

В. С. КЛОЧКО, Р. П. ПРОСКУРНЯК

ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИОННОГО ФАКТОРА НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРНЫМ ПЛАНИМЕТРОМ ПП-2К

Площадь фигуры на чертеже измеряется различными способами, но наиболее распространенным из них является механический, основанный на применении полярного планиметра, с изобретением которого в истории измерения площади на карте наступил новый период [1]. Вот почему вопрос определения точности измерения площади полярным планиметром привлекает внимание исследователей как в нашей стране, так и за рубежом.

Исследование точности любого прибора, в том числе и планиметра, имеет двойное значение: во-первых, дает возможность установить характер ошибок измерения и закон распределения их вероятностей, определить допуски, необходимые для контроля, и рациональную методику измерений; во-вторых, в процессе исследования приобретает дополнительную информацию, позволяющую производить дальнейшее совершенствование прибора. Настоящие исследования преследуют, главным образом, вторую цель.

Точность измерения планиметром, как известно [1, 3], зависит от многих факторов, из которых главными являются следующие: ошибка совмещения обводной точки с исходной; ошибка отсчета по верньеру, а также ошибки эксцентриситета и делений счетного барабана; разность между реальной и номинальной точностью верньера; механическая ошибка и ошибка обвода; ошибка определения цены деления планиметра; длина обводного рычага; конструктивные особенности планиметров, а также индивидуальные особенности планиметров одного и того же типа; шероховатость основы чертежа; форма, размер и периметр измеряемого контура; положение полюса и исходной точки; опыт и личные особенности наблюдателя и прочее.

Предметом настоящих исследований является еще один фактор, названный нами инерционным, который может оказывать влияние на точность измерения. Сущность его вытекает из анализа принципиальной схемы полярного планиметра. В случае однокареточного планиметра (рис. 1) при движении обводной точки A в направлении, перпендикулярном обводному рычагу, счетный ролик R_1 вращается, а опорный ролик R_0 скользит, следовательно, первый из них испытывает трение качения, а второй — трение скольжения. При движении обводной точки в направлении, параллельном обводному рычагу, эти же ролики испытывают противоположные трения, но в целом сумма трения качения и трения скольжения остается величиной постоянной. Таким образом, можно полагать, что в однокареточном планиметре при движении точки A вдоль измеряемого контура усилие, необходимое для преодоления

трения роликов, является практически постоянным. Что же касается двухкареточного планиметра (рис. 2), то здесь наблюдается другая картина. Здесь роль опорного ролика относительно основного счетного механизма играет ролик R_2 дополнительного механизма и наоборот. Так как оба эти ролика расположены параллельно между собой и перпендикулярно к обводному рычагу, то при перемещении обводной точки в направлении, перпендикулярном к обводному рычагу, оба ролика испытывают трение качения, а в параллельном направлении — трение

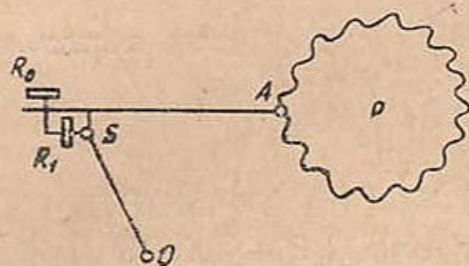


Рис. 1. Однокареточный планиметр.

R_1 , R_0 — счетный и опорный ролики; S — шарнир; A — обводная точка; O — полюс; P — площадь измеряемой фигуры.

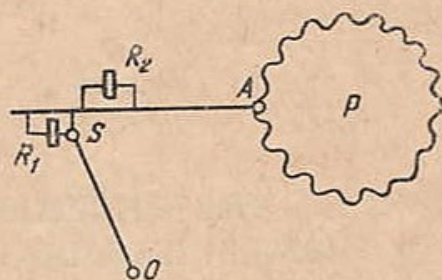


Рис. 2. Двухкареточный планиметр.

R_1 , R_2 — ролики основного и дополнительного счетного механизмов; S — шарнир; A — обводная точка; O — полюс; P — площадь измеряемой фигуры.

скольжения. Но так как трение качения практически ничтожно мало по сравнению с трением скольжения [6], то при перемещении обводной точки вдоль измеряемого контура в зависимости от направления усилие для преодоления трения роликов резко меняется в пределах от 0 до величины, равной удвоенному трению скольжения. Вследствие этого при движении точки A в направлении, перпендикулярном к обводному рычагу, планиметр заметным образом уводит руку наблюдателя, что не может не отразиться на величине ошибки обвода, а также на механической ошибке в связи с деформацией шарнира и положением полюса.

Для изучения инерционного фактора был поставлен специальный эксперимент, при котором соблюдался принцип исключения или ослабления влияния всех других факторов, кроме изучаемого. С этой целью в качестве измеряемого контура была принята фигура, образованная извилистой линией, проведенной вдоль дуги окружности (см. рис. 1). Таким путем периметр измеряемой фигуры был удлинен в два раза по сравнению с длиной равновеликой окружности, соответственно увеличена ошибка обвода и влияние инерционного фактора при минимальном влиянии ошибки, связанной с общей формой контура. Так как эксперимент производился по методу многократных измерений одной и той же фигуры различными планиметрами, были приняты меры для исключения некоторых ошибок, свойственных данному эксперименту. В частности, для исключения влияния привыкания наблюдателя к геометрическим особенностям измеряемого контура, последний был построен в десяти вариантах, равновеликих по площади, но различных в отношении микроразвилин. В процессе выполнения эксперимента каждый из этих вариантов измерялся одинаковое число раз: пять раз В. С. Ключко и семь раз — Р. П. Проскурняк.

Для исключения ошибок эксцентриситета и делений счетного барабана необходимо было принять цену деления планиметра равной $0,1 \text{ см}^2$, соответственно площадь измеряемого контура равной 10100 или 1000 см^2 . При этом условии начальный и конечный отсчеты должны были производиться вблизи одного и того же штриха барабана. Площадь в 1000 см^2 была исключена, так как ее невозможно измерить с

одной стоянки планиметра вне измеряемого контура. При площади в 10 см^2 суммарное влияние ошибок совмещения обводной точки и отсчета по верньеру равно сумме ошибок обвода и механической ошибке, что противоречит основному принципу эксперимента; при площади контура в 100 см^2 суммарное влияние двух последних ошибок примерно в два раза больше суммарного влияния двух первых [3], следовательно, исходя из принятого принципа, площадь измеряемого контура была определена равной 100 см^2 .

Влияние ошибки определения цены деления планиметра и относительной шероховатости бумаги исключалось автоматически, поскольку результаты измерения выражались только в делениях планиметра, а измеряемые фигуры были построены на одном и том же листе ватманской бумаги, наклеенной на чертежную доску.

Положение исходной точки соответствовало условию перпендикулярности обводного и полюсного рычагов. Для уменьшения влияния ошибки совмещения обводной точки с исходной, последняя была выполнена в виде кружочка, внешний и внутренний диаметры которого позволяли с высокой точностью располагать его концентрически между кружочком и точкой обводного стекла планиметра.

Положение полюса определялось, исходя из условия минимального отклонения угла между рычагами от 90° . Для удовлетворения условия независимости измерений каждое из них производилось при отдельном положении полюса со взятием начального и конечного отсчетов.

Для выяснения влияния личного фактора на инерционный фактор эксперимент выполнялся двумя различными наблюдателями по аналогичным программам. Кроме того, при экспериментальных исследованиях соблюдалось условие плавности и равномерности обвода, что же касается его скорости, то в процессе измерения можно было читать цифры на счетном барабане [5].

Измерения производились планиметром ПП-2К, исследование которого, выполненное ранее [2], доказало отсутствие в нем инструментального фактора. Исследуемый планиметр использовался последовательно при измерении каждой фигуры как двухкареточный и однокареточный. В последнем случае дополнительный счетный механизм удалялся, а вместо него к основному механизму (рис. 1) прикреплялся опорный ролик.

В результате выполнения программы эксперимента были вычислены дисперсии по формуле

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2, \quad (1)$$

где S^2 — дисперсия, соответствующая измерению данной фигуры;

n — число измерений;

f_i — измеренная площадь в делениях планиметра;

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i.$$

Для увеличения объема статистического материала из каждых двух смежных дисперсий была образована парная дисперсия $S_{n_1}^2$, а затем — аккумулятивная дисперсия \bar{S}^2 , полученная путем осреднения всех предыдущих парных дисперсий. Осреднение выполнялось по формуле

$$\bar{S}^2 = \frac{S_{n_1}^2 n_1 + S_{n_2}^2 n_2 + \dots + S_{n_k}^2 n_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}, \quad (2)$$

где $S_{n_1}^2 \dots S_{n_k}^2$ — парные дисперсии;

$n_1 \dots n_k$ — количество измерений, соответствующее парным дисперсиям.

Полученные данные сгруппированы в таблице.

Дисперсии двух- и однокареточного планиметров

Наблюдатель	Планиметры						F
	двухкареточный			однокареточный			
	S_{II}^2	\bar{S}_{II}^2	n_{II}	S_I^2	\bar{S}_I^2	n_I	
В. С. Клочко	2,10	—	10	0,60	—	10	3,50
	—	2,10	10	—	0,60	10	
	2,85	—	10	0,74	—	10	
	—	2,48	20	—	0,67	20	
	0,50	—	10	0,85	—	10	
	—	1,82	30	—	0,73	30	
	0,60	—	10	0,58	—	10	
	—	1,51	40	—	0,69	40	
Р. П. Проскурняк	0,40	—	10	1,20	—	10	2,19
	—	1,25	50	—	0,79	50	
	3,69	—	13	1,08	—	14	
	—	3,69	13	—	1,08	14	
	1,96	—	14	0,70	—	14	
	—	2,79	27	—	0,89	28	
	2,00	—	14	1,10	—	14	
	—	2,33	41	—	0,96	42	
	2,31	—	14	0,45	—	14	
	—	2,16	55	—	0,83	56	
1,67	—	14	0,64	—	14		
—	1,97	69	—	0,79	70		

В последней колонке таблицы приведены значения отношения дисперсий

$$F = \frac{\bar{S}_{II}^2}{\bar{S}_I^2},$$

полученных при измерении соответственно двухкареточным и однокареточным планиметрами.

Для изучения результатов исследования применен критерий Фишера, заключающийся в том, что неравенство дисперсий $\bar{S}_{II}^2 > \bar{S}_I^2$, полученных из наблюдений n_{II} и n_I , считается значимым, если отношение F превышает предельное значение F_{α} , выраженное в функции величин n_I , n_{II} и уровень значимости α . Так как при выполнении программы наблюдений соблюдалось равенство $n_I = n_{II}$, это позволило представить критерий Фишера в графическом виде (рис. 3), отличающемся значительно большей наглядностью.

Величины F , вычисленные по формуле (3), были нанесены на график (рис. 3) в виде отдельных экспериментальных точек, соответствующих аккумулятивным дисперсиям. Все эти точки расположились выше кривой уровня значимости, равного 0,05, за исключением одной, уровень значимости которой находится между 0,05 и 0,10. Максимальному значению величины F , равному у Клочко 3,70 и у Проскурняка 3,42, соответствует увеличение средней квадратической ошибки измерения планиметром ПП-2К по сравнению с ошибкой измерения однокареточным планиметром в $\sqrt{3,70}$ равное 1,92 и $\sqrt{3,42}$ равное 1,85 раза, то есть прак-

тически в два раза. При этом максимальные значения F у обоих наблюдателей соответствуют первым 10—20 измерениям, в дальнейшем же по мере увеличения объема измерений различие между соответствующими дисперсиями понижается, хотя и весьма неодинаково у разных наблюдателей, то есть здесь имеет место влияние личного фактора на изучаемый. Таким образом, полученные данные подтверждают высказанное предположение о влиянии инерционного фактора на точность измерения планиметром ПП-2К и это влияние является вполне ощутимым. Общеизвестно, что однократные измерения этим планиметром не обеспечивают контроля ошибок обвода. Кроме того, ранее выполненные исследования [2], показали неодинаковую точность работы основного и дополнительного счетных механизмов. Эти данные совместно с результатами, полученными в настоящих исследованиях, говорят о том, что конструкция полярного планиметра с несколькими счетными механизмами [4] в виде планиметра ПП-2К не является наилучшей и что вопрос о совершенствовании его по-прежнему остается актуальным.

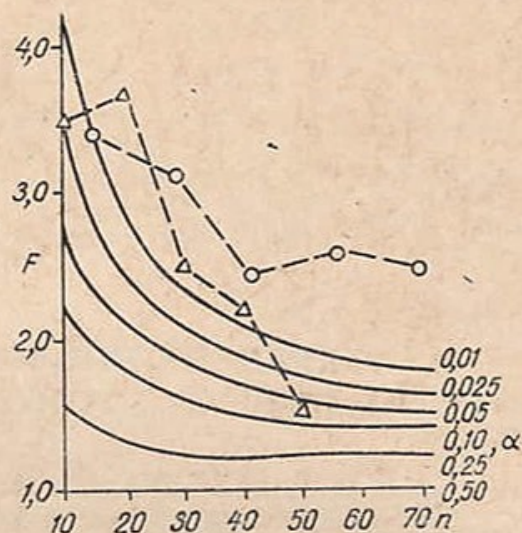


Рис. 3. График критерия Фишера. F — отношение дисперсий; n — число измерений; α — уровень значимости; Δ — экспериментальная точка (наблюдатель В. С. Клочко); \circ — экспериментальная точка (наблюдатель Р. П. Проскурняк).

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Н. М. Принципы и методы картометрии. Изд. АН СССР, М., 1950.
2. Клочко В. С., Червяк В. В., Канивец В. Д. Исследование механической ошибки полярного планиметра ПП-2К. «Геодезия, картография и аэросъемка», вып. 8, 1968.
3. Маслов А. В. Способы и точность определения площадей. Геодезиздат, М., 1955.
4. Некрасов Ф. Г. Полярный планиметр с несколькими счетными механизмами. «Геодезист», № 4, 1936.
5. Смирнов К. Планиметры заводов СССР. «Геодезист», № 4, 1929.
6. Физический энциклопедический словарь, т. V. Изд-во «Советская энциклопедия». М., 1966.

Работа поступила
3 июля 1968 года