

З. Ф. ПАТОВА

## ПРИМЕНЕНИЕ НИВЕЛИРОВ KONI-007 ДЛЯ НИВЕЛИРОВАНИЯ I КЛАССА

Высокоточное нивелирование в основном производится прецизионными нивелирами с плоскопараллельными пластинками перед объективами труб с увеличением 40—50× и цилиндрическими уровнями с ценой деления от 4" до 10" на 2 мм, но за последние 20 лет многие оптико-механические фирмы и предприятия мира создали новые типы нивелиров, характерной чертой которых является отсутствие цилиндрического уровня.

Приведение визирной оси в горизонтальное положение в таких нивелирах осуществляется автоматически с помощью специальных устройств, называемых компенсаторами.

Один из таких нивелиров, Koni-007 народного предприятия «Карл Цейсс» в Иене, и явился предметом нашего исследования.

Описание устройства, принцип работы компенсатора, оптические и механические данные этого нивелира имеются во многих публикациях [1, 3, 4, 5 и 6], поэтому мы на них не останавливаемся. Опубликованы также работы по исследованию и применению этого прибора для нивелирования разной точности [1, 2, 3, 7 и 8], но у нас в СССР он был исследован только в рамках использования для нивелирования II, III и IV класса, хотя заслуживает, на наш взгляд, большего внимания. Недооценке нивелира способствовал сам завод-изготовитель, указывая в своих проспектах, что Koni-007 предназначается для точного (соответствует нашему II классу) и инженерного нивелирования, хотя на самом деле, судя по материалам его исследования в Канаде, Венгрии и ГДР, он имеет более широкие возможности.

Лабораторные и полевые исследования ЦНИИГАиК и Московского института инженеров землеустройства [3, 1] показали достоинства и некоторые недостатки нивелира Koni-007.

К достоинствам относятся хорошие оптические и механические качества инструмента, малая чувствительность к температурным воздействиям, легко достижимая точность при нивелировании III класса даже без соблюдения равенства длин плеч и тщательной установки круглого уровня. Особо во всех исследованиях отмечается повышение производительности труда на 15—25% по сравнению с уровенными нивелирами.

Недостатками нивелира являются: 1) малое увеличение трубы (30—32×), что ведет к неуверенности при отсчитывании по штриховым рейкам на расстоянии более 75 м; 2) вибрация изображения в поле зрения трубы при ветре более 5 м/сек и при работе вблизи интенсивного движения транспорта.

В ГДР нивелир Koni-007 исследовался многократно, особенно детально и разносторонне [7].

Краткие выводы из этих исследований показывают, что при работе с Koni-007 (и другими авторедукционными нивелирами) необходимо:

а) соблюдать равенство плеч в пределах 1 м; б) избегать переюстировки нивелира во время работы, особенно между прямым и обратным ходом секций; в) делать установку круглого уровня на станциях при ориентировании объектива на одну и ту же рейку; г) при работе в солнечную погоду применять зонт.

В 1966 г. при повторном нивелировании Крымского геофизического полигона, которое выполнялось кафедрой геодезии Львовского политехнического института, наряду с нивелирами Ni-004 были использованы нивелиры Копi-007.

При подготовке к работе, кроме исследований, требуемых «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV кл.» издания 1963 г., все нивелиры были подвергнуты испытаниям на их чувствительность к тепловым воздействиям, а нивелиры Копi-007 — еще и к действию вибрационных источников.

Исследование тепловых воздействий проводилось в лаборатории по методике ЦНИИГАиК. Полученные результаты позволяют сделать такой вывод:

При одностороннем тепловом воздействии на разные части нивелира Копi-007 изменению температуры на  $1^{\circ}\text{C}$  соответствует изменение положения визирной оси в пределах  $0'',1-0'',4$ , в то время как для нивелира НА-1 изменение угла  $i$  по той же причине колеблется в пределах  $1'',0-3'',8$ , а для Ni-004 — в пределах  $0'',6-3'',4$ . Самой сильно реагирующей на тепло частью нивелиров являются уровни. Их основным элементом является легкая летучая жидкость и ее пар, заключенные в тонкостенную стеклянную ампулу, которая в свою очередь оправлена в соприкасающийся с ней металлический кожух. Вся эта конструкция, находясь снаружи, подвергается не только влиянию тепла, но и прямым солнечным излучениям, в то время как в Копi-007 компенсатор из стекла и металла, располагаясь примерно в середине перископической трубы диаметром 12—14 см, изолирован от внешней среды, кроме толстого металлического корпуса трубы, еще и воздушной прослойкой 5—6 см с боков и 15—10 см сверху и снизу; прямые солнечные излучения на него не падают. Если к тому же учесть, что обогреваемая и облучаемая площадь нивелиров Копi-007, благодаря вертикальности трубы, гораздо меньше, чем у нивелиров с уровнями, то хорошая термостатичность их становится очевидной.

Из источников вибрации исследовалось действие ветра и разных видов транспорта.

Для исследования действия ветра на горизонтальной площадке с луговой растительностью в 80 м друг от друга были заложены два грунтовых репера. Через 16 дней после закладки, при самых благоприятных условиях погоды нивелиром Ni-004, коротким лучом (20 м) с двух станций, многократно было измерено превышение  $h$  между реперами.

Половина измерений  $h$  была сделана в прямом направлении, а вторая половина — в обратном. Среднее из 240 превышений было принято за истинное  $h_{\text{ист}}$ .

Нивелиром Копi-007 в рабочие для нивелирования I класса промежутки времени, при любом состоянии погоды через 15 мин с чередованием прямого и обратного направлений измерялось превышение между теми же реперами. Из  $h_{\text{пр}}$  и  $h_{\text{обр}}$  выводились средние превышения  $h_{\text{ср}}$ , в которых ошибки «наклона горизонта» и неравенство высот нулей реек будут исключены.

Для каждого 15-минутного промежутка наблюдались скорость ветра и температура.

В периоды со скоростью ветра больше 4 м/сек сделано несколько серий измерений с применением простейших демпфирующих средств; наложения на штатив рук и подвешивания 20-килограммовой гири.

Для промежутков с одинаковой скоростью ветра и примерно с одинаковой температурой составлялись серии по 20  $h_{cp}$  и вычислялись их уклонения  $\Delta$  от  $h_{ист.}$

Средняя квадратическая ошибка измерения превышений в зависимости от скорости ветра  $V_{вет}$  и температуры  $t$  вычислена по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (\text{где } n \text{ — число } h_{cp} \text{ в серии, } m \text{ — в мм),}$$

и сведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение среднеквадратических ошибок определения превышений нивелиром Копи-007 в зависимости от скорости ветра и температуры

$V_{вет}$	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7
$t$							
10	$\pm 0,13$	$\pm 0,15$	$\pm 0,14$	$\pm 0,19$	$\pm 0,23$	$\pm 0,30$	$\pm 0,52$
15	0,14	0,13	0,16	0,16	0,25	0,27	0,48
20	0,09	0,14	0,14	0,20	0,24	0,31	0,46
25	0,12	0,16	0,17	0,21	0,27	0,38	0,44
Демпфирование наложением рук							
10					$\pm 0,18$	$\pm 0,21$	$\pm 0,32$
15					0,17	0,19	0,33
20					0,17	0,22	0,30
25					—	0,21	0,35
Демпфирование гирей							
10					$\pm 0,16$	$\pm 0,19$	$\pm 0,29$
15					0,15	0,18	0,26
20					0,17	0,18	0,28
25					—	0,20	0,30

Точность определения  $h$  нивелиром Копи-007, как видно из табл. 1, при скорости ветра до 4 м/сек изменяется очень мало и начинает сильно падать только при скорости ветра 4—7 м/сек.

Простое средство демпфирования — наложением рук на штатив — позволяет продолжить работу еще при скорости ветра до 6 м/сек.

Демпфирование гирей дает очень малый по сравнению с наложением рук эффект и затрудняет работу (перенос гири, усилия при подвешивании и снятии ее и т. д.), поэтому данный способ не рекомендуется.

Исследование влияния вибраций от различных видов транспорта велось двумя нивелирами Копи-007 N 139757 и N 139255 с постановкой первого из них на бровке шоссе с интенсивным движением, а второго — на расстоянии 30 м от шоссе.

Каждым нивелиром определялось одно и то же превышение между временными реперами в прямом и обратном направлении с фиксированием при этом видов проходящего транспорта и расстояний его прохождения от нивелира.

Вероятнейшее значение  $h_{вер}$  получено как среднее из  $h$ , определенных удаленным нивелиром. Были вычислены уклонения всех  $h$ , измеренных нивелиром на шоссе от  $h_{вер}$ . Систематических ошибок в результатах не обнаружено. Большие случайные ошибки, превосходящие среднеквадратическую ошибку определения превышения на одной станции, наблюдаются в случаях прохождения вблизи нивелира (ближе 10 м) тракторов, бульдозеров, конных подвод и тяжелых грузовых автомашин. Малые грузовые и легковые автомашины и даже троллейбусы на работу Копи-007 не влияют.

Уклонения превышений, измеренных нивелиром, находящимся вблизи проходящего транспорта, от вероятнейшего превышения  $\delta = h_i - h_{вер}$  даны в табл. 2.

В связи с испытанием годности Копі-007 для нивелирования I класса, двумя из них пронивелировано 85,3 км хода Крымского геофизического полигона.

Таблица 2

Уклонения превышений, измеренных нивелиром Копі=007  
N 139757, от вероятнейшего

Вид транспорта	Тяжелые грузовые автомашины	Конные подводы	Тракторы и бульдозеры
$\delta$ (Расстояния проходящего транспорта от нивелира 10—1 м)	от 0,16 до 0,40 м.м	от 0,25 до 0,72 м.м	от 0,30 до 0,98 м.м

Замкнутый Крымский полигон общей длиной около 180 км расположен в средней части горного Крыма.

Нивелирование полигона производилось по программе I класса одновременно четырьмя бригадами в период с 15. VI по 25. IX 1966 г. Так как одна автомашина обслуживала две бригады, то нивелирование велось небольшими участками: в горах — по 7—10 км, а в равнинной местности — по 10—25 км.

На участке каждой бригады, таким образом, было почти равное число одинаковых в рельефном отношении отрезков, и поэтому качество нивелирования участков в основном зависит только от применяемых инструментов и личных ошибок наблюдателей. Последние были исследованы многократным определением превышения между двумя реперами одним инструментом, но каждым наблюдателем попеременно. Результаты наблюдений систематических ошибок не содержат. Имеются лишь небольшие случайные уклонения в пределах точности работы на станции.

На рис. 1 дается схема деления полигона на участки (по бригадам).

Для установок реек использовались костыли разных размеров: для бровки железной дороги — 40 см, для асфальтированных и бетонированных участков шоссе — 12 см, для грунтовых дорог и земляных бровок шоссе — 25 см.

Привязки к маркам осуществлялись с помощью специальных 8-сантиметровых линейек с 5-миллиметровыми делениями. Температура измерялась на каждой станции психрометрическими термометрами.

По окончании работ произведена камеральная обработка материала: в превышения каждой станции введены поправки за разность температур при компарировании реек и нивелировании; в средние превышения каждой секции введены поправки за компарирование реек; уравнивание превышений в замкнутом полигоне произведено распределением невязки, равной 2,3 мм, пропорционально длинам секций.

Для сравнения качества работы нивелиров Ni-004 и Копі-007 все нивелирование на полигоне было разделено на четыре участка по инструментальному признаку.

Каждый участок оценивался отдельно. Были вычислены среднеквадратические ошибки на 1 км, случайные  $\eta$  и систематические  $\sigma$  для всех четырех участков и по всем шести разностям  $d$ .

При оценке применялись известные формулы Звонова—Ларина

$$\eta^2 = \frac{1}{4(n-N)} \left\{ \left[ \frac{d^2}{r} \right] - \left[ \frac{s^2}{L} \right] \right\}, \quad (1)$$

и Лаллемана

$$\sigma^2 = \frac{1}{4L} \left[ \frac{s^2}{L} \right], \quad (2)$$

где  $n$  — количество секций;  $r$  — длина секции;  $L$  — длина участка;  $s$  — систематические накопления разностей  $d$  по участку;  $N$  — количество участков.

За  $d$  в формулу (1) попеременно подставлялись следующие разности превышений:

$$\begin{aligned} d_1 &= (h_{\Pi} - h_{\text{л}})_{\text{пр.}}, & d_4 &= (h_{\text{пр}} - h_{\text{обр.}})_{\text{л}}, \\ d_2 &= (h_{\Pi} - h_{\text{л}})_{\text{обр.}}, & d_5 &= (h_{\text{ср}} - h_{\text{ср.}})_{\text{обр.}}, \\ d_3 &= (h_{\text{пр}} - h_{\text{обр.}})_{\text{л.}}, & d_6 &= (h_{\text{ср}})_{\text{л}} - (h_{\text{ср.}})_{\text{л}}. \end{aligned}$$

где индексы  $\Pi$  и  $\text{л}$  — правая и левая нивелировка, а пр. и обр. — прямой и обратный ход.

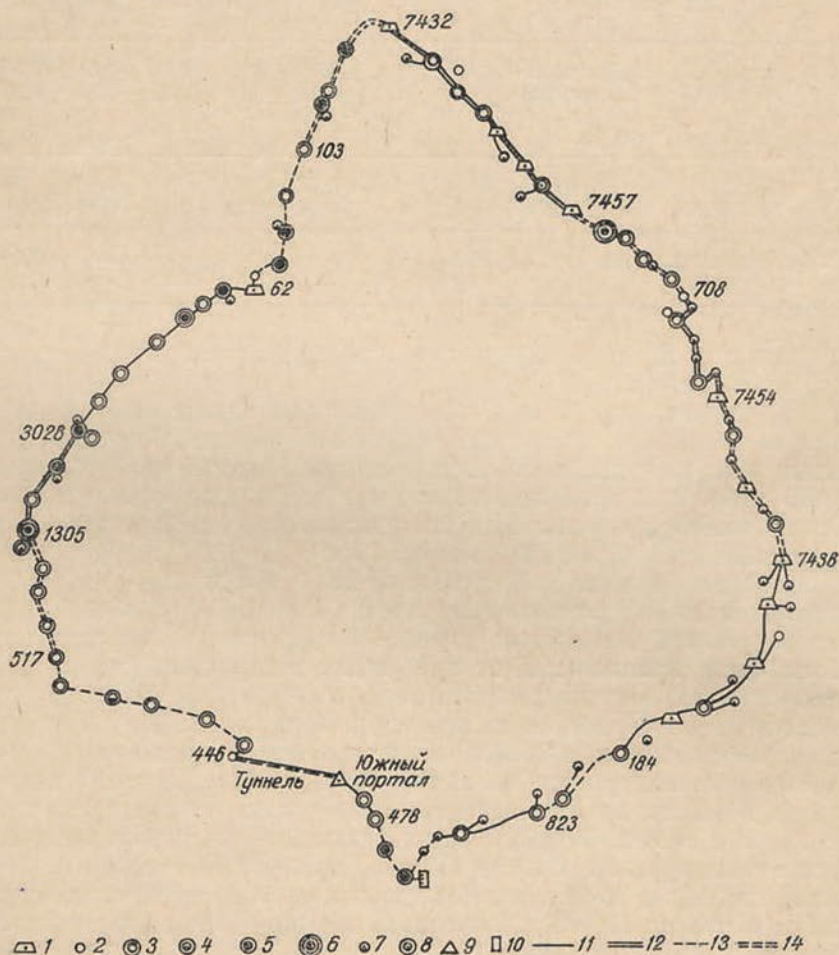


Рис. 1. Схема распределения полигона по участкам и бригадам.

1—8 — постоянные знаки нивелирования I класса; 9 — пункт триангуляции; 10 — футшок; 11 — I участок; 12 — II участок; 13 — III участок; 14 — IV участок.

В табл. 3 приведены полученные по участкам среднеквадратические ошибки  $\eta$  и  $\sigma$  на 1 км хода, в зависимости от применяемых инструментов.

Средние квадратические ошибки, вычисленные по  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  и  $d_5$ , характеризуют сравнительную точность промежуточных ходов (правого, левого, прямого, обратного), а средние квадратические ошибки,

Укомплектованность бригад инструментами и полученные  
среднеквадратические ошибки  $\eta$  и  $\sigma$  на 1 км хода  
по всем участкам и всем  $d$

№ участка и бригад	Нивелиры	Рейки	Длина уч-в	Ошибки	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$
I	Ni-004 № 113517	ЭОМЗ № 211—212	42,7	$\eta$	$\pm 0,38$	$\pm 0,38$	$\pm 0,65$	$\pm 0,70$	$\pm 0,60$	$\pm 0,28$
				$\sigma$	$\pm 0,05$	$\pm 0,06$	$\pm 0,08$	$\pm 0,02$	$\pm 0,09$	$\pm 0,00$
II	Ni-004 № 113526	Феннель № 517312— 517313	44,1	$\eta$	$\pm 0,76$	$\pm 0,40$	$\pm 1,08$	$\pm 0,95$	$\pm 0,91$	$\pm 0,41$
				$\sigma$	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$	$\pm 0,03$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$
III	Копи-007 № 139757	Цейсс одно- шкальные № 22559—60	43,8	$\eta$	$\pm 0,30$	$\pm 0,46$	$\pm 0,51$	$\pm 0,61$	$\pm 0,56$	$\pm 0,32$
				$\sigma$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,02$	$\pm 0,13$	$\pm 0,06$	$\pm 0,02$
IV	Копи-007 № 139255	ЭОМЗ № 215—216	41,5	$\eta$	$\pm 0,57$	$\pm 0,43$	$\pm 0,53$	$\pm 0,63$	$\pm 0,46$	$\pm 0,34$
				$\sigma$	$\pm 0,19$	$\pm 0,24$	$\pm 0,42$	$\pm 0,03$	$\pm 0,20$	$\pm 0,02$
Общее для полигона			172,1	$\eta$	—	—	—	—	$\pm 0,62$	$\pm 0,32$
				$\sigma$	—	—	—	—	$\pm 0,09$	$\pm 0,02$

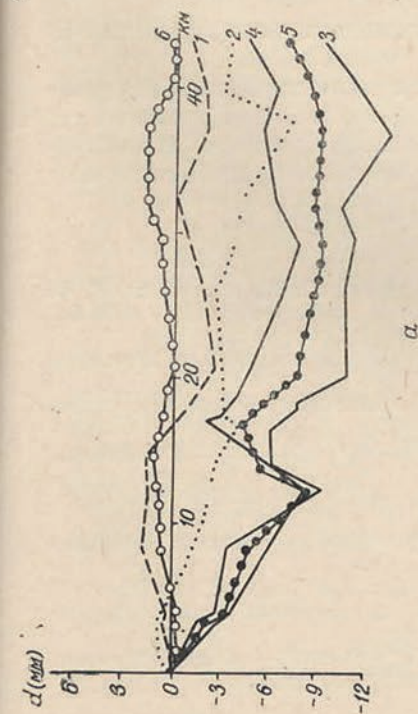
полученные по  $d_6$ , дают оценку точности окончательных средних из всех ходов превышений.

На графиках рис. 2 а, б в и г показаны накопления разностей  $d$ . Графики позволили наглядно представить порядок накоплений  $d$  на каждом участке и выделить из них систематические части ошибок.

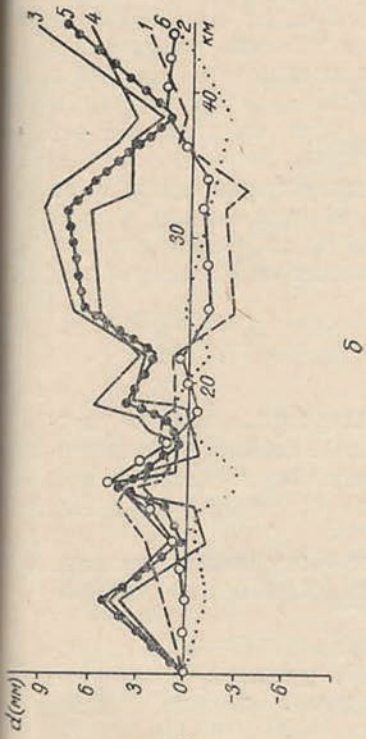
Из табл. 3 и графиков видно, что в промежуточных ходах всех участков имеются случайные и систематические ошибки, превышающие соответственно  $\pm 0,5$  мм и 0,05 мм на 1 км.

Особенно большие  $\eta$ , доходящие до 1 мм, и  $\sigma$  — до 0,1 мм — имеются в промежуточных ходах участка II (нивелир Ni 004 № 113526). Это объясняется тем, что на участке II утренние и вечерние периоды работы были продолжены от требуемых инструкцией на два часа с целью изучения тепловых воздействий и рефракции. Несмотря на это, в окончательных (средних из прямых и обратных ходов) превышениях участка II случайные и особенно систематические ошибки компенсировались довольно хорошо (см. оценку по  $d_6$ , табл. 3), даже с некоторым запасом точности по отношению к допустимым по инструкции. Но по сравнению с окончательными результатами, полученными на участке I другим нивелиром Ni-004 (№ 113517), при работе с которым периоды наблюдений точно соблюдались по инструкции, средние квадратические ошибки  $\eta$  и  $\sigma$  на II участке остались все же большими, особенно случайная ошибка  $\eta$ .

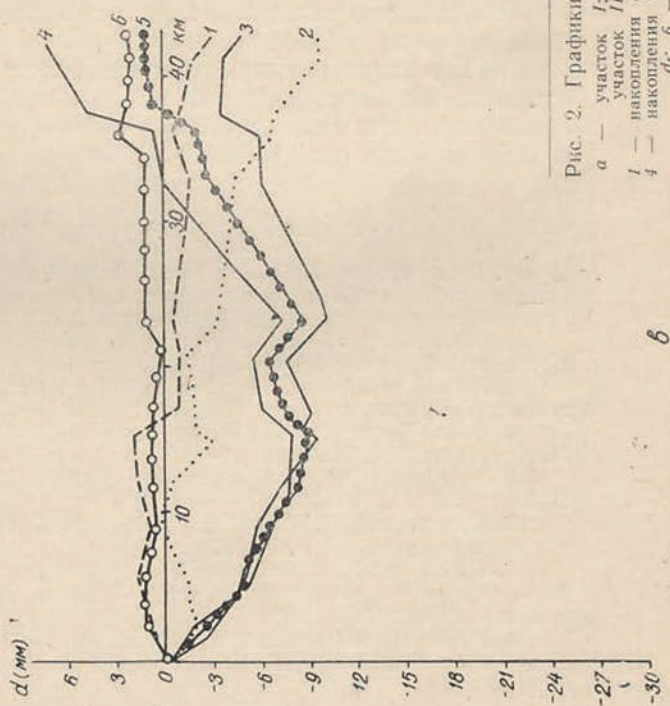
Большие систематические ошибки до 0,42 мм получились также в промежуточных ходах участка IV, проложенного нивелиром Копи-007 № 139255. Это тот же экземпляр, который исследовался в ЦНИИГАиК. Похоже, что по каким-то причинам в инструменте нарушена установка компенсатора и имеющаяся «подкомпенсация» не могла быть устранена полевым юстированием. Такое же положение, но в гораздо меньшей степени ( $\sigma$  до 0,13 мм) наблюдается и во втором совершенно новом нивелире Копи-007 № 139757. Следует, впрочем, отметить, что условие приведения круглого уровня при ориентировке объектива на каждой станции в направлении одной и той же рейки ни одним наблюдателем,



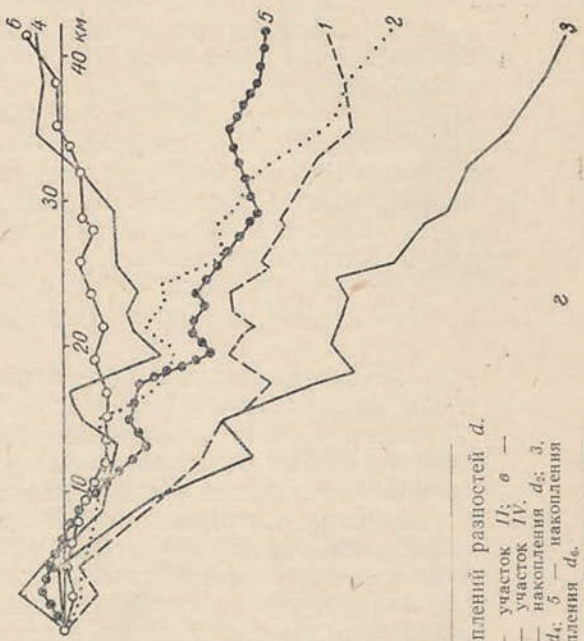
a



b



b



b

Рис. 2. Графики накоплений разностей  $d$ .  
 а — участок I; б — участок II; в — участок III; г — участок IV —  
 1 — накопления  $d_1$ ; 2 — накопления  $d_2$ ; 3, 4 — накопления  $d_3$  и  $d_4$ ; 5 — накопления  $d_5$ ; 6 — накопления  $d_6$ .

работавшим с Koni-007, не выполнялось. Установка уровня производилась произвольно и тем не менее в конечных средних из прямых и обратных ходов превышений «наклон горизонта» компенсировался очень хорошо. Среднеквадратические ошибки  $\eta$ , вычисленные по  $d_6$ , были такими же или даже ниже, чем на участках, где применялись нивелиры Ni-004. Правда,  $\sigma$  остались, хотя и малыми (0,02 мм), но все же большими, чем в Ni-004, где они были близки к нулю. Хочется отметить еще одно достоинство нивелиров Koni-007 — их малую чувствительность к переноскам и перевозкам. Специальные исследования, правда, в этом направлении не проводились, но, судя по хорошей сохранности юстировки обоих нивелиров в течение четырехмесячного периода работы, такой вывод напрашивается.

### Выводы

1. Нивелиры Koni-007 по точности конечных результатов не уступают нивелирам Ni-004 и вполне могут быть использованы для нивелирования I класса. Соблюдение правила их установки на станции при ориентировании объектива в направлении одной и той же рейки еще более повышает окончательные результаты.

2. Малое увеличение трубы Koni-007 может быть компенсировано применением инварных одношкальных реек типа Цейсс с делениями 5 мм или сокращением длины плеч до 40 м.

3. В горных условиях, где длины плеч невелики (10—30 м), особенно выгодно использовать нивелиры Koni-007, даже в комплекте с обычными двухшкальными инварными штриховыми рейками с делениями 1 мм.

4. Производительность труда с применением нивелиров Koni-007 повышается на 30%.

5. Благодаря хорошей термостатичности нивелиров Koni-007, утренние и вечерние периоды работы можно продлить на 1—1,5 часа, если восходящие токи не дают сильно колеблющихся изображений. В пасмурную прохладную погоду можно работать целый день, не применяя зонт.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Батраков Ю. Г., Любарц В. П., Коваленко А. Н., Ромейко Д. Ф. Полевые исследования и опыт применения в производстве нивелиров Koni-007 и Ni-B3. Известия вузов. «Геод. и аэрофотосъемка», № 3, 1965.

2. Мещерский И. Н. Некоторые источники ошибок при работе нивелиром Ni-2 с компенсатором. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 147, М., 1962.

3. Мещерский И. Н. Исследование нивелира Koni-007. «Геодезия и картография», № 5, 1964.

4. Оглоблин Д. Н. и Рейзенкинд Н. Я. Новые маркшейдерские приборы, Госгортехиздат, М., 1961.

5. Schmidt V. Das Kompensator—Nivellier Koni-007. «Vermess. Inform.», № 12, 1960.

6. Deumlich F. Zum Stand der Entwicklung selbsthorizontierender Nivelliere. «Z. Vermessungstechnik», № 7, 1961.

7. Neubert K., Wermann W. Erprobung der Funktionstüchtigkeit des Koni 007 durch Untersuchungen im Markscheide — Institut und im praktischen Einsatz. «Z. Vermessungstechnik», № 3, 1962.

8. Rabe G. Untersuchungsmessungen mit dem Kompensator — nivellierinstrument Koni 007 des VFB Carl Zeiss Iena. «Z. Vermessungstechnik», № 9, 1963.