

*В. Л. ГУТКИН, В. В. ЕРЕМИН*

## **СОСТАВЛЕНИЕ РЕЛЬЕФНОГО ПЛАНА СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКА ПО СТЕРЕОПАРАМ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ ФОТОСНИМКОВ**

Очень часто из-за отсутствия измерительных фотокамер для составления плана водной поверхности используют любительские фотоаппараты. Элементы внутреннего ориентирования таких камер обычно известны весьма приближенно. У них нет надежного устройства для выравнивания фотоплёнки, координатных меток и т. д. Однако благодаря экономичности и простоте фотоаппараты широко применяют для решения научных и прикладных задач [2, 3, 5, 8, 12, 14].

При фотографировании объекта с близких расстояний одни исследователи [6, 9, 13] изменяли конструкцию фотоаппарата, чтобы приблизить его к фотограмметрической камере, другие [10, 11, 15] проводили исследования по определению элементов внутреннего ориентирования. В фотограмметрической лаборатории кафедры геодезии Новочеркасского инженерно-мелиоративного института изучалось использование любительских стереоскопических фотоаппаратов «Спутник» для съёмки водной поверхности [1] без изменения конструкции и определения элементов внутреннего ориентирования. Фотоаппараты снабжали просветленными объективами Т-35 с фокусными расстояниями 75 мм и относительными отверстиями 1 : 4. Съёмку производили с базисного мостика, который устанавливали на металлической раме, с высоты около 1,5 м. Базис во время съёмки располагался параллельно потоку. Плоскости прикладных рамок камер с помощью 30 уровней приводились в горизон-

тальное положение. Фотографирование выполняли на изортохроматические пластинки светочувствительностью 90 ед. и фототеодолитные пластинки светочувствительностью 2,8 ед. ГОСТ. Пластинки укладывали на прикладные рамки в темноте, а их экспонирование осуществляли с помощью одной лампы-вспышки. Это обеспечивало синхронную съемку обеими камерами.

Для получения отметок точек водной поверхности над лотком располагали металлическую рамку с натянутыми через каждые 10 см нитями и приводили ее в горизонтальное положение. Расстояние от дна лотка до решетки измеряли по рейке с помощью нивелира, а превышения точек потока относительно решетки определяли по снимкам, используя формулу [4, 7]:

$$h = \frac{H \cdot \Delta p}{p_0 + \Delta p}, \quad (1)$$

где  $H$  — расстояние от объектов до решетки, принятой за начальную плоскость;  $p_0$  — продольный параллакс решетки;  $\Delta p$  — разность параллаксов, обусловленная превышениями точек потока относительно решетки.

Из условия фотографирования можно записать

$$p_0 = \frac{l}{L} B, \quad (2)$$

где  $l$  — длина стороны квадрата решетки на снимке;  $L$  — ее длина в натуре;  $B$  — базис фотографирования.

Отношение  $l/L$  определяли по четырем сторонам каждого квадрата и использовали для точек, расположенных внутри него.

Существенное влияние на результаты измерений может оказать разнофокусность фотоаппаратов. Поэтому для обработки применяли стереопары, на которых разность одноименных отрезков на левых и правых снимках не превышала примерно 0,02 мм, что соответствует разнофокусности камер 0,2—0,3 мм. В этом случае погрешность  $m_{\Delta p}$  может быть  $\pm 0,01$  мм.

Обозначив  $p_0 + \Delta p = p_i$ , найдем ожидаемую среднюю квадратическую ошибку определения превышений

$$m_h^2 = \left(\frac{\Delta p}{p_l}\right)^2 m_H^2 + \left(\frac{H}{p_i}\right)^2 m_{\Delta p}^2 + \left(\frac{H \cdot \Delta p}{p_i^2}\right)^2 m_{p_i}^2. \quad (3)$$

Рассмотрим влияние каждого фактора. Приняв  $\Delta p = 3$  мм,  $H = 1500$  мм,  $m_H = \pm 2$  мм;  $p_l = 25$  мм,  $m_{\Delta p} = \pm 0,01$  мм, получим

$$m_{h_H} = \frac{\Delta p}{p_i} m_H = \pm 0,24 \text{ мм};$$

$$m_{h\Delta p} = \frac{H}{p_i} m_{\Delta p} = \pm 0,6 \text{ мм.} \quad m_{h_{p_i}} = \frac{H \cdot \Delta p}{p_i^2} m_{p_i}, \quad (3')$$

$$\text{но } m_{p_i}^2 = m_{p_0}^2 + m_{\Delta p}^2; \quad m_{p_0}^2 = \left(\frac{B}{L}\right)^2 m_l^2 + \left(\frac{l}{L}\right)^2 m_B^2 + \left(\frac{l \cdot B}{L^2}\right)^2 m_L^2.$$

Базис измеряли с погрешностью примерно  $\pm 0,2$  мм, а расстояния между нитями решетки в натуре — с помощью контрольной линейки с погрешностью  $\pm 0,05$  мм. Тогда, приняв  $m_l = \pm 0,01$  мм,  $l = 5$  мм,  $L = 100$  мм,  $m_B = \pm 0,2$  мм,  $m_L = \pm 0,05$  мм, определим

$$m_{p_0 B} = \frac{l}{L} m_B = 0,01 \text{ мм.}$$

При  $B = 500$  мм                       $B = 400$  мм                       $B = 300$  мм

$$m_{p_l} = \frac{B}{L} m_l = \pm 0,05 \text{ мм,} \quad 0,04 \text{ мм,} \quad 0,03 \text{ мм,}$$

$$m_{p_0 L} = \frac{B \cdot l}{L^2} m_L = \pm 0,01 \text{ мм,} \quad 0,01 \text{ мм,} \quad 0,01 \text{ мм.}$$

Следовательно, можно считать, что  $m_{p_0} \leq \pm 0,05$  мм, а  $m_{p_i} \approx \pm 0,05$  мм. Подставив полученное значение в выражение (3), найдем  $m_{h_{p_i}} \approx \pm 0,36$  мм и  $m_h \approx \pm 0,7$  мм.

Для проверки расчетов фотоаппаратами «Спутник» при различных базисах был сфотографирован макетный объект. Превышения предметов над начальной плоскостью вычислены по левым и правым стереопарам и осреднены. Затем произвели оценку точности полученных результатов:

Базисное отношение $H : B$	2,5 ÷ 7,4
Количество точек	162
Средняя квадратическая ошибка, вычисленная по формуле Гауса, мм	$\pm 0,64$
Вероятная ошибка, мм	$\pm 0,43$
Средняя абсолютная ошибка, мм	$\pm 0,51$
Максимальные ошибки, мм	-1,5 ÷ +1,2
Асимметрия $A$	-0,007
Экцесс $E$	-0,76
Критерии согласия: Пирсона $\chi^2$ , Б. С. Ястремского	12,80 < 15,03 1,31 < 3,00

Эти данные подтверждают теоретические расчеты и, кроме того, указывают на нормальное распределение ошибок (рис. 1). Можно предположить, что при тех же условиях съемки отметки точек водной поверхности будут определены с погрешностью того же порядка.

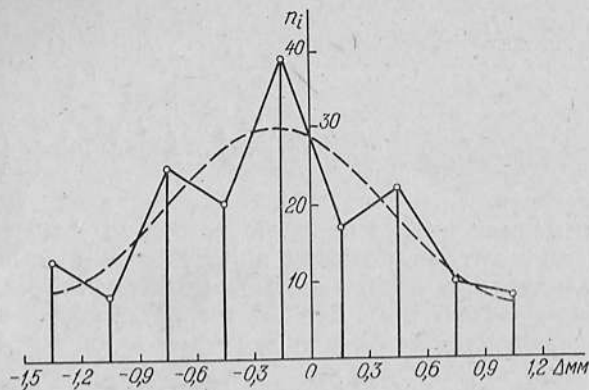


Рис. 1. Теоретическая и эмпирическая кривые распределения ошибок.

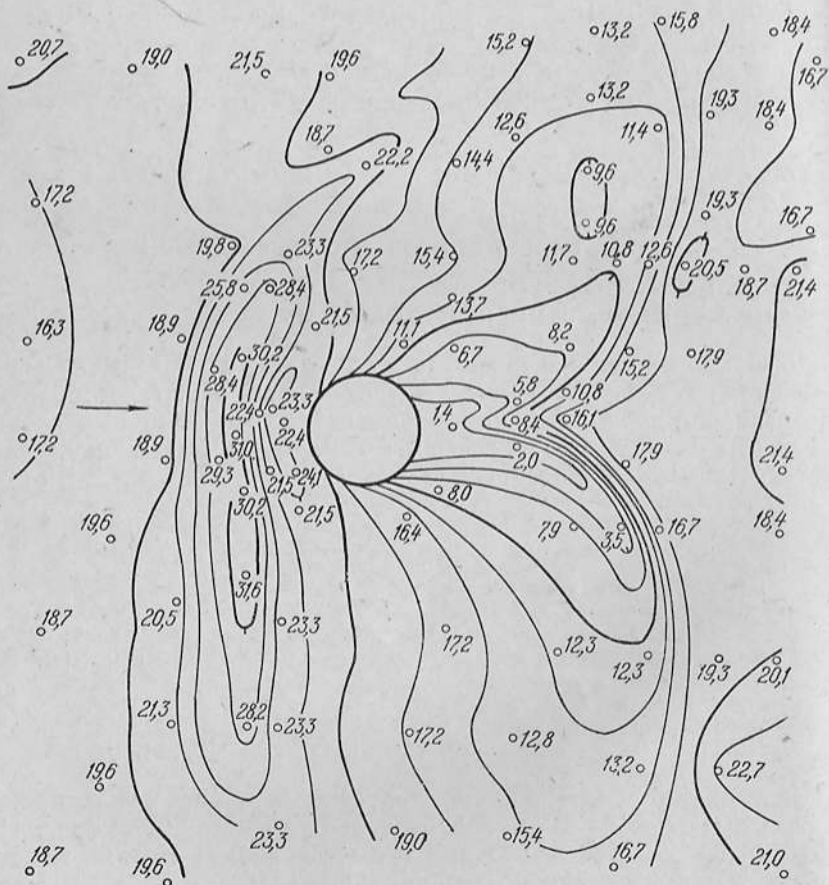


Рис. 2. Рельефный план свободной поверхности потока.

При экспериментальном изучении процесса обтекания цилиндрического тела (диаметром 49 мм, высотой 63 мм) водным потоком отметки точек его поверхности найдены по указанной методике. Сами точки с негативов переопознавались на увеличенные снимки, а затем при стереоскопическом рассмотрении были вычерчены горизонтали с высотой сечения 2,5 мм. По увеличенному снимку с горизонталями с помощью универсального топографического проектора УТП-2 был составлен чертежный план свободной поверхности водного потока в масштабе 1:2 (рис. 2). Такой план позволяет получить обширные сведения о формировании свободной поверхности потока при обтекании цилиндров или других гасителей водной энергии, необходимых для решения целого ряда задач в гидравлических исследованиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуткин В. Л., Еремин В. В. О применении фотограмметрии в гидротехнических исследованиях. — В сб.: Методы инженерной геодезии и фотограмметрии в строительстве. Вып. 2. Ростов-на-Дону, 1974.
2. Казанская Л. В. Динамический рельеф водной поверхности у обтекаемой преграды как выразитель скорости течения потока. — «Труды ГГИ», 1937, вып. 5.
3. Коновалов И. М. Обтекание сооружений в потоках. — «Труды ЛИИВТ», 1939, вып. 9.
4. Лобанов А. Н. Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. М., «Недра», 1968.
5. Николаенко А. Г., Рыбаков В. И. Стереосъемка обтекания плоскокилевой пластины, глессирующей по свободной поверхности воды. — «ЖН и ПФ и К», 1960, 5, № 4.
6. Орлов П. М. Наземная стереофотограмметрия. М., МГМИ, 1938.
7. Скирдов А. Стереофотограмметрия. М., Геодиздат, 1951.
8. Faig W. Photogrammetry and hydraulic surfaces. — «J. Surv. and Mapp. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.», 1972, 98, № 2.
9. Gelhaus R. Analytisch — photogrammetrische Nahbildmessung, dargestellt am Beispiel von Verformungsmessungen an rotierenden Autoreihen. BuL, 1967, 35, № 3.
10. Jacobi O. Kalibrieren gewöhnlicher Photoapparate und deren Verwendung als Messkammern. BuL, 1968, 36, № 2.
11. Müller U. G. Fehlertheoretische Untersuchung der Kleinbildphotogrammetrie und Vorschläge für ihre Anwendung auf montanwissenschaftliche Gebiet. — «Freiberger Forschungshefte», 1968, A, № 440.
12. Sadasivam M. Photogrammetry solves hydraulic problems. — «J. Inst. Eng. (India). Ind. Develop. and Gen. Eng.», 1970, 50, № 5, Part 2.
13. Schultz G. Bestimmung der Potentialverteilung in einem elektromagnetischen Feld durch photogrammetrische Ausmessung eines Gummimodells. BuL, 1962, 30, № 2.
14. Werle H. Visualisation hydrodynamique d'écoulements instationnaires. — «Note techn.», O. N. E. R. A., 1971, № 180.
15. Wilski L. Zur Modellgenauigkeit bei Aufnahmen mit gewöhnlichen Photoapparaten. BuL, 1969, 37, № 1.

Работа поступила 20 июля 1975 года.  
Рекомендована кафедрой геодезии Ново-  
черкасского инженерно-мелиоративного  
института.