

УДК 528.088.22:531.72

В. С. КЛОЧКО, В. В. ЧЕРВЯК, Г. Д. КАНИВЕЦ

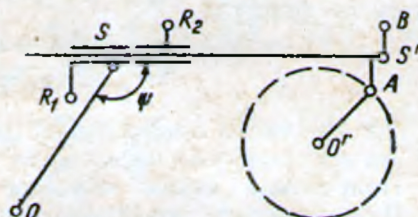
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ПОЛЯРНОГО ПЛАНИМЕТРА ПП-2к

На точность измерения площади планиметром влияют, как известно, ошибки отсчета верньера и совмещения обводной точки с исходной, ошибки обвода и определения цены деления планиметра, а также механическая ошибка, зависящая от фрикционных свойств прибора и шероховатости основы чертежа, то есть бумаги.

А. Н. Маслов [2], ссылаясь на исследования, проведенные Кеттером (1927 г.), Байером (1937 г.) и Н. А. Назаровым, делает вывод, что

Расположение элементов при измерении площади планиметром.

O, S — полюс и шарнир планиметра;
 R_1, R_2 — счетные ролики основного и дополнительного механизмов; O' — полюс контрольной линейки $O'A$; A — обводная точка; B — рукоятка; S' — шарнир рукоятки.



шероховатость различных сортов бумаги практически не влияет на точность измерения площади планиметром. Однако В. Г. Емельянов [1] отмечает, что при измерении планиметром на гладкой бумаге отдельные обводы некоторых планиметров иногда очень различаются (до 15—20 делений) при разности отсчетов, равной 1000 делений. Поскольку в данном вопросе еще нет полной ясности, мы поставили перед собой задачу — уточнить вопрос о механической ошибке и, в частности, вопрос о влиянии шероховатости бумаги на точность измерения планиметра ПП-2к применительно к трем сортам бумаги, используемой в инженерной практике, — ватману, кальке и аммиачке. В качестве объекта исследования принята выборка, состоящая из 10 планиметров. Объем выборки взят достаточным, чтобы считать ее репрезентативной.

При постановке эксперимента были приняты меры для максимального исключения влияния различных факторов (кроме исследуемых) на точность прибора. Площадь измерялась только в делениях планиметра (с целью исключения ошибки определения цены деления). Для исключения ошибки обвода производилось измерение площади, равной 100 см^2 , получаемой посредством контрольной линейки. Чтобы исключить периодическую ошибку счетного ролика, цена деления принималась близкой к $0,1 \text{ см}^2$, вследствие чего начальный и конечный отсчеты располагались вблизи одного и того же штриха счетного барабана. Кроме того, для ослабления влияния ошибки отсчета и совмещения обводной точки был применен способ повторений, число которых принято равным пяти. Проведению измерений предшествовала поверка

планиметров, в результате чего один из них был признан негодным к измерениям. Производилось также тщательное выравнивание и закрепление бумаги на чертежной доске; соблюдалось равенство расстояний $R_1S \approx R_2S$ (см. рисунок) и минимальное отклонение угла ψ от 90° ; начальная точка намечалась, исходя из условия $\psi \approx 90^\circ$; при измерении соблюдалась нормальная скорость, равномерность и плавность обвода.

В результате многократных измерений, число которых принято равным 10 при 5 повторениях в каждом из них, была получена дисперсия, соответствующая среднему значению из m повторений. Дисперсии вычислялись по формуле

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (1)$$

где $\bar{x}$ — среднее значение площади из n измерений.

Переход от осредненной дисперсии к однократной, соответствующей одному обводу, сделан по формуле

$$s^2 = s_x^2 \cdot m. \quad (2)$$

Средняя дисперсия, характеризующая изучаемый фактор, вычислялась по формуле

$$s_{cp}^2 = \frac{s_1^2 n_1 + s_2^2 n_2 + \dots + s_k^2 n_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}. \quad (3)$$

где k — число однократных дисперсий; $n_1 \dots n_k$ — число наблюдений, из которых получены соответствующие дисперсии.

Полученные таким образом величины s^2 приведены в табл. 1. Для изучения полученных данных применен критерий Фишера, согласно которому неравенство $s_1^2 > s_2^2$ двух дисперсий является значимым, если отношение их $F = s_1^2 : s_2^2$ превышает предельное значение F_α . Величина предела F_α устанавливается с помощью статистических таблиц в функции числа измерений n_1 и n_2 , из которых получены соответствующие дисперсии, а также с помощью уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Для определения инструментального фактора были исследованы средние дисперсии, приведенные в предпоследней колонке табл. 1. Критерий F показывает, что разность между общей средней дисперсией и средними дисперсиями инструментов 616, 634, 714, 851 и 941 незначительна. Что же касается инструментов 792 и 803, то для них указанные разности являются значительными, что ведет к отклонению их средних квадратических ошибок относительно среднего значения в пределах $\pm 0,1$ деления, то есть в пределах $\pm 0,01\%$ измеренной площади. Следовательно, влияние инструментального фактора на механическую ошибку характеризуется предельной ошибкой $\pm 0,03\%$. Учитывая же общую реальную точность планиметра, характеризующуюся предельной ошибкой $0,5\%$ измеренной площади, можно утверждать, что влияние инструментального фактора на механическую ошибку ничтожно мало.

Влияние личного фактора на механическую ошибку определено на основании анализа дисперсий, полученных в результате измерений, произведенных инструментами 616, 634 и 851 (см. табл. 1), инструментальный фактор у которых отсутствует. Значения осредненных по вертикали дисперсий s^2 показаны в табл. 2.

Таблица 1

Номер планиметра	Наблюдатель	Количество одно- кратных измерений	Основа чертежа						$s^2_{\text{ср}}$	Количество одно- кратных измерений
			Ватман		Калька		Аммиачка			
			Счетные механизмы							
			основные	дополни- тельные	основные	дополни- тельные	основные	дополни- тельные		
616	К	50	0,13	0,14	1,12	0,44	0,33	0,23	0,45	900
	Ч	50	1,12	0,56	0,56	0,33	0,35	0,33		
	КА	50	0,38	0,07	0,96	0,31	0,53	0,22		
634	К	50	0,55	0,24	0,78	0,55	0,50	0,28	0,46	900
	Ч	50	0,29	0,46	0,53	0,13	0,49	0,40		
	КА	50	0,41	0,11	0,71	1,09	0,42	0,44		
714	К	50	0,93	0,28	0,80	0,33	0,46	0,37	0,53	300
791	К	50	0,55	0,65	0,46	0,61	0,55	0,23	0,57	600
	Ч	50	1,12	0,22	0,95	0,64	0,27	0,62		
792	К	50	0,38	0,31	0,49	0,11	0,25	0,62	0,36	300
803	К	50	0,50	0,28	0,75	0,50	0,98	0,72	0,62	300
834	К	50	0,56	0,33	0,36	0,27	0,57	0,33	0,40	300
851	К	50	0,33	0,28	0,84	0,77	0,94	0,39	0,48	900
	Ч	50	0,60	0,10	0,31	0,20	0,71	0,45		
	КА	50	0,13	0,69	0,31	0,78	0,67	0,11		
841	К	50	0,56	0,33	0,28	0,72	0,77	0,38	0,50	300
Величины средних дисперсий $s^2_{\text{ср}}$										
	К	450	0,50	0,32	0,65	0,48	0,60	0,40	0,49	2700
	Ч	200	0,78	0,38	0,59	0,32	0,45	0,45	0,49	1200
	КА	150	0,31	0,29	0,66	0,72	0,54	0,26	0,46	900
Величины общей средней дисперсии $s^2_{\text{ср. общ.}}$										
		800	0,53	0,32	0,64	0,49	0,55	0,38		
		1600	0,44		0,56		0,46		0,49	4800

Примечание. К — Ключко, Ч — Червяк, КА — Каневец.

Таблица 2

	Количество одно-кратных измерений	Основа чертежа					
		Ватман		Калька		Аммиачка	
		Счетные механизмы					
		основные	дополни- тельные	основные	дополни- тельные	основные	дополни- тельные
К	150	34	22	91	59	59	30
Ч	150	67	37	57	22	51	39
КА	150	31	29	66	73	54	26
Всего	450	44*	29*	71*	51*	55*	32*

Принимая в качестве эталона величины $s_{\text{ср}}^2$ для определения личного фактора, получим значения F_i , F_a (табл. 3).

Таблица 3

Наблюдатель	Основа чертежа											
	Ватман				Калька				Аммиачка			
	Счетные механизмы											
	основные		дополнительные		основные		дополнительные		основные		дополнительные	
	<i>F</i>	<i>F_a</i>	<i>F</i>	<i>F_a</i>	<i>F</i>	<i>F_a</i>	<i>F</i>	<i>F_a</i>	<i>F</i>	<i>F_a</i>	<i>F</i>	<i>F_a</i>
К	1,29	1,29	1,32	1,29	1,28	1,25	1,16	1,25	1,07	1,25	1,06	1,29
Ч	1,52	1,25	1,27	1,25	1,25	1,29	2,32	1,29	1,08	1,29	1,22	1,25
КА	1,42	1,29	1,00	1,25	1,08	1,29	1,43	1,25	1,02	1,29	1,23	1,29

Из табл. 3 видно, что в 7 случаях из 18 влияние личного фактора значимо, его максимальное влияние соответствует измерению площади на кальке и характеризуется для первого наблюдателя увеличением средней квадратической ошибки на 0,11 делений, для второго наблюдателя — уменьшением на 0,24 деления и для третьего наблюдателя — увеличением на 0,14 деления относительно осредненной по вертикали средней квадратической ошибки. Поскольку, однако, в данном эксперименте участвовало небольшое число наблюдателей, поэтому не представляется возможным сделать вывод о количественной стороне влияния личного фактора.

Анализ средних дисперсий, приведенных в последней строке табл. 1 (0,44—для ватмана, 0,56—для кальки и 0,46—для аммиачки), показывает, что шероховатость ватмана и аммиачки оказывает одинаковое влияние на механическую ошибку. Что же касается кальки, то ее шероховатость увеличивает механическую ошибку по сравнению с ватманом. Это увеличение выражается предельной величиной, равной 0,03% измеренной площади.

Кроме того, были исследованы средние дисперсии (предпоследняя строка табл. 1), характеризующие работу основного и дополнительного счетных механизмов. Дисперсионный анализ показывает, что дополнительный механизм работает точнее основного: средняя квадратическая ошибка основного механизма больше той же ошибки дополнительного механизма в 1,7, 1,3 и 1,5 раза соответственно для ватмана, кальки и аммиачки. Это обстоятельство объясняется тем, что планиметр в неподвижном положении опирается на три точки A , R_1 , R_2 (см. рисунок), образующие статически определенный треугольник. В процессе же измерения планиметр находится в движении, поэтому опорный треугольник $A R_1 R_2$ превращается в статически неопределенный четырехугольник $A R_1 R_2 B$, в котором B — точка приложения силы руки наблюдателя (к рукоятке обводного рычага). При нажатии на точку B опорный четырехугольник $A R_1 R_2 B$ может совершить некоторый поворот в вертикальной плоскости вокруг прямой $A R_2$, что уменьшает давление ролика R_1 на бумагу, следовательно, и уменьшает точность работы основного счетного механизма. При значительном нажатии на точку B вообще нарушается контакт между роликом R_1 и бумагой, что может быть источником грубых ошибок в работе основного счетного механизма, точность же дополнительного механизма практически от этого не ухудшается, что неоднократно и подтверждалось в процессе настоящих исследований. Вполне очевидно, что для устранения указан-

ного недостатка планиметра ПП-2к необходимо максимально уменьшить длину отрезка $S'B$, а шарнир рукоятки надо расположить на внутренней биссектрисе угла R_1AR_2 на минимальном расстоянии от обводной точки.

Основываясь на данных выполненного эксперимента, можно сделать следующие выводы:

1. Шероховатость ватмана и аммиачки оказывает одинаковое влияние на среднюю квадратическую механическую ошибку, а шероховатость кальки увеличивает ее значение на 0,01% измеренной площади.

2. Влияние инструментального фактора на среднюю квадратическую механическую ошибку характеризуется величиной $\pm 0,01\%$ измеренной площади.

3. Наблюдается влияние личного фактора, но в связи с небольшим числом наблюдателей, принявших участие в эксперименте, нельзя сделать вывод о количественной стороне этого влияния.

4. Механическая ошибка основного счетного механизма планиметра при измерении на ватмане, кальке и аммиачке соответственно в 1,7, 1,3 и 1,5 раза больше той же ошибки дополнительного счетного механизма, что объясняется конструктивным несовершенством планиметра ПП-2к.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В. Г. Об инструментальных погрешностях полярного планиметра. Труды МИИЗ, вып. 3, 1959.
2. Маслов А. Н. Способы и точность измерения площадей. Геодезиздат, М., 1955.

Работа поступила
13 декабря 1967 г.