

УДК 528.71

**АНАЛИЗ ПЛАНОВОЙ ТОЧНОСТИ
ПРИ ОБНОВЛЕНИИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ (ПЛАНОВ)
НА ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

*канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА;
канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ
(Полоцкий государственный университет);
П.В. ВАЩЕВА*

(Завод эффективных промышленных конструкций, Минск)

Окончательная точность определения координат точек местности при создании (обновлении) топографических карт (планов) должна соответствовать требованиям инструктивных документов. В представляемой работе оценены погрешности всех этапов, выполняемых при обновлении топографических карт (планов) на цифровой фотограмметрической станции. На основании требований Инструкции по фотограмметрическим работам к средним ошибкам отдельных этапов и применительно к технологии и оборудованию, применяемому в Беларуси, определена точность окончательного результата. Полученная точность цифровой карты превышает требуемую инструкцией. Таким образом, надо либо повышать точность промежуточных этапов, например, построения цифровой модели рельефа, перенесения точек на соседние маршруты, либо менять допуск на точность обновляемой карты в инструкции.

В соответствии с требованиями инструкций [1; 2] средняя ошибка при создании (обновлении) топографических карт и планов при отображении капитальных построек, на которых мы остановимся, не должна превышать 0,4 мм на карте (плане). Эта ошибка будет складываться из ошибок всех промежуточных этапов.

При создании или обновлении карт (планов) на цифровой фотограмметрической станции (ЦФС) необходимо выполнить ряд процедур, таких как:

- 1) плано-высотная подготовка материалов аэрофотосъемки;
- 2) сканирование снимков;
- 3) перенос точек на снимки смежных маршрутов;
- 4) построение сетей фототриангуляции;
- 5) создание цифровой модели рельефа (ЦМР);
- 6) ортотрансформирование (трансформирование) снимков и создание ортофотоплана;
- 7) дешифрирование и векторизация контуров по ортофотоплану.

Каждый из перечисленных этапов выполняется с погрешностями. Однако точность обновляемой карты должна быть обеспечена. Допустив, что средняя погрешность капитальных строений не должна превышать 0,4 мм на карте (плане) [1; 2], все промежуточные этапы должны выполняться точнее.

Рассмотрим вопросы точности перечисленных этапов.

Точки съёмочной опорной геодезической сети, т.е. опознаки, используемые для фотограмметрического сгущения, должны иметь среднюю погрешность на плане, согласно требованиям инструкций [1; 2], $v_d = 0,1$ мм в масштабе создаваемой карты (плана) относительно ближайших пунктов Государственной геодезической сети (ГГС). В фотограмметрии чаще пользуются средними квадратическими ошибками (СКО). Переход от средней ошибки к СКО m_d осуществляется по формуле [3]:

$$m_d = 1,25v_d. \quad (1)$$

Следовательно, СКО планового обоснования $m_{пл/в}$ будет 0,125 мм.

Средняя квадратическая ошибка при сканировании для сканера Дельтаскан ($m_{ск}$), который используется для сканирования аэронегативов в Беларуси, составляет ± 3 мкм [4].

Согласно инструкции [2], точность и плотность узлов ЦМР должна обеспечивать графическую точность топографической карты (плана) 0,3 мм (допустимая средняя ошибка), что будет обеспечено при предельных превышениях относительно средней плоскости участков цифрового трансформируемого фрагмента снимка в метрах не более $h_{пред}$, рассчитанных по формуле [2]:

$$h_{пред} = \frac{0,3fM_k}{r}, \quad (2)$$

где f – фокусное расстояние съёмочной камеры (в мм); M_k – знаменатель масштаба создаваемого фотоплана (ортофотоплана); r – максимальное удаление точки снимка от точки надира (в мм).

При монтаже фотопланов (ортофотопланов) допускают расхождение хорошо распознаваемых контуров 0,7 мм согласно инструкции [2]. Как свидетельствует формула (1), максимальное искажение за рельеф не должно превышать 0,3 мм. На стыке зон или фрагментов снимков искажения за рельеф будут иметь разные знаки, следовательно, предельное несовмещение контуров составит 0,6 мм, т.е. сумма искажений будет 0,6 мм, а ошибка 0,3 мм, следовательно, СКО составит 0,375 мм. И если принять, что расхождение контуров будет не более 0,6 мм, то выходит, что при ортотрансформировании и монтаже фотоплана (ортофотоплана) можно допустить среднюю ошибку 0,1 мм.

Исходя из вышесказанного, допустимая ошибка при ортотрансформировании и монтаже ортотрансформированных снимков не должна превышать 0,1 мм, а СКО на плане $m_{opt} = 0,125$ мм, хотя в инструкции [2] отдельно не приведено, какая допустимая ошибка для ортотрансформирования и для монтажа трансформированных снимков.

Про ошибки векторизации в инструкции [2] ничего не сказано. Здесь мы провели эксперимент. В ходе эксперимента на ортофотоплане масштаба 1:2000 нами были выбраны два угла капитального строения. Координаты X , Y этих точек многократно определялись. По многократно измеренным координатам были получены средние ошибки по осям координат V_X и V_Y на местности, рассчитанные по формуле [3]:

$$V_{X,Y} = \frac{\sum |\Delta_i|}{n}, \quad (3)$$

где $\sum |\Delta_i|$ – сумма расхождений между каждым измерением и средним значением координат по модулю; n – число измерений.

На основании средних ошибок по осям координат V_X и V_Y была получена величина средней ошибки планового положения V_D по следующей формуле [3]:

$$V_D = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2}. \quad (4)$$

От средней ошибки планового положения перешли к средней квадратической ошибке на местности [3]:

$$m_D = 1,25V_D. \quad (5)$$

Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Определение ошибок векторизации капитальных строений

M_k	Число измерений	V_X , м	V_Y , м	V_D , м	m_D , м
2000	20	0,154	0,078	0,173	0,216

В таблице 1 приведены средние ошибки по осям координат V_X , V_Y и планового положения V_D , а также СКО планового положения на местности m_D , которая на плане масштаба 1: $M_k = 1:2000$ составит:

$$m_d = \frac{m_D}{M_k} = 0,11 \text{ мм}. \quad (6)$$

Полученное значение СКО планового положения на карте (плане) при векторизации и будем использовать при дальнейших вычислениях.

Сведений о требуемой точности построения сетей фототриангуляции в инструкции [2] не содержится. Поэтому рассмотрим величины СКО для случая, когда аэрофотосъемка (АФС) выполняется с использованием гиросtabilизирующей установки и при поддержке GPS-данными, по которым определялись координаты центров фотографирования. Средние квадратические ошибки определения плановых координат $m_{X,Y}$ в этом случае можно определить по формуле [5]:

$$m_{X,Y} = 0,84M_c \cdot \sigma, \quad (7)$$

где M_c – знаменатель масштаба фотографирования; σ – СКО измерения координат на снимке согласно работам [6; 7]; $\sigma = 0,5$ элемента разрешения при сканировании P .

Примем параметры аэрофотосъемки и разрешения при сканировании (P), которые имели место на производстве, для создания планов масштабов 1: $M_k = 1:10\ 000$ и 1:2000 (табл. 2).

В таблице 2 были выбраны разные соотношения масштабов карт, аэрофотоснимков и разрешений при сканировании.

Таблица 2

Параметры аэросъемки и разрешения при сканировании

Обозначения	Принятые параметры	
M_k	10 000	2000
M_c	15 000	10 000
f , мм	153	153
l , см	23	23
P , мкм	42	16
σ	21 мкм	8 мкм
M_c – знаменатель масштаба аэрофотосъемки; f – фокусное расстояние аэрофотоаппарата; l – формат кадра.		

Для приведенных в таблице 2 параметров по формуле (7) были рассчитаны СКО по осям координат ($m_{x,y}$). При фотограмметрических построениях $m_x = m_y$ [8–11], следовательно, СКО планового положения (m_D) будет составлять

$$m_D = m_{x,y} \sqrt{2}. \quad (8)$$

Среднеквадратические ошибки определения плановых координат, рассчитанные по формулам (7) и (8), представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты вычислений

Масштаб фотографирования 1: M_c	1:15 000	1:10 000
Масштаб плана 1: M_k	1:10000	1:2000
$m_{x,y}$, м	0,265	0,067
m_D , м	0,374	0,095

К ошибкам фототриангуляции добавятся ошибки переноса общих точек на снимки смежных маршрутов. Как отмечается в инструкции [2], средние расхождения d в плановом положении общих точек смежных маршрутов не должны быть более 0,5 мм в масштабе карты (плана). Для перехода от средних расхождений планового положения общих точек к средней квадратической ошибке воспользуемся формулой определения СКО по разности двойных измерений [3]:

$$m_d = \sqrt{\frac{[d^2]}{2(n-1)}}, \quad (9)$$

где d – среднее расхождение в плановом положении общих точек; n – количество точек.

Примем число точек, равное 50. В этом случае СКО переноса точек $m_{n/m}$ составит 0,35 мм, что на местности для планов масштабов 1:2000 и 1:10000 будет 0,7 и 3,5 м соответственно.

В другом месте той же инструкции [2] отмечается, что ошибки переноса точек на соседние маршруты при цифровых методах обработки не должны превышать 40 мкм в масштабе снимков, что на местности для снимков масштабов 1:10000 и 1:15000 составит 0,4 и 0,6 м соответственно.

Сопоставив полученные результаты с вышерассчитанными данными, видим, что мы не получили одинаковые результаты. Это объясняется тем, что при фотографировании могут быть разные масштабы аэрофотосъемки, разные масштабы обновляемых карт (планов), а при сканировании разные разрешения, соответственно и разная точность переноса точек на соседние маршруты. По нашему мнению, в инструкции [2] приведены необоснованные требования.

В дальнейшем воспользуемся СКО, найденными по формуле (9).

Так как данные о средних квадратических ошибках разных этапов создания планов (карт) получены в разных единицах измерений, найдем СКО разных этапов обновления топографических карт (планов), соответствующие ошибкам на местности. Средние квадратические ошибки построения сетей фототриангуляции m_ϕ вычислили на местности, а СКО $m_{пл/в}$, $m_{ЦМР}$, $m_{орт}$ и $m_{вект}$ описаны в масштабе плана, следова-

тельно, чтобы получить эти значения на местности, домножим их на знаменатель масштаба плана (карты), СКО $m_{ск}$ – величина, полученная в масштабе снимка, домножим ее на знаменатель масштаба снимка. Результаты вычислений сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты вычислений

СКО на местности Масштаб 1: M_k	$m_{пл./в}$, М	$m_{ск}$, М	$m_{ф}$, М	$m_{ЦМР}$, М	$m_{орт}$, М	$m_{н/м}$, М	$m_{вект.}$, М
1:10 000	1,25	0,045	0,374	3,75	1,25	3,5	1,10
1:2000	0,25	0,03	0,095	0,75	0,25	0,7	0,22

Тогда итоговая средняя квадратическая погрешность будет вычисляться по формуле:

$$m_D = \sqrt{m_{пл./в}^2 + m_{ск}^2 + m_{ф}^2 + m_{ЦМР}^2 + m_{орт}^2 + m_{н/м}^2 + m_{вект.}^2}, \quad (10)$$

где $m_{пл./в}$ – СКО при планово-высотной подготовке материалов аэрофотосъемки; $m_{ск}$ – СКО при сканировании; $m_{ф}$ – СКО при построении сетей фототриангуляции; $m_{орт}$ – СКО ортотрансформирования и монтажа ортотрансформированных снимков; $m_{ЦМР}$ – СКО при построении ЦМР; $m_{н/м}$ – СКО переноса точек с маршрута на маршрут; $m_{вект.}$ – СКО при векторизации.

Подставив в формулу (10) данные из таблицы 4, вычислим СКО на местности m_D . Затем перейдем от ошибок на местности к величинам (m_D) на плане (карте). Для этого поделим полученные значения m_D на знаменатель масштаба плана (карты) M_k . На основании формулы (1) найдём среднюю ошибку

ку $v_d = \frac{m_d}{1,25}$. Результаты вычислений сведём в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты вычислений

Параметры	1: M_k = 1:10 000	1: M_k = 1:2000
m_D , м (на местности)	5,55	1,11
m_d , мм (на плане)	0,55	0,56
v_d , мм (на плане)	0,44	0,45

Проанализировав результаты вычислений (см. табл. 5), можно сделать вывод, что СКО планового положения контуров на плане (карте) m_d составляет 0,56 мм. Средняя ошибка на плане (карте) v_d составляет 0,45 мм, что не намного превышает точность обновляемой карты 0,4 мм, заявленной в инструкциях [1; 2].

Авторы работы [12] упоминают про ошибки при внутреннем ориентировании снимков. Согласно экспериментам, проведенным разработчиками программного обеспечения «PHOTOMOD» [12], средние ошибки при внутреннем ориентировании составляют $0,5P$ (P – разрешение при сканировании), следовательно, СКО $m_{вн.о.}$ будет $0,625P$, то есть в 1,25 раза грубее. В результате для принятых нами масштабов фотографирования и разрешений при сканировании получим СКО на местности $m_{вн.о.} = 0,394$ м при $1:M_c = 1:15000$ и $m_{вн.о.} = 0,100$ м при $1:M_c = 10000$.

Кроме того, в работе [12] говорится, что в масштабе планов средняя ошибка измерений снимков $\sigma = 0,5P\sqrt{2}$, следовательно СКО будет $\sigma = 1,25 v_p = 0,884P$, а не $0,5P$, как отмечено в работах [6; 7] и было принято нами при расчете точности построения сетей фототриангуляции (см. табл. 3), то есть в 1,8 раза грубее. Отмеченные ошибки также повлияют на окончательную точность.

Таким образом, надо либо повышать точность промежуточных этапов (построение цифровой модели рельефа, ортотрансформирование и перенос общих точек на смежные маршруты), либо менять допуск на точность обновляемой карты в инструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500: ГКНП 02-004-2010 / Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь (Комзем). – Минск: УП «БелНИЦзем», 2010. – 33 с.

2. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов: ГКИНП (ГНТА)–02-036-02. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 78 с.
3. Справочник геодезиста / В.Д. Большаков [и др.]. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1975. – 1056 с.
4. Технология создания и обновления крупномасштабных карт и планов городов по материалам ДЗЗ на базе программного обеспечения «PHOTOMOD» и «ГИС Карта 2008» / КБ Панорама, Ракурс. – М., 2007. – 18 с.
5. Михеева, А.А. Оценка формул разрешения при сканировании аэрофотоснимков и формул предрасчета точности определения координат точек местности по эллипсам погрешностей / А.А. Михеева, В.И. Медведев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2011. – № 8. – С. 141–145.
6. Евстратова, Л.Г. Технология создания цифровых карт в свободной системе координат / Л.Г. Евстратова // Геодезия и картография. – 2004. – № 9. – С. 42–44.
7. Книжников, Ю.Ф. Зависимость точности стереоскопических измерений от размера пиксела цифровых снимков / Ю.Ф. Книжников // Геодезия и картография. – 2003. – № 4. – С. 32–41.
8. Минько, В.Ю. Технологическое проектирование аэрофотосъёмки / В.Ю. Минько. – М.: Недра, 1991. – 154 с.
9. Бобир, Н.Я. Фотограмметрия / Н.Я. Бобир, А.Н. Лобанов, Б.В. Краснопевцев. – М.: Недра, 1974. – 472 с.
10. Лобанов, А.Н. Фотограмметрия / А.Н. Лобанов, М.И. Буров, Б.В. Краснопевцев. – М.: Недра, 1987. – 308 с.
11. Ackermann, F. Application of GPS for Aerial Triangulation / F. Ackermann, H. Schade // Photogrammetric Engineering Remote Sensing. – 1993. – Vol. 59, № 11. – P. 1625–1632.
12. Рекомендации по контролю точности на различных этапах фотограмметрической обработки в системе PHOTOMOD. Электронный ресурс. Служба технической поддержки PHOTOMOD.

Поступила 27.11.2014

**THE ANALYSIS OF PLANNED ACCURACY
WHILE RENEWING TOPOGRAPHIC MAPS (PLANS)
AT THE DIGITAL SURVEY STATION**

A. MICHEEVA, V. YALTYKHOV, P. VASHCHEEVA

The ultimate accuracy of defining coordinates of points of detail while making (renewing) topographic maps (plans) must meet the criteria of instructions. The presented work evaluates the errors at all stages of renewing topographic maps (plans) at the digital survey station. Based on the requirements of the Instructions for survey works to average errors at all stages applicable to technology and equipment used in Belarus, the accuracy of ultimate result. The received accuracy of the digital map exceeds the ones required by the instructions. Hence, it is reasonable either to increase the accuracy of preliminary results, for instance, making a digital relief model, replacement of point on the neighboring routes, or to change the limits for renewed map accuracy in the instruction.