

Ошибки за влияние рефракции Δh носят систематический характер, а их значения и знак могут изменяться в зависимости от слоя, в котором выполняется нивелирование, удаления от края цеха и длины плеч. Так, в нижнем слое Δh положительны, если нивелирование выполняется от края цеха к его середине и отрицательны при нивелировании от середины цеха к противоположному краю.

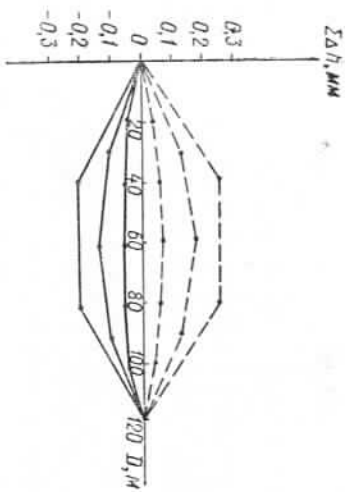


Рис. 3. Ошибки Δh , мм: — нижний слой; - - - верхний слой.

тем же знаком и достигнут максимальных значений Δh на середине цеха (рис. 3). В процессе дальнейшего нивелирования вдоль цеха будет происходить компенсация ошибок в значениях осадок, так как их накопление будет проходить с обратным знаком. Таким образом, по значениям невязок полигонов невозможно с высокой точностью определить качество осадок.

Указанные ошибки еще более увеличиваются, если при нивелировании нельзя соблюсти равенство плеч. Для расчета ошибки за рефракцию положим, что существует разность Δd в расстояниях от нивелира до задней d_3 и передней d_1 реек, т. е.

$$d_3 = d_1 + \Delta d. \quad (4)$$

С учетом (2) ошибку в превышении запишем

$$\Delta h = \text{град}_v n_3 \frac{d_3^2}{2} - \text{град}_v n_1 \frac{(d_1 + \Delta d)^2}{2}. \quad (5)$$

По (5) подсчитаны ожидаемые ошибки в превышениях в случае неравенства плеч. На рис. 4, как пример, представлены значения ошибок при удалении нивелира на 20 м от начала цеха.

Если задаваться определенными значениями ошибок Δh , то при нивелировании в верхнем слое допустимые неравенства плеч могут быть больше, чем в нижнем слое.

В зависимости от местоположения нивелира в цехе в каждом конкретном случае необходимо рассчитывать допустимые неравенства плеч.

Так, для нашего примера при длинах плеч 10 м и $\Delta h \leq 0,1$ мм, расстояния до задней и передней реек не должны отличаться более чем на 1,5—2,0 м в нижнем слое и 3—4 м — в верхнем. Таким образом, выполнения высокоточного геометрическое нивелирование в газотурбинных цехах, необходимо придерживаться изложенных выше рекомендаций. В случае невозможности выдерживать допустимые для заданной точности длины и неравенства

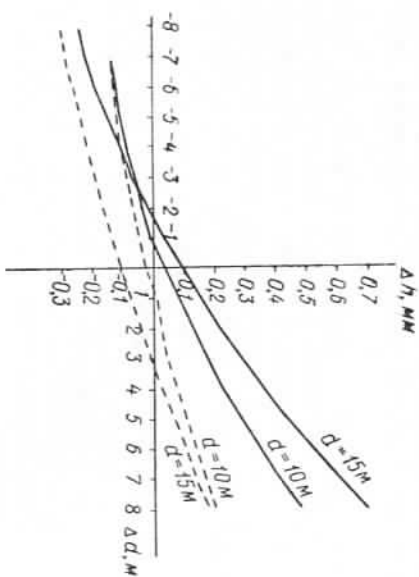


Рис. 4. Графики ошибок Δh , мм: — нижний слой; - - - верхний слой.

плеч, в измеренные превышения можно вводить поправки по (3) и (5), предварительно изменив знак на обратный.

Для вычисления градуса n_3 можно использовать (1), в которой с погрешностью не более $1 \cdot 10^{-7}$ величину A достаточно принять равной $8 \cdot 10^{-7}$.

Статья поступила в редакцию 08. 01. 83

Р. М. РУДЫН

К АНАЛИЗУ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

При наземной топографической съемке, как и при картографировании автоматическими методами, возникает вопрос о необходимости и достаточном количестве пикетных точек для полного отображения морфометрических и морфографических характеристик рельефа [1]. Количество пикетных точек зависит от контуров и рельефа местности, а при картографировании маглообжитых районов и шельфа определяется главным образом, характером рельефа.

Вполне очевидно, что густота высотных точек зависит от назначения и масштаба съемки, принятой высоты сечения и характера рельефа. В отличие от первых трех факторов особенности рельефа труднее выразить количественной характеристикой. Такой фактор, как расчлененность рельефа, представляет несомненный интерес особенно при разработке автоматических методов картографирования, когда нельзя визуальным путем оценить пересеченность местности и другие ее характеристики, а также при съемке рельефа, когда визуальный осмотр поверхности вообще затруднителен.

Привлечение методов спектрального анализа позволяет оценить степень расчлененности рельефа и классифицировать местность по типам в зависимости от степени пересеченности.

Пусть информация о рельефе местности представлена с помощью отсчетов, взятых в узлах квадратной сетки, т. е. функция

$$z = f(x, y) \quad (1)$$

определяется набором ее выборочных значений, взятых в дискретных точках плоскости xy . Если эти точки-пикеты взяты достаточно близко друг к другу, то выборочные данные хорошо представляют рельеф местности. Если же пикеты взяты с увеличенным интервалом, то отобразить с достаточной точностью картографическую местность сложно.

Вопрос об оптимальном интервале между пикетными точками может быть решен с использованием теоремы В. А. Котельникова. Применение данной теоремы позволяет установить соответствие между измененными рельефа и высокими пространственными частотами в его спектре. Если спектр рельефа не содержит высоких пространственных частот, то такой рельеф не имеет резких перепадов отметок и пикетные точки могут располагаться реже, если же спектру присущи высокие частоты, интервал между пикетами следует выбирать меньше. В [3] приведена методика вычисления оптимального интервала между пикетными точками профиля. Так как профилирование можно вести в различных направлениях, то для определения оптимального интервала между пикетными точками для отображения рельефа местности необходимо построить профили по всем возможным направлениям, что не совсем удобно. На наш взгляд, для решения поставленной задачи следует воспользоваться двумерной теорией выборки [2]. Используя двумерную теорию выборки, рельеф местности можно безошибочно воспроизвести, если пикетные точки располагать через интервалы

$$\Delta x_0 = \frac{1}{2f_{x_0}}; \quad \Delta y_0 = \frac{1}{2f_{y_0}}, \quad (2)$$

где $\Delta x_0, \Delta y_0$ — некоторые оптимальные интервалы вдоль осей x, y ; f_{x_0}, f_{y_0} — наивысшие частоты, присущие данному спектру.

Чем больше погоса частот, тем быстрее меняется рельеф и тем чаще должны располагаться пикетные точки. Если функция

которой выражен рельеф местности, имеет различную погосу частот в направлении осей x и y , то спектр $G(f_x, f_y) = 0$, если $f_x > f_{x_0}$ или $f_y > f_{y_0}$. В этом случае пикетные точки следует располагать по прямоугольной сетке через интервалы $1/2f_{x_0}$ и $1/2f_{y_0}$ в направлении осей x и y соответственно.

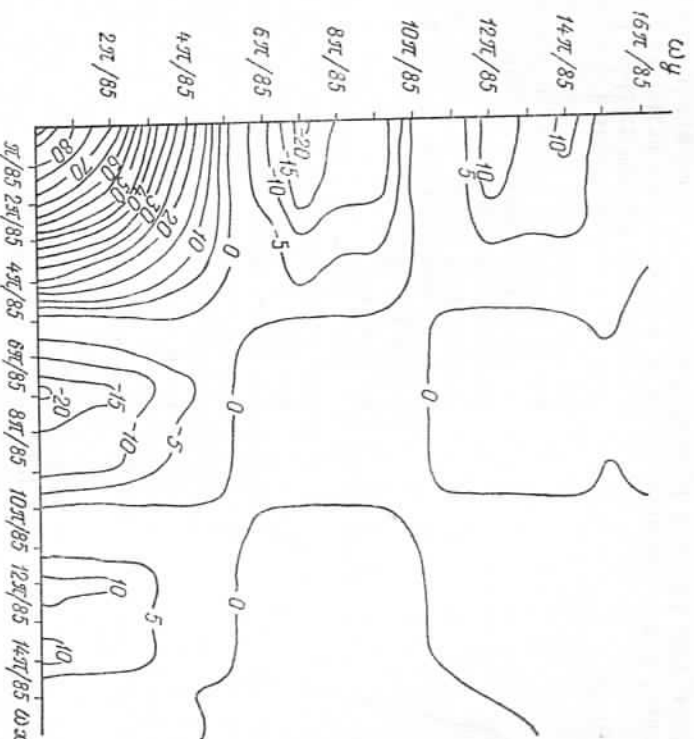


Рис. 1. Функция спектральной плотности, представленная с помощью изолиний.

Для аналоговой функции $z = f(x, y)$, заданной на бесконечной области, преобразование Фурье, создающее спектр Фурье $G(f_x, f_y)$, выразим следующим образом:

$$G(f_x, f_y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \exp[-j2\pi(f_x \cdot x + f_y \cdot y)] dx dy. \quad (3a)$$

Если рельеф представлен с помощью функции, заданной дискретно с конечными пределами, то преобразование Фурье, создающее спектр Фурье $G'(f_x, f_y)$, определяем следующим выражением:

$$G'(f_x, f_y) = \sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} f'(x, y) \exp\left[-j2\pi\left(\frac{x \cdot f_x}{N_1} + \frac{y \cdot f_y}{N_2}\right)\right]. \quad (3b)$$

В (3a) и (3b) $G'(f_x, f_y)$ — функция спектральной плотности; $f'(x, y)$ — функция, выражающая рельеф в дискретных точках

плоскости x, y ; x, y — плоские координаты точек; $0 \leq x \leq N_1$; $0 \leq y \leq N_2$; f_x, f_y — частоты в направлении осей x и y соответственно. Как показано в [2], условия существования пары преобразованных Фурье при использовании цифровых методов затруднены не вызывают.

В качестве примера по (3а) посчитана функция спектральной плотности для участка рельефа, который представляет собой квадрат в перекрестиях сетки квадратов со стороной десятых метров [4]. Таблица образом, функция (1) представляется заданной на целочисленной сетке размером 17×17 перекрестий.

Для вычисления функции спектральной плотности составлена программа для ЭВМ ЕС 1022. Вычисления выполняли с двумя различными интервалами круговых частот ωx и ωy .

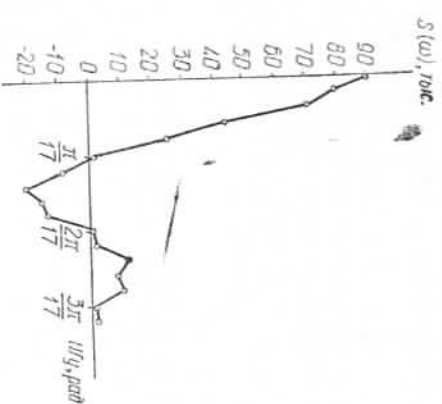


Рис. 2. Профиль функции спектральной плотности вдоль оси ωy при $\omega x = 0$.

Рис. 2. Профиль функции спектральной плотности вдоль оси ωy при $\omega x = 0$. Аналогичный профиль вдоль оси ωx отличается только на высоких частотах.

При вычислении $G'(f_x, f_y)$ для участка рельефа, смещенного вдоль оси x на девять перекрестий, значения спектра изменялись весьма незначительно. Это свидетельствует об однородности рельефа (см. [4] рис. 1).

Для вычисления оптимального интервала между пикетными точками самым трудным является выбор предельных частот f_{x0} и f_{y0} . По аналогии с вычислением предельного значения спектральной плотности для одномерного преобразования Фурье предельное значение спектра как объем параллелепипеда с основанием, стороны которого равны предельным значениям x и y анализируемого участка местности, а высота соответствует допустимой погрешности измерения высот местности.

В нашем примере площадь основания может быть принята 256 единиц, так как интервал (1) при вычислении $G'(f_x, f_y)$ задавался номером клетки, а не расстоянием между соседними точками на местности. При допустимой точности измерения высот

Значения спектральной плотности

ωy	0	$\pi/17$	$2\pi/17$	$3\pi/17$	$4\pi/17$	$5\pi/17$	$6\pi/17$	$7\pi/17$	$8\pi/17$	$9\pi/17$	$10\pi/17$	$11\pi/17$	$12\pi/17$	$13\pi/17$	$14\pi/17$	$15\pi/17$	$16\pi/17$	$17\pi/17$
0	91471	439	112	116	-7	29	30	13	7	1	8	8	5	3	0	7	1	1
$\pi/17$	265	-128	64	14	-16	-2	-6	-1	-9	2	-5	3	-2	2	-1	-1	-2	-2
$2\pi/17$	-9	9	20	14	-22	-8	5	-1	2	-4	1	-3	-3	-1	0	-1	-2	-2
$3\pi/17$	113	-59	-39	6	-6	1	11	0	-2	-1	-0	-2	3	-3	-1	-2	1	-1
$4\pi/17$	56	7	-21	4	3	-2	-15	0	-4	1	-2	-1	-2	1	3	2	-5	-5
$5\pi/17$	-83	-52	14	-7	12	6	-2	-1	-4	2	4	-5	-3	-0	2	0	-2	-5
$6\pi/17$	122	70	-48	-25	-3	-5	-9	-6	0	-2	0	-7	-1	5	0	-1	-3	-3
$7\pi/17$	-30	4	14	-2	-3	1	-5	0	-0	-2	-2	-3	-2	-3	-1	-0	-1	-0
$8\pi/17$	10	-25	10	8	4	0	2	2	-1	0	0	3	0	-1	-2	-0	-2	-2
$9\pi/17$	-10	19	8	-11	-6	1	-1	0	-2	1	-3	-1	-2	-1	-1	-1	-2	-2
$10\pi/17$	30	-7	-6	-0	2	-3	1	-1	-2	1	0	0	-3	-2	0	-1	3	3
$11\pi/17$	-29	1	6	5	-10	-3	-0	3	-0	-6	-1	2	1	-4	-5	-3	-3	-3
$12\pi/17$	16	14	4	-7	8	-6	-3	0	-5	1	-2	2	-4	0	-1	-1	-1	-1
$13\pi/17$	-3	26	-13	-6	-3	1	-3	-3	-2	0	-0	-3	1	-2	1	-1	-4	-4
$14\pi/17$	7	10	7	-7	-1	-4	-1	1	2	-3	-4	0	1	-4	0	-4	4	4
$15\pi/17$	-22	3	-15	9	1	3	-1	-2	-3	2	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-4	-4
$16\pi/17$	35	-1	11	15	7	-5	-5	-9	-6	7	-5	-1	-2	2	2	-1	-4	-4

0,1 м предельное значение спектра равно примерно 25 единиц. Такому значению спектральной плотности, как видно из рис. 1 и 2, соответствуют значения круговых частот $\pi/17$ рад/ан.

Так как между круговыми частотами ωx и ωy и частотами f_x и f_y существует зависимость

$$\omega x = 2\pi f_x x; \quad \omega y = 2\pi f_y y, \quad (4)$$

то оптимальные интервалы могут быть получены по формулам

$$\Delta x_0 = \frac{1}{\omega x_0}; \quad \Delta y_0 = \frac{1}{\omega y_0}. \quad (5)$$

В нашем примере $\Delta x_0 \approx \Delta y_0 = 5$ интервалов, то есть примерно 50 м на местности.

Кроме того, по характеру поверхности (см. рис. 1), изображающей функцию спектральной плотности, можно классифицировать типы рельефа. Местность со спокойным рельефом имеет спектр с острым пиком и малым интервалом частот. Местность сильно пересеченная имеет спектр более пологий со сравнительно большим частотным интервалом.

Для проведения указанных исследований необходимо изыскать количество пикетных точек, поэтому их следует выполнять только по информации для картографирования, полученной автоматически.

Список литературы: 1. Бойко А. В. Методы и средства автоматизации топографических съемок. — М.: Недра, 1980. 2. Дугда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. — М.: Мир, 1976. 3. Зайцев В. М., Маврова В. С.,

Чигирев А. А. Построение карт изолиний по стереомодели местности с помощью ЭВМ. — Геология и картография, 1973, № 4, 4. Рубин Р. М. Выделение структурных линий рельефа аналитическим методом. — Геология, картография и аэрофотоэлемента, 1983, № 39.

Статья поступила в редакцию 27.10.83

УДК 551.224

Н. Е. СЫВОТИН, В. С. СТАРОВОРОВ, П. М. ШЕВЧУК, А. Д. ВОИДАРЬ

О СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ ВДОЛЬ ТРАССЫ ТЕРНОПОЛЬ—КУРСК

С целью изучения вертикальных движений земной коры принятыми ГУГК в 1970—1971 гг. выполнено нивелирование I класса по линии Тернополь—Овруч—Бахмач—Курск протяженностью 1000 км. По указанной трассе ранее произведено трехкратное нивелирование для целей изучения направленности вертикальных движений земной поверхности во времени [2]. В настоящее время осуществляются уточнение предварительной карты скорости, составленной для территории западной половины европейской части СССР. При составлении карты скоростей учтены данные четвертого нивелирования по трассе Тернополь—Курск, которые не согласуются по скорости и направлению движения с данными ранее опубликованных работ [2], [3].

Первоначальное нивелирование вдоль всей трассы составлено суммарными превышениями нивелирований различных лет с 1886 по 1932 гг., которое характеризуется данными [3], приведенными в табл. 1.

Таблица 1
Качество первого и повторного нивелирования

Наименование участка нивелирования	Первое нивелирование		Повторное нивелирование	
	Год выполн.	Ср. кв. ошибка, мм	Год выполн.	Ср. кв. ошибка, мм
Тернополь—Шепетовка	1939	$\pm 0,48$	1946—1948	$\pm 1,41$
Шепетовка—Коропестень	1932	$\pm 0,08$		$\pm 0,23$
Коропестень—Нежин	1929	$\pm 1,55$		$\pm 1,41$
Нежин—Бахмач	1915	Данных нет		$\pm 0,23$
Бахмач—Ворожба	1921	$\pm 0,54$		$\pm 1,62$
Ворожба—Курск	1886	То же		$\pm 1,25$
	1913—1929			$\pm 0,05$
				$\pm 1,65$
				$\pm 0,12$

Из табл. 1 видно, что работы по первоначальному нивелированию на отдельных участках выполнены недостаточно качественно и в разное время. Повторное нивелирование хотя и относится

к II классу, но средние квадратические ошибки вызывают сомнения. На отдельных участках по первоначальному нивелированию вообще отсутствуют значения ошибок. Для изучения природы современных вертикальных движений земной коры первое нивелирование не следует принимать во внимание.

Третье (1954—1957 гг.) и четвертое (1970—1971 гг.) нивелирование I класса вдоль трассы Тернополь—Курск выполнено в соответствии с «Временным наставлением по нивелированию I класса» (1945 г.) и «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов» (1961 г.).

Так как создание высотной основы по трассе Тернополь—Курск предполагало цели практического и научного характера (исследование движений земной коры), то при нивелировании были применены реперсионные нивелиры Ni—004 и трехметровые рейки, односторонние, штриховые с инварными шкалами. Нивелирование выполнялось способом совмещения. Длина визирного луча не превышала 50 м. Переходными точками служили костыли.

Качество третьего (1954—1956) и четвертого (1970—1971) нивелирований оценивалось по разностям измеренных превышений в прямом и обратном направлениях. Случайные и систематические средние квадратические погрешности η и σ определялись по формулам [1]:

$$\tau_1^2 = \frac{1}{4n} \left[\frac{d_5^2}{r} \right], \quad \tau_{II}^2 = \frac{1}{4n} \left[\frac{d_6^2}{r} \right], \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{4|L|} \left[\frac{S^2}{L} \right]. \quad (2)$$

где n — число секций в ходе; r — длина секций; d_5 и d_6 — разности превышений двух нивелирований в секции; L — длина хода (участка); S — берется с графика, как разность ординат прямой, проведенной на графике симметрично относительно кривой однородного накопления разностей на соответствующем участке.

Среднюю квадратическую погрешность превышений из двух циклов определяли по формуле

$$m = \pm \sqrt{\tau_1^2 + \tau_{II}^2}. \quad (3)$$

Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что нивелирование I класса 1954—1956 и 1970—1971 гг. выполнены качественно и могут быть использованы для изучения вертикальных движений земной коры.

Уравнивание скоростей вертикальных движений выполнено на ЭВМ ЕС 1022 с выдчей на печать уравниваемого значения скорости, которая не превышала 1 мм/г на 100 км. Были вычислены вертикальных движений и ее средней квадратической погрешности, которая не превышала 1 мм/г на 100 км. Были вычислены скорости для временных интервалов 1948—1956, 1956—1971 и 1948—1971 гг., по которым построены кривые I, II и III соответственно.