

Т. В. РАДЬО

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НИВЕЛИРНЫХ ЗНАКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В основу методики, изложенной в работе [2], положен математический аппарат дисперсионного анализа, который используется в теории и практике геодезических измерений. При этом: 1) урavnенные значения скорости современных вертикальных движений земной коры (ССВДЗК) последовательно распределяют на группы по типам инженерных сооружений с высотными знаками (ИСсВЗ); 2) для определения составляющих ССВДЗК используют принцип линейного интерполирования скорости по типам ИСсВЗ.

По этой методике проведены исследования устойчивости нивелирных знаков, используемых при изучении динамики земной коры в горных районах Карпат и Кавказа. В качестве исходных данных использованы материалы ССВДЗК (7790,2 км линий нивелирования, 468 знаков), опубликованные ЦНИИГАиК, а также Западным научным центром АН УССР. При этом (согласно условию 4 [2]) из обработки исключено пять нивелирных знаков, а именно: один грунтовый репер, по одному реперу, заложенному в железнодорожный вокзал, устой железнодорожного моста, водоемное здание и здание железнодорожного разъезда.

В ходе исследований установлено, что составляющие ССВДЗК для всех ИСсВЗ вызваны: а) факторами нетектонического характера: $\pm 0,19$ мм/год $< \Delta V_n' < \pm 0,72$ мм/год; б) погрешностями нивелирования: $\Delta V_r^0 = \pm 0,23$ мм/год; в) подвижками реперов: $\pm 0,10$ мм/год $< \Delta V_n^* < \pm 0,68$ мм/год. Средние из составляющих на данной территории (табл. 1) вызваны факторами нетектонического характера $\Delta V' = \pm 0,48$ мм/год и подвижками реперов $\Delta V^* = \pm 0,38$ мм/год.

Определения параметров ССВДЗК основаны на предположении, что распределение случайных погрешностей измерений является нормальным. Обычно для проверки нормальности распределения случайных измерений используют критерий χ^2 . Но, учитывая его приближенный характер, в особенности с уменьшением числа наблюдений, а также некоторую произвольность в группировке их, для проверки нормальности распределения случайных погрешностей измерений используем критерий А. Н. Колмогорова. С этой целью выполнен анализ флюктуаций δ [2] по типам ИСсВЗ для равнинных и горных районов исследуемой территории. Как видно из табл. 2, нет оснований для отклонения гипотезы нормального распределения.

Результаты исследования устойчивости ИССВЗ в горных районах Карпат и Кавказа

$t_r = 18,3$ года

$m_{h_r} = \pm 1,34$ мм/км

$\Delta V_r^0 = \pm 0,23$ мм/год

Характеристики	Железнодорожные вокзалы	Железнодорожные казармы	Железнодорожные будки	Водоёмные здания	Реперы с локальной основой	Устой железнодорожных мостов	Жилые дома	Железнодорожные здания разъездов	Здания культуры
$\Delta V'_{n\phi}$	$\pm 0,59$	$\pm 0,56$	$\pm 0,55$	$\pm 0,72$	$\pm 0,40$	$\pm 0,68$	$\pm 0,34$	$\pm 0,42$	$\pm 0,19$
$\Delta V'_{n\sigma\tau\phi}$	$\pm 0,48$	$\pm 0,56$	$\pm 0,55$	$\pm 0,26$	$\pm 0,36$	$\pm 0,57$	$\pm 0,34$	$\pm 0,35$	$\pm 0,19$
$\Delta V'_\phi$			$\pm 0,52$						
$\Delta V'_{\sigma\tau\phi}$			$\pm 0,43$						
$\Delta V'_{\sigma\phi}$	$+0,086$	$-0,018$	$+0,105$	$-0,192$	$+0,034$	$-0,036$	$-0,128$	$-0,128$	$-0,015$
$\Delta V'_{\sigma\sigma\tau\phi}$	$+0,059$	$-0,018$	$+0,105$	$-0,082$	$+0,011$	$-0,009$	$-0,128$	$-0,093$	$-0,015$
$\Delta V'_{\eta\phi}$	$\pm 0,58$	$\pm 0,56$	$\pm 0,52$	$\pm 0,69$	$\pm 0,40$	$\pm 0,67$	$\pm 0,29$	$\pm 0,39$	$\pm 0,18$
$\Delta V'_{\eta\sigma\tau\phi}$	$\pm 0,47$	$\pm 0,56$	$\pm 0,52$	$\pm 0,25$	$\pm 0,40$	$\pm 0,57$	$\pm 0,29$	$\pm 0,34$	$\pm 0,18$
$\Delta V''_\phi$	$\pm 0,54 \pm 0,03$	$\pm 0,51 \pm 0,13$	$\pm 0,51 \pm 0,13$	$\pm 0,68 \pm 0,23$	$\pm 0,35 \pm 0,07$	$\pm 0,59 \pm 0,16$	$\pm 0,24 \pm 0,07$	$\pm 0,34 \pm 0,10$	$\pm 0,10 \pm 0,02$
$\Delta V''_{\sigma\tau\phi}$	$\pm 0,41 \pm 0,02$	$\pm 0,51 \pm 0,13$	$\pm 0,51 \pm 0,13$	$\pm 0,10 \pm 0,03$	$\pm 0,28 \pm 0,05$	$\pm 0,51 \pm 0,15$	$\pm 0,24 \pm 0,07$	$\pm 0,26 \pm 0,07$	$\pm 0,10 \pm 0,02$
$s_n \cdot k$	137	43	46	30	72	38	34	31	33

Сравнивая результаты исследований ССВДЗК в равнинных [2] и горных (табл. 1) районах, видим, что факторы нектонического характера, способствующие вертикальным перемещениям ИСсВЗ, оказывают практически одинаковое влияние.

Таблица 2

Проверка нормальности распределения случайных погрешностей измерений по А. Н. Колмогорову
 $\lambda_p = 1,36$

Наименование исследуемых типов ИСсВЗ	Количество знаков $S_n \cdot k$	$\Delta_{\max} \sqrt{S_n \cdot k}$	$\frac{\Delta_{\max}}{\sqrt{S_n \cdot k - \lambda_p}}$
Железнодорожные вокзалы	314	1,11	-0,25
Железнодорожные казармы	196	1,22	-0,14
Железнодорожные будки	211	1,20	-0,16
Устои железнодорожных мостов	126	0,68	-0,68
Водоемные здания	94	0,81	-0,55
Здания железнодорожных развязок	41	0,84	-0,52
Жилые дома	99	1,19	-0,17
Реперы с локальной основой	118	0,91	-0,45
Железнодорожные водопропускные трубы	41	0,65	-0,71
Здания культа	33	0,81	-0,55

Как установлено [2], ССВДЗК могут достигать (вне сейсмоактивных зон) от ± 7 до ± 10 мм/год. Исследования ([2] и табл. 1) показывают, что скорости подвижек реперов и марок на данной территории в среднем составляют от $\pm 0,1$ до $\pm 0,8$ мм/год.

Известно [1], что между подвижками реперов и временем существует линейная зависимость. Таким образом, полученные данные скорости подвижек реперов ΔV_n^* (табл. 3) дают возможность оценить средние изменения высотных отметок нивелирных знаков на данной территории на необходимую эпоху T , по формуле

$$\Delta h_{T_n} = (V_n' \pm \Delta V_n^*) (T - T_0), \quad (1)$$

где Δh_{T_n} — поправка в высотную отметку нивелирного знака соответствующего типа ИСсВЗ на эпоху T ; T — эпоха повторного нивелирования данного знака линии; V_n' — ССВДЗК, которая определена по n -му типу ИСсВЗ.

Высотные отметки нивелирных знаков, заложенных в исследуемые типы ИСсВЗ, можно оценить по формуле

$$H_{T_n} = H_{T_0_n} + (T - T_0) (V_n' \pm \Delta V_n^*) + m_h \sqrt{L_n}, \quad (2)$$

где H_{T_n} , $H_{T_0_n}$ — высотные отметки нивелирных знаков, заложенных в соответствующие типы ИСсВЗ на эпохи T и T_0 ;

m_n — погрешности нивелирования на 1 км хода; L_n — расстояния от начала линии нивелирования до соответствующих типов ИССВЗ.

Таблица 3

Средние скорости подвижек ИССВЗ на территории европейской части СССР

Название типов ИССВЗ	ΔV_{ϕ}^*	$\Delta V_{отб}^*$	Возможные смещения $3\Delta V_{.мм/год}^*$	Категории устойчивости
Железнодорожные водопропускные трубы	$\pm 0,81 \pm 0,19$	$\pm 0,52 \pm 0,12$	$\pm 1,5$ и более	III
Устой железнодородных мостов	$\pm 0,53 \pm 0,06$	$\pm 0,38 \pm 0,04$		
Железнодорожные казармы	$+ 0,50 \pm 0,04$	$\pm 0,45 \pm 0,03$		
„ будки	$+ 0,46 \pm 0,03$	$\pm 0,42 \pm 0,03$		
„ вокзалы	$+ 0,43 \pm 0,02$	$\pm 0,36 \pm 0,02$		
Здания железнодородных развяздов	$\pm 0,34 \pm 0,10$	$\pm 0,26 \pm 0,07$	$\pm 1,0$	II
Жилые дома	$\pm 0,35 \pm 0,07$	$\pm 0,33 \pm 0,07$		
Реперы с локальной основой	$\pm 0,33 \pm 0,05$	$\pm 0,30 \pm 0,05$		
Водоемные здания	$\pm 0,30 \pm 0,05$	$\pm 0,10 \pm 0,02$	$\pm 0,5$	I

Пусть необходимо привязать нивелирный ход в мае 1975 г. к реперу (заложеному в водопропускную железнодородную трубу), для которого в результате повторного высокоточного нивелирования в мае 1965 г. определена ССВДЗК V_n' , то есть, например, дано:

$H_{T_0n} = 100,000$ м; T_0 — май 1965 г.; n — водопропускная железнодородная труба; $V_n' = +10,0$ мм/год; $m_n = \pm 1$ мм/км и $L_n = 9$ км. Для данного типа ИССВЗ (табл. 3) $\Delta V_n^* = \pm 0,81 \pm 0,19$ мм/год.

Тогда по формуле (1) найдем, что $+91,9 \pm 1,9$ мм $< \Delta h_{T_n} < 108,1 \pm 1,9$ мм; а $m_n \cdot \sqrt{L_n} = \pm 3$ мм.

Подставляя вычисленные значения в выражение (2), получим, что высотная отметка исходного репера H_{T_n} на май 1975 г. будет находиться в пределах $100,092$ м $\pm 3,5$ мм $< H_{T_n} < 100,108$ м $\pm 3,5$ мм. На основании этих результатов (табл. 3) можно выделить (с точки зрения устойчивости) три основные категории исследуемых ИССВЗ. Инженерные сооружения первой категории могут изменять отметки нивелирных знаков под влиянием факторов нетектонического характера до $\pm 0,5$ мм/год; второй — до $\pm 1,0$ мм/год и третьей — до $\pm 1,5$ мм/год. При этом к первой категории, то есть к наиболее устойчивым инженерным сооружениям, следует отнести водоемные здания (табл. 3).

Инженерные сооружения, прилегающие к железным дорогам (табл. 3), имеют максимальные вертикальные перемещения (третья категория) в равнинных и горных районах исследуемой территории. Следовательно, для закладки нивелирных знаков в горных районах данной территории целесообразно использовать инженерные сооружения и места, удаленные от железных дорог.

Для повышения точности нивелирования нужно учитывать изменения отметок исходных реперов и марок на соответствующую эпоху геодезических работ по формуле (2).

Факторы нетектонического характера, которые способствуют возникновению погрешностей в ССВДЗК и подвижкам реперов, имеют общие закономерности влияния в равнинных и горных районах исследуемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крюков Ю. А. Об устойчивости государственной сети. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1972, № 5, с. 3—7.
2. Павлив П. В., Радьо Т. В. Исследование устойчивости нивелирных знаков, используемых при изучении вертикальных движений земной коры геодезическим методом. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1974, № 20, с. 71—78.

Работа поступила в редколлегию 30 мая 1975 года. Рекомендована кафедрой инженерной геодезии и таксации леса Львовского лесотехнического института.