

ционного процесса типа (6), в котором оператор B заменен единичной матрицей, а подбираемый параметр регуляризации $\beta_k = 0$ отличен от единицы; кроме того, все параметры уточняются одновременно. Однако, сравнивая обсуждаемые подходы построения моделей М4А и в [13], отметим то существенное обстоятельство, что в [13] в качестве исходной информации использовались значения производных $\left(\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z}\right)$, которые как раз и присутствуют в правых частях уравнений движения при вычислении орбит ИСЗ. При построении же модели М4А исходными данными были фактически, значения функции V , но применение в качестве стабилизатора задачи квадрата нормы потенциала (5) с параметрами воспроизведяшего ядра ЧНВ-2 [5] позволило с необходимой для вычисления орбиты ИСЗ «Лагос» точностью получать и сами производные $\left(\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z}\right)$. Последний факт имеет необходимое теоретическое обоснование [14, 10], из которого следует (при трактовке потенциала T как элемента гильбертова пространства H^q с воспроизводящим ядром) равномерная аппроксимация как самой функции T , так и ее первых производных в случае $q=2,5$.

Список литературы:

1. Александров М. А. Об одном представлении аномального гравитационного поля. — ДАН СССР, 1966, т. 170, № 4, 2. Васильченко А. Н. Методы решения экстремальных задач. — М.: Наука, 1981. 3. Марченко А. Н. Модель точечных масс глобального гравитационного поля Земли. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1980, вып. 32. 4. Марченко А. Н. О некоторых теоретических аспектах представления геопотенциала потенциалом системы точечных масс. — Изв. Геодезии и аэрофотосъемки, 1982, вып. 3. 5. Марченко А. Н. Гильбертовы пространства функций гармонических векторов Биркхаммера и глобальная ковариационная функция аномального поля. — К., 1983. — Рукопись деп. в УкрНИИГИ, № 293. Ук-Д83. 6. Марченко А. Н. О построении моделей точечных масс, геопотенциала по результатам спутниковых наблюдений. — К., 1983. — Рукопись деп. в УкрНИИГИ, № 292. Ук-Д83. 7. Марченко А. Н. Об использовании фундаментальных решений уравнения Лапласа для определения гравитационного поля и фигуры Земли. — Прогр. Прим. Симп. Фигур Земли, Луны и других тел. Монография. Series of VUGTK, Prague, 1983. 8. Марченко А. Н. О выборе стабилизатора для устойчивой аппроксимации потенциала рядом фундаментальных решений уравнения Лапласа. — Прогр. Прим. Симп. Фигур Земли, Луны и других тел. Монография. Series of VUGTK, Prague, 1983. 9. Мещериков Г. А. Обратные задачи теории геопотенциала. — К., 1983. — (Препринт / ДИ НУССР. Ин-т теорет. физики). 10. Нейлан Ю. М. Вариационный метод физической геодезии. — М.: Недра, 1979. 11. Старостенко В. И., Озимец С. М. Методы регуляризации и оптимизации в гравиметрии. — В кн.: Теория и практика интерпретации гравитационных и магнитных полей в СССР. К., 1983. 12. Тихонов А. Н., Араскин В. Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1979. 13. Барнхес Ф., Каутзебен Г. А new method of modelling the gravity field of the Earth by point masses. — Paper presented to the General Assembly of the IAG, Symposium C, Improved gravity field estimation on a global basis. Hamburg 1983. 14. Krarup T. A contribution to the mathematical foundation of physical geodesy. — Danis Geod. Inst., 1969, № 44. 15. Тшеринг Г. Г., Рапп Р. Closed covariance expression for gravity anomalies, geoid undulations and deflections of vertical implied by anomaly degree variance models. — Report Dept of Geod. Sci. Ohio State Univer., 1974, № 208.

В производственных условиях для учета вертикальной рефракции используют коэффициент рефракции k , который или принимают средним, или определяют для данного локального региона. Коэффициент рефракции входит в формулы для вычисления предвыделения [6], для его среднего значения составлены специальные таблицы как для малых, так и больших расстояний. В последнее время вводится специальная поправка в определяемое превышение электронными автоматическими приборами с использованием среднего значения k . Между тем установлено, что значение коэффициента рефракции непостоянно и зависит от физико-географических условий, периода года и суток, высоты луча, стратификации воздушных масс и многих других факторов. Теоретически k наиболее полно выражается одним из следующих соотношений:

$$k = \frac{R_s}{R_1}; \quad (a) \quad k = -R_s \frac{dn}{dh} \sin z/n; \quad (b) \quad k = \kappa_0 + q \frac{c}{h}, \quad (1)$$

где R_s и R_1 — радиусы кривизны Земли и траектории волны в данной точке; n и dn/dh — показатель преломления воздуха и его вертикальный градиент; z — измеряемое зенитное расстояние; $\kappa_0 = 18,56 \frac{\rho}{T_2}$; $q = 668,7 \frac{\rho}{T_2}$; ρ и T — давление и температура воздуха;

c — аномальная часть градиента температуры на высоте 1 м над почвой; h_0 — средненитегральная высота над подстилающей поверхностью.

Из (1a), (1b) следует, что коэффициент рефракции имеет смысл в том случае, когда изменения вертикального градиента показателя преломления незначительны, т. е. когда траектория волны располагается вдоль земной поверхности. При наблюдении высоких объектов, для которых dn/dh заметно меняется, значение k для учета влияния рефракции использовать нельзя. Формула (1b) позволяет определять коэффициент рефракции, если температурный градиент, который в настоящее время трудно определить, известен вдоль всей трассы.

Исследования показали, что коэффициент рефракции следует представлять из нормальной, или регулярной, части k_n и периодически меняющейся нерегулярной части Δk :

$$k = k_n + \Delta k. \quad (2)$$

Наиболее устойчивое влияние рефракции наблюдается в периоды спокойных изображений, которые наступают обычно через 1...1,5 часа после восхода Солнца и за 1,5...2 часа до его заката.

Однако для различных физико-географических условий момента установления этих периодов отличаются. В эти периоды колебания изображения замедляются, если температурное поле приближается к однородному или если турбулентные движения замедляются, а величина земной рефракции приближается к нормальному для данного района. Это значит, что коэффициенты рефракции приближаются к нормальному, но они не всегда равны некоторой средней величине, например 0,14—0,16. Значение «нормального» коэффициента рефракции зависит от времени года и метеорологических условий данного района. Учитывая, что значения рефракции в периоды спокойных изображений в другие периоды суток можно приводить (редуцировать) значение рефракции на период спокойных изображений с учетом изученного суточного и годового ходов. Таким образом, периоды спокойных изображений можно принять за начало в суточном ходе рефракции.

Наименьшее значение рефракции наступает в полуденное время, но оно меняется от суток к суткам. Максимальных значений рефракции достигает в ночные часы. Быстрые изменения рефракции проходят в период восхода и заката. Поэтому сутки удобно разделить на пять периодов: близкополуденное время (13—15); дневное время (11—12, 16—17); период утренних и вечерних спокойных изображений (8—10, 18—20); инверсионный период — промежуток времени около восхода и захода Солнца (6—7, 21—22); ночное время (23—5 часов).

Для трасс, расположенных над сушей, изменения коэффициента рефракции в эти периоды детально исследованы. Для морских трасс этот вопрос детально не изучался. Учитывая это, мы использовали материалы продолжительных экспериментальных исследований в 1979—1982 гг. на наблюдательных станциях, оборудованных в прибрежных районах северного побережья Черного моря, где проводились круглосуточные экспериментальные определения рефракции по заданию Института оптики атмосферы СО АН СССР. На первой станции наблюдалось семь направлений, часть которых проходила близко к берегу или над сушей, а часть над морской поверхностью (рис. 1). Измерения на этой станции выполнены с двух высот — ярусов; непосредственно у поверхности моря на высоте 2,92 м и на краю обрывистом берегу на высоте 41,81 м. Длины линий над морем были 6,0...7,5 км, а у берега и над сушей — 1,2...6,7 км. Наблюдения велись в течение трех сезонов: июль-август 1979, май 1980 и май 1981 года.

Вторая наблюдательная станция располагалась над заливом (рис. 2) с одним направлением, расположенным на значительном удалении от берега с длиной линии около 5 км и высотой визирного луча около 8 м.

Для каждой наблюдательной станции были определены плановое и высотное положения всех наблюдаемых направлений. Использование их и результатов измерений зенитных расстояний позволило вычислить коэффициенты рефракции для каждой серии измерений. Полученные материалы по отдельным месяцам были

разбиты на пять перечисленных выше периодов суток. На первой станции выделены нижний и верхний ярусы, так как у них была большая разность высот. Кроме того, выделены отдельно значения коэффициентов рефракции для направлений, расположенных над морем, и для направлений, проходящих над сушей или у берега. Результаты определения средних значений k приведены в таблице, где в круглых скобках указано число серий измерений.

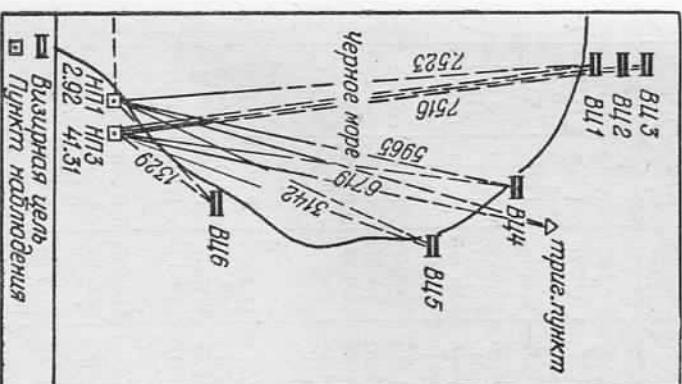


Рис. 1. Схема наблюдательной станции с двумя ярусами (высотами) наблюдений:
1 — измерение; 2 — пункт наблюдения.

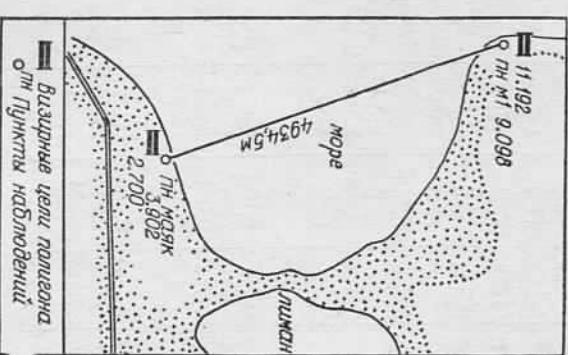


Рис. 2. Схема наблюдательной станции с одним направлением:
1 — измерение; 2 — пункт наблюдения.

Представленные данные достаточно полно характеризуют изменения рефракции и ее коэффициента в разные периоды суток весеннего и летнего времени года на морских и прибрежных трассах. Прежде всего, четко видна разность суточного хода для направлений над морем и сушей. Над сушей и в прибрежных районах колебания очень большие — от $-0,30$ — $-0,70$ в близкополуденное время до $0,40$ — $0,50$ в ночной период. На морских трассах эти изменения сильно стянуты и колебания уменьшаются примерно в три раза.

Ярко выражена зависимость значения и изменяемости k от высоты луча над водой. Чем ниже высота визирного луча, тем больше колебания k . Наиболее четко граница видна при среднитеческой высоте луча 4 м. Выше этой высоты средние значения

Средние значения коэффициентов рефракции

Период суток	Я р у с								$\frac{h_3}{h_9}$ = 16,80 м
	Постоянная поверхности	верхний, $\frac{h_3}{h_9}$ = 4,79 м	нижний, $\frac{h_3}{h_9}$ = 4,79 м	нижний, $\frac{h_3}{h_9}$ = 16,80 м	верхний, $\frac{h_3}{h_9}$ = 4,79 м	нижний, $\frac{h_3}{h_9}$ = 14,80 м	верхний, $\frac{h_3}{h_9}$ = 4,79 м	нижний, $\frac{h_3}{h_9}$ = 7,15 м	
Близ- полу- днев- ний	Море (37) (14)	0,109 —0,16	0,047 —0,763	0,130 —	0,151 —0,176	0,265 —0,312	0,215 —0,018	0,190 —0,746	0,164 —
Днев- ной	Море (35) (14)	0,124 —0,036	0,092 —0,478	0,127 —	0,145 —0,246	0,324 —0,208	0,214 —0,104	0,158 —0,514	0,160 —
Сло- кой- ных изо- бр- жений	Море (88) (106)	0,156 0,184	0,172 —	0,100 —	0,148 0,196	0,194 0,133	0,193 0,161	0,195 0,146	0,179 —
Ин- верси- онный	Море (29) Суша (13)	0,136 0,071	0,162 0,051	0,191 —	0,218 0,288	0,298 0,540	0,338 0,438	0,301 0,441	0,224 —
Ноч- ной	Море (26) Суша (12)	0,156 0,144	0,160 0,241	0,267 —	0,289 0,414	0,218 0,289	0,390 0,541	0,360 0,422	0,339 —

k в дневной период при нормальной стратификации стабильны и колеблются в пределах 0,11—0,21, а ниже изменяются в более широких пределах от 0,05 до 0,32. Еще больше эти колебания в инверсионный период, когда они находятся в пределах 0,13—0,39.

В периоды спокойных изображений колебания среднего значения k незначительны и находятся в пределах 0,15—0,19, независимо от высоты луча, так как близки к изотермическому значению. Это подтверждает вывод о том, что значение k в периодах спокойных изображений может приниматься за нормальное значение. В близкоподулденное время не наблюдается устойчивых минимальных значений, как это имеет место над сушей. Поэтому данный период не может быть принят за исходный. Поэтому в инверсионный период, охватывающий ночные часы, а также утром до начала периода спокойных изображений и вечерние после этого периода, значение k увеличивается по абсолютной величине, а его колебания усиливаются, особенно в утренние и вечерние часы.

Для выявления аналитической зависимости коэффициента рефракции k от основных факторов используем ковариационный анализ. Поскольку наибольшее влияние на величину k изменяемость k оказывают высота луча и вертикальный температурный градиент, представим значение k в следующем виде:

$$k = k_0 + \alpha + \beta + \gamma t + \delta h, \quad (3)$$

где k_0 — значение коэффициента рефракции при $t=0$; h — среднеинтегральная высота луча по заданному направлению; γ — вертикальный градиент температуры; α — суммарное влияние остальных факторов на суточный годовой ход; ν и δ — коэффициенты.

Учитывая особенности материала, приведенного в таблице, используем только наблюдения над морем. Сутки мы разбили на пять периодов, и все наблюдения разделили на три группы по месяцам (май, июль, август). Вертикальные градиенты температуры вычисляли и усредняли по результатам метеонаблюдений, выполняемых одновременно с измерением зенитных расстояний. Таким образом, основные предположения сведены к следующему:

$$k_{ij} = k_0 + \alpha_i + \beta_j + \gamma t_{ij} + \delta h_{ij} + l_{ij}, \quad (4)$$

где k_0 — генеральное среднее значение k ; l_{ij} — ошибки определения значений l_{ij} независимы и распределены по закону $N(0, \sigma^2)$; k_{ij} — значение коэффициента рефракции в $i-j$ -ячейке; i — номер периода, j — номер группы.

Дальнейшая обработка материала выполнена по методу [1], исследуя годовой ход над сушей. В результате вычислений $\nu = +0,0721$; $\delta = -0,0015$; $k_0 = 0,190$. Таким образом, k можно представить выражением

$$k = 0,190 + 0,072t - 0,0015h. \quad (5)$$

В результате анализа и проведенной статистической обработки большого экспериментального материала по определению рефракции на морских трассах видим, что периоды спокойных изображений над морем — наиболее удобное время для измерения зенитных расстояний или углов наклона. В продолжение этих периодов влияние рефракции стабильно и равно 0,15—0,19; его можно принимать за нормальное среднее значение. Установление этих периодов происходит на 1,5—2,0 часа позже, чем над сушей, а их продолжительность большая, чем над сушей.

В инверсионный период днем и особенно ночью значения рефракции по сравнению с нормальной увеличиваются примерно в 2 раза, они непостоянны, особенно при низких высотах лучей.

Для прибрежных трасс наблюдаются резкие колебания k от строительных зданий в близкоподулденное время до преувеличенных в 2—3 раза в ночной время, что характерно для изменений k над сушей.

Список литературы: 1. Хижак Л. С., Маслич Д. И. Исследование годового хода коэффициента рефракции. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1967, вып. 6, 2. Маслич Д. И., Хижак Л. С., Тлустик Б. Т. и др. Исследование закономерностей изменения коэффициента рефракции в зимний период. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1968, вып. 7, 3. Маслич Д. И. Некоторые общие закономерности влияния вертикальной рефракции на точность геодезического нивелирования. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1969, вып. 9, 4. Маслич Д. И., Хижак Л. С. Исследование зависимости коэффициента рефракции от периода суток и высоты луна. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1969, вып. 10. 5. Маслич Д. И. Основные итоги исследования земной рефракции в горных условиях. — В кн.: 50 лет учреждения Вышнего геодезического управления. Львов, 1970. 6. Маслич Д. И. Определение рефракции при наблюдении высоких объектов в атмосфере. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1971, вып. 13.

Статья поступила в редакцию 31.12.83

УДК 528.088(21, 22, 23, 24)

С. И. МАТИЕК

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ПОГРЕШНОСТИ ЗАМЫКАНИЯ ГОРИЗОНТА

Частные изменения методов обработки результатов измерений, полученных способом круговых приемов, можно объяснить недостаточной изученностью характера погрешности замыкания горизонта (ПЗГ) [2, 3, 4, 8, 9]. Противоречивость выводов по исследованию характера ПЗГ обусловлена несовершенством применения многих методов исследований и возможными сдвигами основания (подставки) теодолита в процессе измерений. Систематические погрешности $-0,37''$ и $-0,03''$, полученные в [3, 4] как средние алгебраические суммы ПЗГ в приемах, характеризуют среднюю величину лишь остаточного совместного влияния погрешностей случайного и систематического (если таковые имеют место) характера в приемах по всему объекту. Однако этот показатель не может характеризовать реальные значения систематического сдвига в программах (приемах) на каждой конкретной станции. Так, если на каждой или отдельных станциях исследуемых объектов имели место систематические погрешности в замыканиях горизонтов, но при этом имело место равенство $[+\Delta] = [-\Delta]$, где Δ — ПЗГ в приемах, то по методике исследований, применяемой авторами [3, 4], эти погрешности не обнаруживаются, так как среднее их значение в данном случае будет равно нулю. Кроме того, использование средних абсолютных значений ПЗГ в приемах, которые в свою очередь получены как средние алгебраические значения из ПЗГ в полуприемах соответствующих приемов, тоже отражается на результатах исследований.

Существенным недостатком большинства применяющихся методов следует считать то, что в них ПЗГ во вторых полуприемах определялись как разности начальных и повторных отсчетов по начальному направлению $\Delta r' = R_1 - R_1'$, а не наоборот $\Delta r = R_1' - R_1$,

как требует теория погрешностей. Здесь R_1 и R_1' — соответственно начальный и замыкающий отсчеты по начальному направлению. Из изложенного следует, что вопрос о характере ПЗГ окончательно не изучен, а методы исследования его нуждаются в принципиальном совершенствовании. Предлагаем новую методику исследования этого вопроса.

Методика гипотетического исследования характера погрешности замыкания горизонта. Предварительно рассмотрим одно важное свойство абсолютных значений случайных равноточных величин, подчиняющихся нормальному закону распределения. С одной стороны, арифметическая середина абсолютных значений ПЗГ в полуприемах представляется выражением

$$\Delta_0 = [\Delta]/n, \quad (1)$$

где Δ — ПЗГ в полуприемах; n — число выполненных полуприемов. С другой стороны,

$$\Delta_0 = 0,80\sigma. \quad (2)$$

Здесь σ — среднее квадратическое отклонение результатов измерений. Таким образом,

$$[\Delta]/n = 0,80\sigma. \quad (3)$$

В теории погрешностей доказано, что при $n \geq 50 \dots 100$ значение σ стабилизируется и практически становится независимым от дальнейшего увеличения числа измерений. Значит, уже при ограниченном, но достаточном числе измерений

$$0,80\sigma \rightarrow \text{const}, \quad (4)$$

а следовательно, и

$$\Delta_0 \rightarrow \text{const}, \quad (5)$$

т. е. арифметическая середина абсолютных значений случайных равноточных величин, подчиняющихсяциальному закону распределения, уже при $n \geq 50 \dots 100$ стремится к некоторой постоянной величине

$$\Delta_0 \rightarrow 0,80\sigma, \quad (6)$$

характеризующей данные условия измерений.

Если результаты равноточных измерений разбить на группы по числу направлений в программах, то при числе измерений $n \geq 50 \dots 100$ имеем соотношение

$$\Delta_k = [\Delta]/n_k \rightarrow \text{const}, \quad (7)$$

где n — общее число полуприемов в группах с числом направлений k .

Предлагаемая методика исследования характера ПЗГ основана на проверке предполагаемых гипотез. Рассмотрим три возможных случая образования этой погрешности, напишем соотношения, которым они должны удовлетворять, и проверим их выполнение.