средств и точности измерений;
- обоснование основ обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений;
- создание эталонов и образцовых средств измерений, проверка мер и средств измерений.

Однако, как показывает опыт работ, теоретическая база, на которой основаны методы расчета, не всегда находится в поле зрения метрологов. Продемонстрируем сказанное на примере дальномерных измерений. Дело в том, что дальномер — только так называется, в действительности же это прибор, который позволяет измерить либо время задержки сигнала на измеряемой трассе, либо разность фаз гармонического сигнала, накопившуюся за время распространения сигнала. По измеряемым величинам необходимо вычислить интересующую нас дальность, т. е. длину отрезка между объектами, занимающими положение в пространстве на единый момент времени. В силу конечной скорости распространения электромагнитных волн процесс измерения занимает вполне определенный интервал времени. Например, при радиолокации

планеты Венера время распространения сигнала до планеты и обратно составляло примерно 9 мин. За это время расстояние между Землей и Венерой изменится на существенную величину. Вот тут-то и возникают серьезные трудности, с которыми необходимо разобраться.

Создание единой системы времени и часов высокого качества позволило в настоящее время построить принципиально новый спутниковый дальномер: передатчик сигнала находится на спутнике, а регистрируется сигнал навигационным приемником на Земле. Таким образом, был создан прибор, позволяющий измерять расстояние при одностороннем прохождении его сигналом, о котором мечтали А. Майкельсон и Е. Морли в 1881 г. Подводя итог более чем двадцатилетнего опыта эксплуатации одностороннего дальмера, можно с уверенностью утверждать, что по результатам выполненных измерений невозможно выявить абсолютного движения ни Солнца, ни Земли, на что надеялся Майкельсон и другие приверженцы эфирной теории распространения света. Качество измерений столь высоко, что не оставляет никаких надежд на иное толкование результатов измерений. Тем не менее, одна поправка в результатах измерений появилась, причем появилась при точности измерений в десятки раз выше, чем величина вносимой поправки. Дело в том, что навигационные спутники летают до-

вольно далеко от Земли, на расстоянии свыше 26 000 км от центра масс Земли, и сигнал от спутника до приемника идет около 0,07 с. За это время Земля поворачивается на угол более 1", а приемник перемещается на несколько десятков метров. Именно на эту величину и корректируют время распространения сигнала. При этом можно корректировать как время распространения, так и длину пути сигнала, при полном отсутствии теоретического обоснования данным действиям.

В соответствии со вторым постулатом теории относительности, который формулируется в следующем виде: «Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета; она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника сигнала» — никаких поправок вводить не требуется. Но, и отказавшись от второго постулата, легче не становится. Возникают новые вопросы. Почему, экспериментально доказав целесообразность введения поправки за поворот Земли, не требуется вводить поправку за перемещение Земли по орбите вокруг Солнца и за движение Земли вместе с Солнцем? Какую теоретическую базу использовать при выводе формулы для вычисления поправки за поворот Земли? Достаточно ли точно вычисляется эта поправка в настоящее время? Эти проблемы должны волновать метрологию, так как от них зависит качество измерений, а не только от технических характеристик

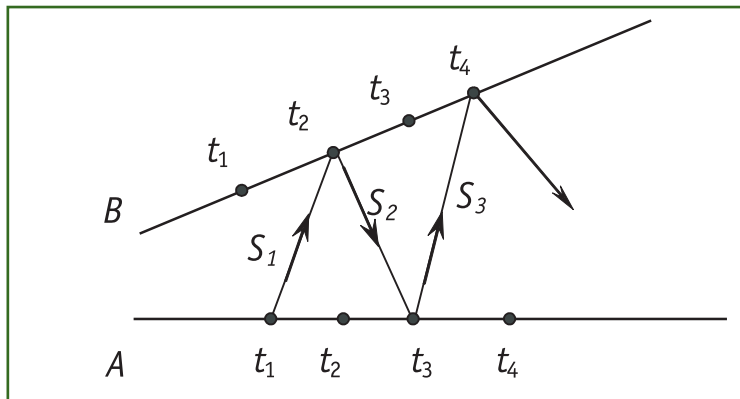


Рис. 1

Импульсное измерение расстояний между подвижными объектами

средств измерений.

Опыт работы со спутниковой навигационной системой заставляет по новому относиться к хорошо известной формуле вычисления расстояний по результатам измерений свето- и радиодальномерами:

$$S = (\Delta t \cdot C) / 2n, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  — время распространения сигнала от дальномера до цели и обратно;

$C$  — скорость света в вакууме;  
 $n$  — показатель преломления среды.

Формула (1) является математической основой современной метрологии и используется во всем мире. На основе формулы (1) для одностороннего дальномера вычисление расстояния должно выполняться по формуле:

$$S = (\Delta t \cdot C) / n, \quad (2)$$

так как сигнал проходит измененное расстояние лишь один раз. При этом нет теоретических предпосылок для введения во время распространения каких-либо поправок. Анализируя формулы (1) и (2), можно констатировать:

— столь важные для метрологии формулы не имеют имени их создателя;

— нет информации о законах физики, на которые они опираются;

— нет вывода этих формул.

Из вышеизложенного следует, что формулы (1) и (2) являются эмпирическими и, как лю-

бые эмпирические формулы, должны иметь ограниченный диапазон применения. Однако, исследования степени их достоверности не проводились. Из опыта производственных измерений известно, что геодезисты измеряют расстояние на Земле в любом направлении с равной точностью. А точности они достигли вполне приличной: при измерениях специальными приборами (светодальномерами-рефрактометрами) относительная ошибка измерения достигает  $1 \cdot 10^{-7}$ . Относительная ошибка измерения — это отношение ошибки измерения  $m_s$  к измеряемой величине  $S$ , т. е.  $m_s/S \approx 1 \cdot 10^{-7}$  — это очень высокая точность. При этом никаких проблем, связанных с особенностями распространения света между объектами, взаимное положение которых остается неизменным, они не обнаружили. Опыт работ показал, что при измерении расстояний спутниковыми приемниками, между спут-

ником и приемником, установленным на Земле, возникает необходимость введения поправок. В связи с этим, учитывая важность рассматриваемой проблемы, проведем исследование справедливости формулы (1) для двух объектов, расстояние между которыми непрерывно изменяется. Пусть имеется два объекта, траектории полета которых представлены на рис. 1.

Выполним многократное переотражение сигнала между объектами A и B. Если принять справедливой формулу (1), то для наблюдателей на объекте A, в соответствии с рекомендациями Эйнштейна, должно соблюдаться равенство  $S_1 = S_2$ , а для наблюдателей на объекте B, в силу того же правила должно выполняться равенство  $S_2 = S_3$  и т. д. При этом нам известно, что за время переотражения сигналов расстояние между объектами менялось, следовательно, формулы (1) и (2) справедливы лишь для частного случая, когда расстояния между объектами остаются постоянными, т. е.  $S_1 = S_2 = S_3 = \text{const}$ . Если же расстояние между объектами изменяется, то  $S_1 \neq S_2 \neq S_3$  и т. д. Поэтому необходимо разработать более современную теоретическую базу обработки результатов линейных измерений.

Рассмотрим второй пример. Пусть два тела A и B движутся равномерно, прямолинейно, параллельно друг другу и с равными скоростями (рис. 2).

Точками на траекториях от-

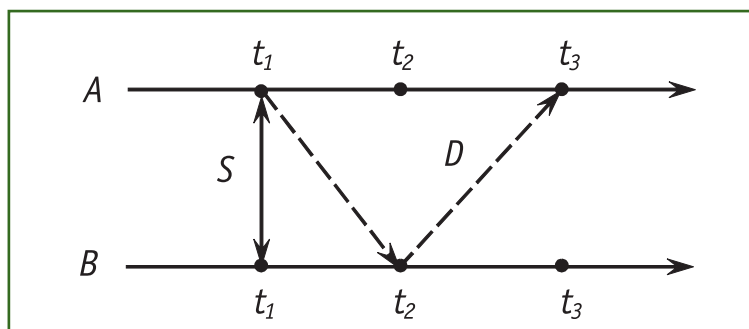


Рис. 2

Схема распространения сигнала между двумя объектами

мечены положения объектов на моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ . Если между этими объектами выполняются измерения расстояний, и сигнал вышел с объекта  $A$  в момент времени  $t_1$ , отразился от объекта  $B$  в момент времени  $t_2$  и вернулся на объект  $A$  в момент времени  $t_3$ , то возникает сомнение: можно ли использовать формулу (1) для вычисления расстояний? Если объявить, что траектории  $A$  и  $B$  (рис. 2) принадлежат двум точкам, расположенным на Земле и движущимся с Землей в пространстве, то опыт производственных измерений позволяет утверждать, что формула (1) справедлива для этого случая. А если рассматривать эти траектории как след полета двух ракет, то появляется вопрос: почему не учитываются перемещения ракет за время распространения сигналов? Кроме того, объект наблюдается в направлении  $S$ , а не в направлении  $D$  (рис. 2), но это справедливо только для данного частного случая.

Проведем еще один мысленный эксперимент, он не должен быть сложным, а результат его должен быть предсказуем. На земной поверхности (рис. 3) в точке  $O$  расположим антенну, которая будет излучать электро-

магнитные сигналы. Расположим вокруг излучателя несколько приемников на расстояниях  $R$ ,  $2R$ ,  $3R$  и т. д. — столько, на сколько хватит воображения. Пусть антенна излучает последовательность импульсов с периодом  $\tau = R/C$  (если есть желание, можно учесть и показатель преломления среды — это не принципиально).

На рис. 3 представлена ситуация на момент излучения четвертого импульса. Первый импульс достиг приемников, расположенных по радиусу длиной  $3R$ , второй импульс в этот же момент времени достиг приемников, расположенных по радиусу  $2R$  и так далее, а четвертый импульс только начал излучаться антенной. Такое расположение сигналов понятно и не вызывает каких-либо опасений.

Проблемы начинаются тогда, когда задумываешься над тем, что за время излучения серии импульсов Земля не оставалась на месте: она вращалась вокруг своей оси, перемещалась с огромной скоростью вокруг Солнца и, с еще большей скоростью, перемещалась вместе с Солнцем по Галактике. А как вело себя при этом электромагнитное поле? Причем величина перемещения земного оборудования  $d$  за

время распространения сигналов  $N \cdot \tau$  ( $N$  — число излучаемых импульсов) существенно превышает величину за  $\delta/NR > 1 \cdot 10^{-5}$ , и не заметить такую величину было бы невозможно, если бы она имела место быть. Не забывайте, что геодезисты располагают средствами измерений в сто раз точнее этой величины. Тем не менее, картинку, представленную на рис. 3, следует признать справедливой, независимо от скорости перемещения оборудования в пространстве. Но это возможно лишь в том случае, если электромагнитное поле обладает инерцией и перемещается в пространстве вместе с излучателем и приемниками в случае прямолинейного и равномерного движения. Инерция — вот что упустили физики, когда ввязались в споры о существовании эфира. Давайте попробуем включить инерцию в рабочие формулы и посмотрим, что из этого получится.

Действительно, все предметы подчиняются первому закону Ньютона. Земля и атмосфера Земли, и тучки, плавающие в атмосфере, и молнии, сверкающие между ними, а электромагнитному излучению от этих молний отказали в праве подчиняться главному закону — закону инерции, не имея на это ни теоретических, ни экспериментальных оснований. Справедливости ради следует отметить, что в 1908 г. В. Ритц почти предложил гипотезу о том, что электромагнитное излучение должно обладать инерцией, но высказал это не очень четко (Ritz W., Ann. Chim et phys. 1908, v. 13). Вследствие чего гипотеза Ритца была истолкована слишком прямолинейно, и начались поиски примеров сложения скоростей: скорость света + скорость источника излучения, не имея для этого достаточной теоретической базы. При этом анализировали движение двойных звезд, световые потоки,

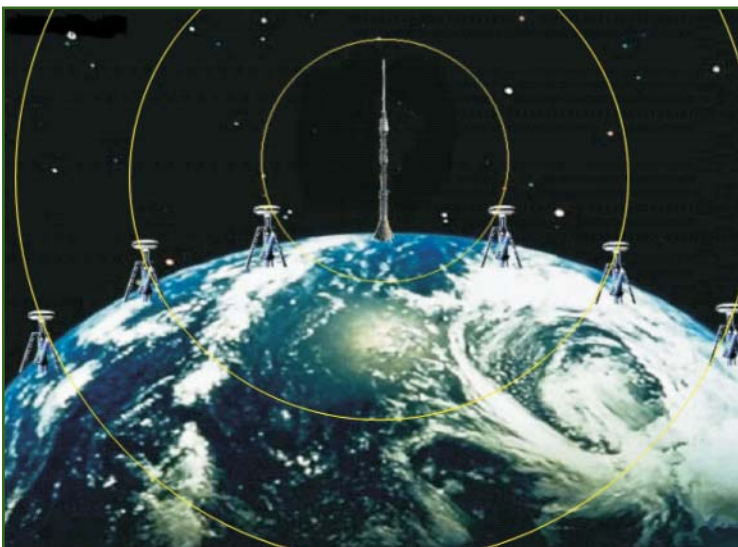


Рис. 3

Иллюстрация распространения сигналов с учетом инерции

пришедшие от двух взаимно противоположных участков диска Солнца, но экспериментально выявить примеры суммарной скорости пока не удалось и о гипотезе Ритца долгое время не вспоминали, считая ее ошибочной.

В 1962 г. американцы закончили экспериментальные измерения расстояний до Венеры, и при обработке результатов радиолокации возникли непреодолимые трудности. При расчетной средней квадратической ошибке измерения расстояния до Венеры равной 1,5 км «искажения» расстояний при вычислениях превышали 2000 км! Результаты радиолокации Венеры не обработаны до сих пор, но стало понятным, что необходимо учитывать скорости перемещения Земли и Венеры во время измерений, но как? Вот тут-то вновь начали вспоминать о гипотезе Ритца и пытаться применить ее к расчету результатов измерений расстояний до Венеры, но без особых успехов.

Удивительно то, что физики давно признали влияние гравитационных полей на распространение света, а движение света по инерции даже не рассматривали. Хотя природа обоих явлений должна быть близка по характеру воздействия. Ученые в области квантовой механики могли бы сказать веское слово по этому поводу. Современные спутниковые измерения не подтверждают справедливость второго постулата Эйнштейна, да и радиолокационные измерения расстояний до Венеры говорят о том же. На очереди радиолокация Марса, что будем делать? Положим результаты измерений в долгий ящик, как американцы, и никому не будем показывать, стыдясь признаться, что не умеем обрабатывать результаты измерений? Или осознаем, что данная проблема еще не имеет решения, и ее необходимо срочно решать, потому что страдает производство.

Вспомнив, что электромагнитное излучение имеет сферическую форму, представим ее в следующем виде:

$$\sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} = C(t - t_0), \quad (3)$$

где  $X_i, Y_i, Z_i$  — координаты излучателя;

$X, Y, Z$  — координаты сферы электромагнитной волны на момент времени  $t$ ;

$t_0$  — время излучения импульса электромагнитного излучения;

$C(t - t_0) = R$  — радиус сферы электромагнитного излучения, которая непрерывно и стремительно увеличивается в размерах.

Правая часть уравнения (3) говорит о том, что электромагнитное колебание всегда распространяется в вакууме с постоянной скоростью  $C$ , независимо от скорости приемника излучения. Это обнадеживает и вряд ли вызовет возражения с чьей-либо стороны. Однако, уравнение (3) является нелинейным и в общем случае не следует ожидать линейных связей между временем распространения сигнала, координатами и скоростями перемещения источника и приемника излучения. В координаты излучателя  $X_i, Y_i$ , и  $Z_i$  необходимо ввести характеристики движения электромагнитного поля по инерции, иначе невозможно описать результаты эксперимента, представленного на рис. 3.

Следовательно, для учета влияния инерции электромагнитного поля, необходимо знать скорость источника излучения в момент времени  $t_0$ . Если в момент времени  $t = t_1$  электромагнитное излучение достигает приемника, то его координаты совпадут с координатами одной из точек сферы электромагнитного излучения.

А уравнение (3) для случая равномерного прямолинейного движения будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & [X_{02} + V_r \cos \varphi_{xr} (t_1 - t_0) - \\ & - X_{01} - V_i \cos \varphi_{xi} (t_1 - t_0)]^2 + \\ & + [Y_{02} + V_r \cos \varphi_{yr} (t_1 - t_0) - \\ & - Y_{01} - V_i \cos \varphi_{yi} (t_1 - t_0)]^2 + \\ & + [Z_{02} + V_r \cos \varphi_{zr} (t_1 - t_0) - \\ & - Z_{01} - V_i \cos \varphi_{zi} (t_1 - t_0)]^2 = \\ & = C^2 (t_1 - t_0)^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что если источник и приемник излучения на интервале времени  $(t_1 - t_0)$  остаются неподвижными относительно друг друга, но вместе совершают движение, то их скорости равны друг другу  $V_r = V_i$ , как и их направляющие косинусы.

В этом случае уравнение (4) преобразуется к виду:

$$\sqrt{(X_{0r} - X_{0i})^2 + (Y_{0r} - Y_{0i})^2 + (Z_{0r} - Z_{0i})^2} = C(t_1 - t_0),$$

что мы и имеем при измерениях относительно коротких расстояний на поверхности Земли. Это первый и очень важный экспериментально достоверный факт справедливости формулы (4). На основании этого можно сделать вывод: для того, чтобы математически обосновать независимость результатов линейных измерений на поверхности Земли от движения ее в пространстве, необходимо учитывать движение электромагнитного поля по инерции. Скорость света не зависит от скорости перемещения источника и приемника излучения, но при этом следует учитывать, относительно чего скорость света является константой, а время распространения сигнала от источника излучения, занимающего положение на момент излучения сигнала  $t_0$ , до приемника излучения, занимающего положение на момент времени  $t_1$ , зависит от их взаимного перемещения на интервале времени от излучения до приемника  $(t_1 - t_0)$ .

В частности, если в момент излучения  $t_0 = 0$  координаты приемника равны  $X_r = Y_r = Z_r = 0$ , а скорость перемещения приемника характеризуем величинами  $V_{xr} = V_r \cos \varphi$ ,  $V_{yr} = V_r \sin \varphi$ ,  $V_{zr} = 0$ , т. е. приемник перемещается в

плоскости  $XY$ . Координаты источника излучения в момент времени  $t_0 = 0$  равны  $X_i = \rho_0$ ,  $Y_i = 0$ ,  $Z_i = 0$ , т. е. источник находится на оси  $OX$  и перемещается по ней со скоростью  $V_{xi} = V_i$ , следовательно  $V_{yi} = V_{zi} = 0$ . Уравнение сферы данного излучения на любой момент времени  $t$  имеет вид:

$$\begin{aligned} & [X - X_i - V_{xi}(t - t_0)]^2 + \\ & + [Y - Y_i - V_{yi}(t - t_0)]^2 + \\ & + [Z - Z_i - V_{zi}(t - t_0)]^2 = \\ & = C^2(t_1 - t_0)^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Если в момент времени  $t = t_1$  электромагнитное излучение достигнет приемника, то его координаты совпадут с одной из точек сферы электромагнитного излучения, и для момента времени  $t_1$  они будут равны  $X = V_r \cos \varphi (t_1 - t_0)$ ;  $Y = V_r \sin \varphi (t_1 - t_0)$ ;  $Z = 0$ . Учитывая ранее принятые условия, уравнение (5) для момента времени  $t_1$  можно представить в виде:

$$\begin{aligned} & (C^2 - V_r^2 - V_i^2 + 2V_r V_i \cos \varphi) t_1^2 - \\ & - 2\rho_0(V_i - V_r \cos \varphi) t_1 - \\ & - \rho_0^2 = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Из уравнения (6) вычислим время  $t_1$  прихода сигнала на приемник:

$$\begin{aligned} t_1 = & ((\rho_0(V_i - V_r \cos \varphi)) / \\ & (C^2 - V_r^2 - V_i^2 + 2V_r V_i \cos \varphi) + \\ & + ((\rho_0 \sqrt{C^2 - V_r^2 \sin^2 \varphi}) / \\ & (C^2 - V_r^2 - V_i^2 + \\ & + 2V_r V_i \cos \varphi)). \end{aligned} \quad (7)$$

Если систему координат совместить с приемником и определить время  $t_1$  относительно неподвижного приемника, т. е., если  $V_r = 0$ , а  $V_i = V$ , то формула (7) примет вид:

$$\begin{aligned} t_1 = & (\rho_0 C / (C^2 - V^2)) + \\ & + (\rho_0 V / (C^2 - V^2)). \end{aligned} \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует то, о чем сто лет утверждали релятивисты: «замедление» времени существует! Чем выше скорость взаимного перемещения объектов, тем меньше знаменатель формулы (8). Но «замедление» времени не в смысле замедления хода часов или протекания биологических процессов, а как увеличение времени прохождения сигналом расстоя-

ния от источника до приемника, так как до исследований Эйнштейна многие были почему-то уверены, что время прохождения сигналом расстояния  $\rho_0$  всегда должно быть равно

$$t = \rho_0 / C.$$

Это возможно, если источник и приемник излучения неподвижны относительно друг друга ( $V = 0$ ), что и следует из формулы (8). Однако, использовать формулу (8) следует крайне осмотрительно, так как она справедлива лишь при равномерном прямолинейном движении тел на значительном интервале времени. В общем случае необходимо учитывать координаты и скорость источника в момент излучения сигнала и положение приемника излучения в момент приема сигнала.

Весьма интересен частный случай, когда источник и приемник электромагнитного излучения перемещаются строго по одной из осей координат (например, по оси  $X$ ), тогда уравнение сферы перерождается в уравнение прямой линии:

$X - X_i - V_{xi}(t - t_0) = C(t - t_0)$ , и теряется коэффициент «замедления» времени  $(1 - (V^2/C^2))^{-1}$ . Но стоит повернуть систему координат на любой угол, не кратный  $\pi/2$ , даже на бесконечно малую величину, как он вновь появится. Это связано с тем, что электромагнитное излучение является расходящимся, и одновременно обе проекции скорости на оси координат  $V_{xi}$  и  $V_{zi}$  не могут быть равны нулю. Даже в том случае, когда расстояние между приемником и источником излучения является бесконечно большим, угол расходимости излучения, достигшего приемника, является бесконечно малым, но не равным нулю.

Следует особо подчеркнуть, что при обработке результатов современных спутниковых измерений, ежедневно тысячи геодезистов в разных странах мира вводят поправки, которые на по-

рядок улучшают качество измерений, но находятся в конфликте со вторым постулатом Эйнштейна, точнее, они о нем вообще не вспоминают. Официальная наука и метрология вот уже четверть века безмолвно смотрят на эти «безобразия», но так не должно продолжаться далее. Одним из возможных выходов из сложившейся ситуации предлагается учет движения электромагнитного поля по инерции. Введение хорошо известного и проверенного закона физики отмечает необходимость введения каких-либо фантастических законов-постулатов, из которых «вытекают» такие «явления», как релятивистское замедление времени, сокращение размеров и т. п. Эти «явления» автоматически появляются как следствие нелинейного уравнения распространения электромагнитных волн, хотя это не так романтично, как у релятивистов. Более того, впервые появилось теоретическое обоснование формулы расчета расстояний до неподвижных объектов, теоретическая база для расчета поправки за поворот Земли вокруг Солнца при измерениях между Землей и спутником Земли. При обработке результатов измерений между Землей и другими планетами, необходимо будет учитывать и поворот Земли вокруг своей оси, и перемещение Земли и исследуемой планеты вокруг Солнца.

#### RESUME

It is highlighted that the theoretical basics for the calculation techniques are not metrologically certified. It is proposed to consider the electromagnetic field motion by inertia. The theoretical studies fulfilled show that when processing data based on interplanetary measurements for the Earth and other planets it is necessary to take into account both the Earth revolution about its axis and the Earth motion together with the studied planet in their orbits around the Sun.