

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОГРАММЕТРИИ В АРХИТЕКТУРЕ

Л. КИШ ПАПП

Кафедра Фотограмметрии Института Геодезии, Будапештского
Технического Университета

Поступило: 16 декабря 1978 г.

1. Введение

Когда мы видим архитектурные памятники и другие архитектурные сооружения, у нас редко возникает мысль, что гармония содержания и формы этих сооружений, с одной стороны, создана фантазией архитектора, а с другой стороны, является результатом согласования геометрических закономерностей. Фантазия является личным данным архитектора, которое основывается на теории и практике. Для использования геометрических закономерностей и их применения необходимы точные чертежи, планы и карты. Самое точное изображение зданий даётся фотографиями. Качество фотографий должно быть таким, чтобы по ним можно было бы определять размеры зданий. Это требование можно удовлетворить с помощью фотограмметрии.

Задачи архитектурной фотограмметрии следующие:

— задачи, связанные с восстановлением зданий, и особенно памятников архитектуры;

— задачи, связанные со строительством новых зданий с целью вписывания их в уже существующие архитектурные ансамбли;

— задачи, направленные на определение вписывания зданий в окружающую природу;

— задачи, связанные со съёмкой фасадов с целью архивного хранения.

Архитектурные сооружения, за исключением самых современных, были построены и строятся в настоящее время с вертикальными фасадами. Поэтому съёмку фасадов удобнее всего производить камерами наземной фотограмметрии с горизонтальными осями. Задачи наземной фотограмметрии при этом двойные: с одной стороны, надо изготовить фотограмметрический снимок, а с другой стороны, его надо обработать на фотограмметрическом приборе.

2. Приборы для изготовления и обработки фотограмметрических снимков

Приборы, применяемые для изготовления и обработки фотограмметрических снимков приведены в таблице I. Здесь же приведены основные данные этих приборов. В описываемых ниже фотограмметрических задачах для

Таблица I

Камеры для одного снимка	Стереокамеры	Обработывающие приборы	Трансформаторы
<p><i>I. Простые камеры.</i></p> <p>Цейсс (Оптон) ТМК фок.рас. = 60 мм разм. снимка: 9 × 12 см возможность наклона: 0 ± 30 ± 70 ± 100 град</p> <p>Вильд П. 32 фок.рас. = 65 мм разм. снимка: 6,5 × 9 см (можно приставлять к теодолиту Т2)</p>	<p>Цейсс Ена СМК 5,5 (0808) 120 и 40 фок.рас. = 56 мм разм. снимка: 9 × 12 см возможность наклона: 0 и 100 град базис: 120 и 40 см</p> <p>Цейсс (Оптон) СМК-120, СМК-40 фок.рас. = 60 мм разм. снимка: 9 × 12 см возможность наклона: 0, ± 30, ± 70, ± 100 град базис: 120 и 40 см</p> <p>Вильд С-120 и С-40 фок.рас. = 65 мм разм. снимка: 9 × 12 см возможности наклона: 0, ± 10, ± 20, ± 60, ± 80, ± 90 град базис: 120 и 40 см (возможен отвесный базис)</p> <p>Оффicine Галилео Веропласт фок.рас. = 150 мм размер снимка: 13 × 18 см возможности наклона: 0 и 45° базис: 200 и 56 см</p>	<p>Цейсс Ена Стереокмпаратор</p> <p>Цейсс Ена Стекомер</p> <p>Цейсс Ена Топокарт-В z = 70 - 320 мм</p> <p>Цейсс Ена Технокарт z = 35 - 350 мм</p> <p>Цейсс (Оптон) Терраграф z = 60 - 610 мм</p> <p>Цейсс (Оптон) Планимат z = (f + 40) - (f + 310) мм</p> <p>Вильд А. 40 = 150 - 525 мм</p> <p>Оффicine Галилео Стереокартограф z = 150 - 526 мм</p>	<p>Цейсс Ена Малый Трансформатор</p> <p>Цейсс Ена Рехтмат</p> <p>Цейсс Ена СЕГ I</p> <p>Цейсс Ена СЕГ IV (аэрофотограф)</p> <p>ПЕГ 5 (Оптон)</p> <p>Орлон II/III (Шмидт)</p> <p>E IV (Вильд)</p> <p>VG-I (Вильд)</p>
<p><i>II. Универсальные камеры</i></p> <p>Цейсс Ена Фототеодолит 19/1318 фок. рас. = 190 мм</p>	<p>СКИ-3 (СССР) фок.рас. = 105 мм размер снимка: 6,5 × 9 см базис: 14 - 100 см</p>	<p>Цейсс Ена Стереометрограф z = 50 - 400 мм</p> <p>Цейсс Ена Стереопланиграф</p>	

размер снимка: 13×18 см
сдвиг объектива: $\pm 30-40$ мм

Цейсс Ена УМҚ 10/1318
фок.рас. = 100 мм
размер снимка: $13 \times 18, 18 \times 13$ см
возможности наклона:
 0 ± 100 град

Вильд П. 30
фок.рас. = 165 мм
размер снимка: 10×15 см
возможности наклона:
 -28 град — $+7$ град

Вильд П. 31.
фок.рас. = 100 мм
размер снимка: 10×15 см
возможности наклона:
 0 ± 10 град

Оффицине Галилео ФТГ Id
фок.рас. = 155 мм
размер снимка: 10×15 см
Фотогеодезия «Геодезия»
фок.рас. = 190 см
размер снимка: 13×18 см

$z = 120-605$ мм
Цейсс Ена Стереометрограф
 $z = 135-350$ мм
Цейсс (Оптон)
Стереопланиграф С. 8
 $z = 170-605$ мм
Вильд А. 7
 $z = 140-490$ мм
 $f = 98-215$ мм
 $s = -9 \pm 30$ град
Вильд А. 10
 $z = 90-320$ мм
 $f = 86-308$ мм
 $s = -7 \pm 6$ град
Оффицине Галилео Стерео-
картограф
 $z = 150-525$ мм

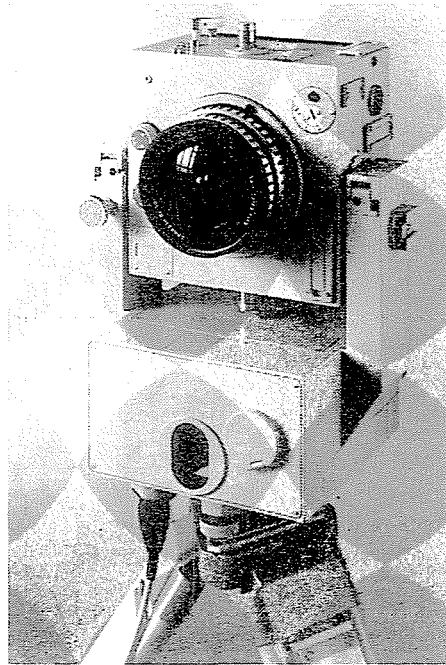


Рис. 1. Камера УМК

изготовления снимков применялись фототеодолит *Цейсс* (19/1318), камеры *Цейсс УМК* (10/1318), *СМК 5,5* (0808/120) и *Вильд С-40*.

Для обработки снимков применялись Малый трансформатор *Цейсс*, Трансформатор *Орион*, Трансформатор *СЕГ 1*, Стерекомпаратор *Цейсс*, Технокарт *Цейсс*, Стекомер *Цейсс*, а также Стереометрограф *Цейсс*. На рис 1. приводится камера *УМК*.

3. Обработка снимков

При съёмке зданий с помощью фотограмметрии характерным является то же самое основное требование, которое предъявляется и при картографировании. Изготовленные карта, чертёж фасада или план здания должны быть абсолютно объективными, они должны точно отображать действительность, как в отношении общей формы, так и в отношении деталей.

Применение фотограмметрии для съёмки архитектурных сооружений с точки зрения экономики определяется рядом факторов:

1. цели и задачи съёмки;
2. размер и форма сооружений и число деталей;

3. характер конечного продукта;
4. требуемая точность измерения;
5. местные данные.

В зависимости от этих данных меняется и метод фотограмметрической съёмки. Для реставрации фасадов зданий съёмка производится в масштабе 1 : 50 или 1 : 100. При перестройке зданий требуются не только чертежи фасадов, но и планы внутреннего устройства зданий, чертежи конструкций, профили, и повышаются требования к их точности. В этом случае съёмка ведётся не только с помощью фотограмметрии, но и с помощью геодезии.

Требуемая точность съёмки является важным фактором при выборе метода съёмки.

Местные данные также очень влияют на выбор метода, в случае загороженного здания фотограмметрический метод может быть совсем не применим.

Метод фотографирования определяется размерами фасада, местом его расположения и числом деталей. Влияние детальности фасада по глубине его на основании рис. 2. можно выразить следующим образом. Предположим, что снимок изготавливается камерой с горизонтальной осью, постоянная камеры c_k , расстояние до снимаемого предмета Y . Расстояние точки A , находящейся на расстоянии v от точки пересечения оси камеры и плоскости главного фасада, равно ΔY (разница глубины). Точка A на негативе соответствует точке A' , которая даётся радиусом проектирования AO .

Представим себе, что радиус пересекает плоскость главного фасада, точка пересечения A_1 . В то же время по правилам съёмки фасада точке A на чертеже должна соответствовать точка A_0 . На отклонение положения точки влияет ошибка, зависящая от разницы глубины.

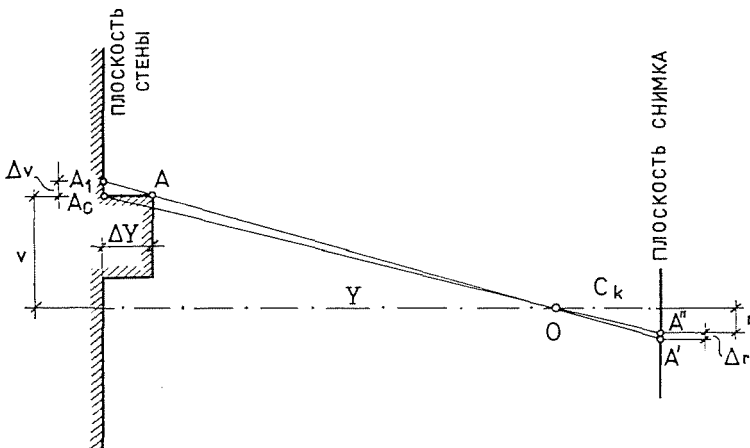


Рис. 2

Если эту проблему рассматривать в плоскости снимка, то можно объяснить и так, что изображение точки A на снимке будет в точке A' . А если бы не было разницы по глубине, то это была бы точка A'' . Значит в положении точки содержится ошибка Δr . На основании рис. 2 можно написать

$$\Delta v = v \cdot \frac{\Delta Y}{Y} \quad (1)$$

$$\Delta v = \Delta Y \cdot \frac{r}{c_k} \quad (2)$$

$$\Delta r = \Delta v \cdot \frac{c_k}{v} \quad (3)$$

А на основании этих формул

$$\Delta r = r \cdot \frac{\Delta Y}{Y} \quad (4)$$

Ясно, что Δv и Δr являются ошибками, одна из которых располагается в направлении точки или же по радиусу от центральной точки снимка, а другая от точки пересечения оси камеры плоскости фасада.

Теперь проверим случай, когда разница глубины ΔY вызывает недопустимую ошибку. На основании формулы (2) вычислим величину Δv на чертеже фасада в масштабе $1/M_{карта}$. Обозначим эту величину $\Delta v_{карта}$ и определим её размер в мм, в то время, как величина ΔY определяется в см.

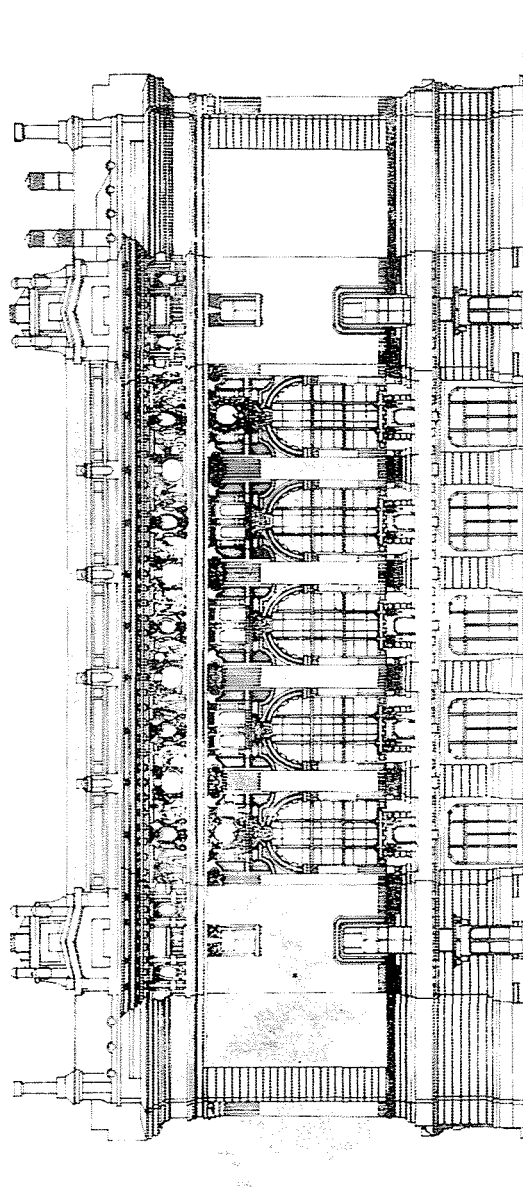
$$\Delta v_{карта} = \frac{10}{M_{карта}} \cdot \frac{r}{c_k} \cdot \Delta Y \quad (5)$$

$$\Delta Y = \frac{M_{карта}}{10} \cdot \frac{c_k}{r} \cdot \Delta v_{карта} \quad (6)$$

Пример: $M_{карта} = 1 : 100$, снимок изготавливался фототеодолитом Цейсс ($c_k = 200$ мм), речь идёт о точках, находящихся в углу снимка, т. е. в случае негатива размером 13×18 см $r = 100$ мм, а $\Delta v_{карта} = 0,4$ мм (графическая точность).

$$\Delta Y = \frac{100}{10} \cdot \frac{200}{100} \cdot 0,4 = 8 \text{ см.}$$

Важно, чтобы при изготовлении съёмки архитектурных сооружений с одним снимком обязательно учитывалась разница глубины фасада. Это показано на рис. 3. Горизонтальное расстояние в метрах откладывается по горизонтальной оси, а по вертикальной оси — разница глубины в см. Подписи около линий графиков означают высоту зданий. По графику можно определить с какого рас-



МАСОУН ТЕЛЕВИЗОН Сомбафдо йери эахилкээ
ДЭНН көндөлүкүл
1:1=1:100

Кораллас: И.И.С. Гошкеев, И.И.С. Гошкеев
1971, XI Апрельден 1971, 3

Рис. 3

стояния надо фотографировать здания определённой высоты с определённой разницей глубины с помощью фототеодолита *Цейсс* так, чтобы ошибка, возникающая из-за разницы глубины, могла бы быть исправлена с помощью трансформирования и была бы допустимой.

Обработка фотограмметрических снимков для решения задач архитектурного характера может производиться следующими образами:

- графическая обработка,
- цифровая обработка,
- комбинированный способ.

Графическая обработка может вестись следующими методами:

а) методом перспективной сети. С помощью этого метода снимаются такие здания, у которых фасад представляет собой одну плоскость (части фасадов, стены с мозаикой, картины народного искусства на стенах);

б) методом центрального графического проектирования, с помощью радиусов-проектирования по двум снимкам. Этим методом могут изображаться фасады зданий сильно расчленённые в пространстве и обладающие большим числом деталей;

в) методом составления фототрансформированного изображения фасада;

г) методом обработки на стереофотограмметрическом приборе. С помощью пары снимков восстанавливается стереоскопическая модель здания и на её основе рисуется чертёж фасада.

Цифровая обработка может вестись следующим образом:

а) монокулярная обработка нормальной стереограммы с помощью точной линейки;

б) обработка нормальной стереограммы под стереоскопом со стереомикрометром;

в) обработка нормальной стереограммы на стереокомпараторе или стекометре.

Комбинированная обработка производится следующим образом:

а) обработка на стереоавтографе или стереоетрографе пространственной модели по паре снимков с аффинным искажением;

б) цифровая обработка главных точек фасада с фототрансформированием деталей фасада.

4. Решение архитектурных задач с помощью фотограмметрии

Для реконструкции здания *Венгерской Академии Наук* (рис. 4, 5) изображение фасадов изготавливалось с помощью фотограмметрии. Снимки изготавливались фототеодолитом *Цейсс*, обработка их велась на стереоетро-

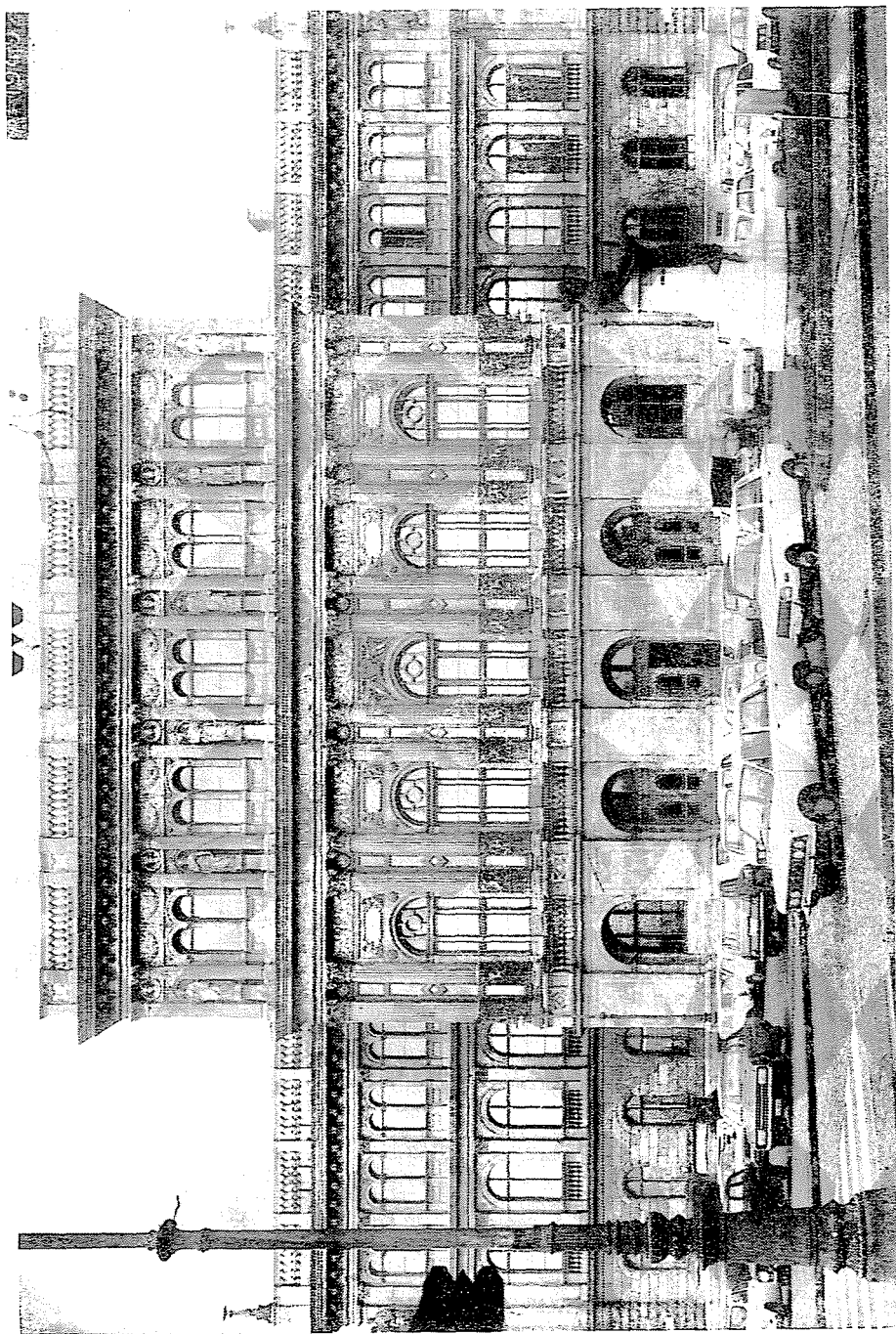


Рис. 4. Фотограмметрический снимок фасада Венгерской Академии Наук

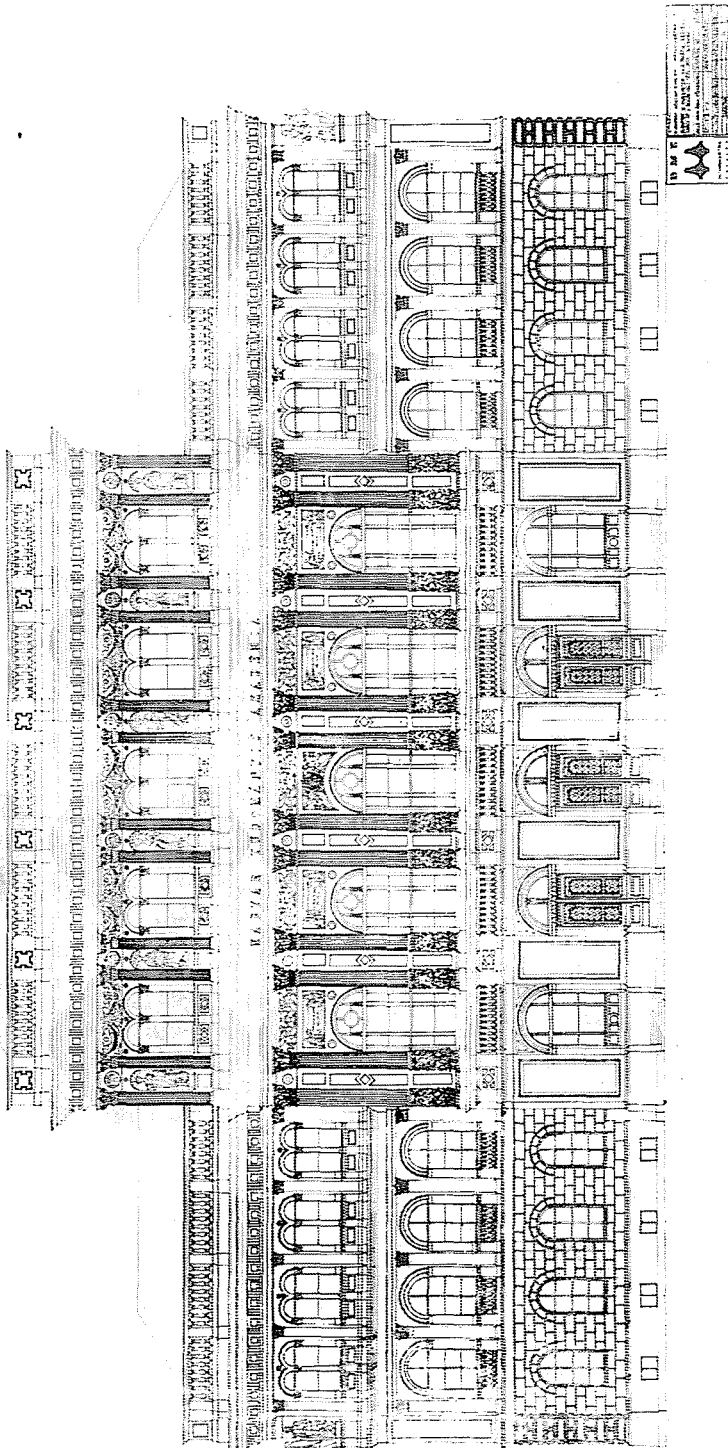


Рис. 5. Чертеж главного фасада Венгерской Академии Наук

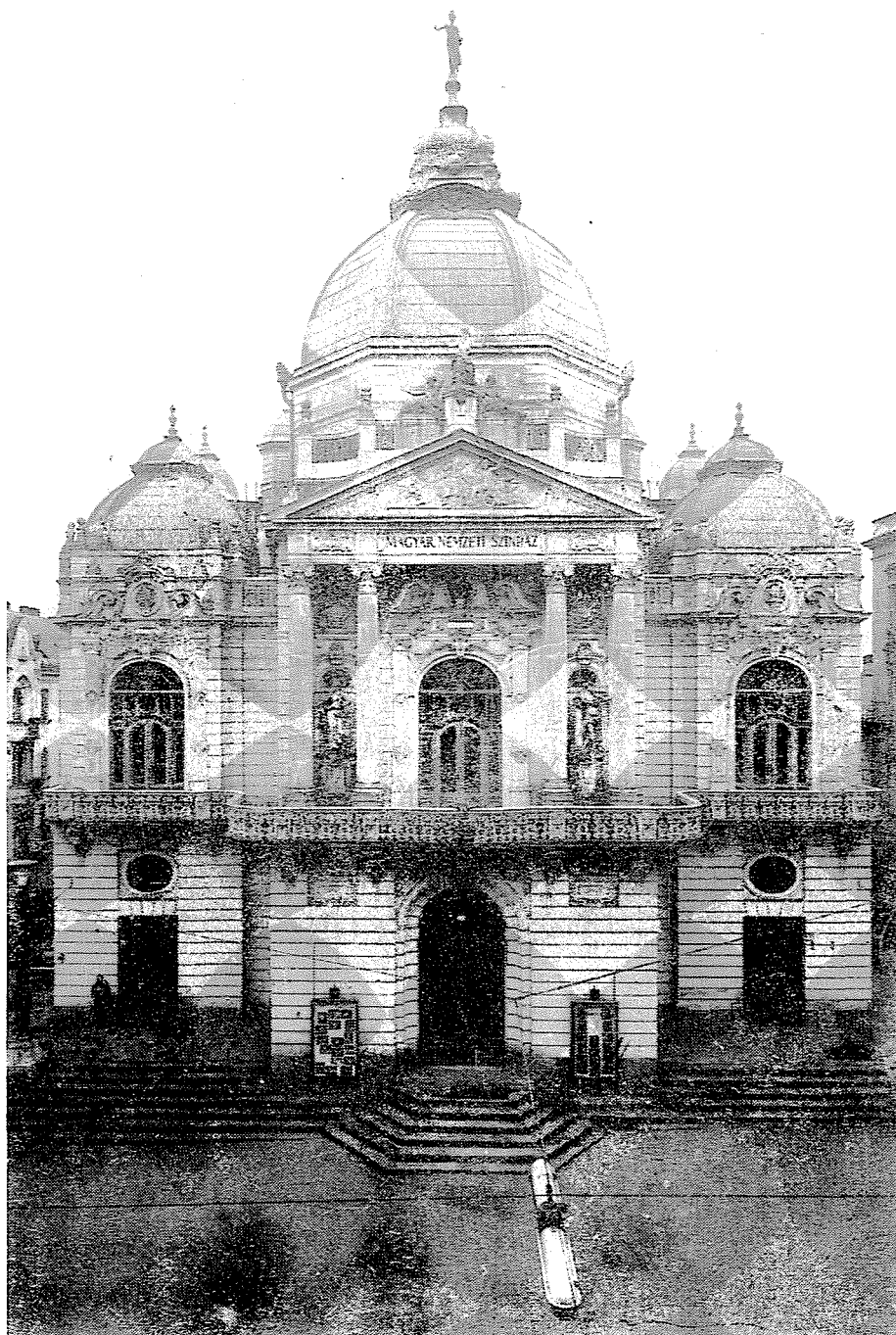
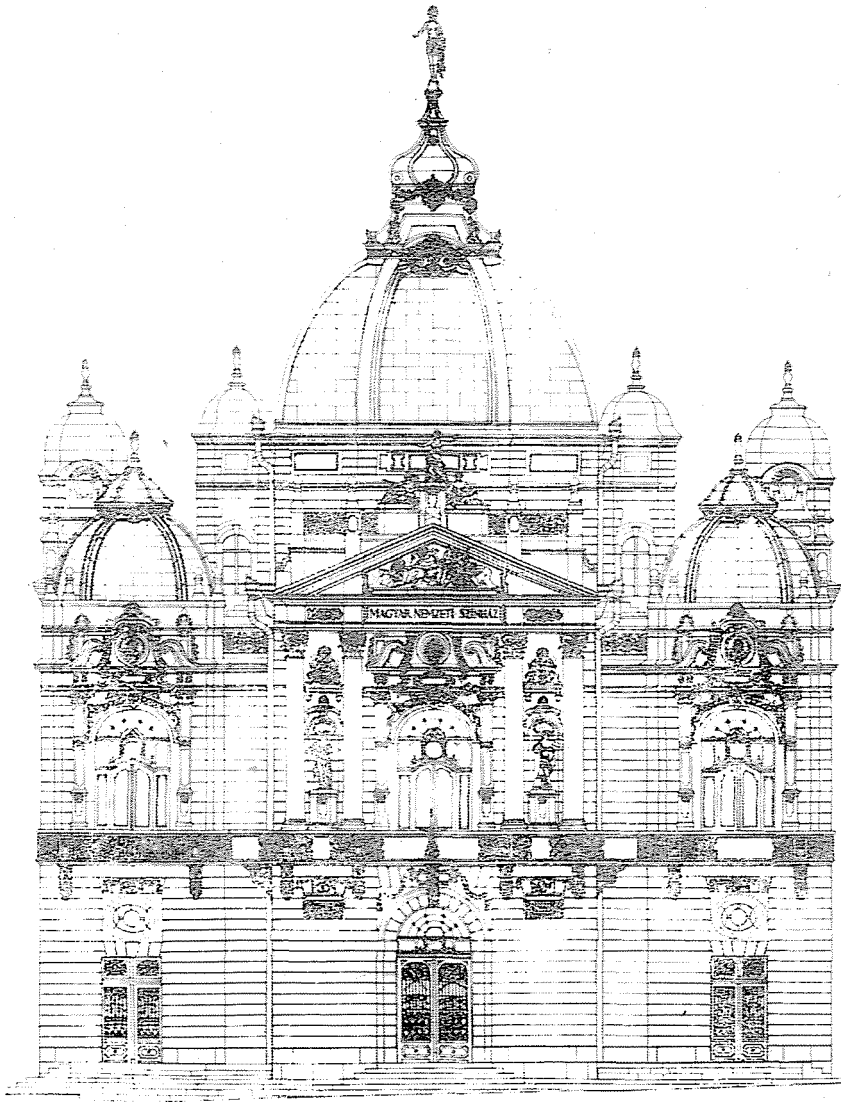


Рис. 6. Фотограмметрический снимок фасада Национального Театра в г. Печ.



POLLACK KÁRLY MŰSZAKI FŐISKOLA	1904/05
MŰVÉSZETI TANSZÉK	1904/05
PÉCSI NEMZETI SZÍNHÁZ	1910
FŐMÉRLEGZÉS	

Рис. 7. Чертеж фасада Национального Театра в г. Печ

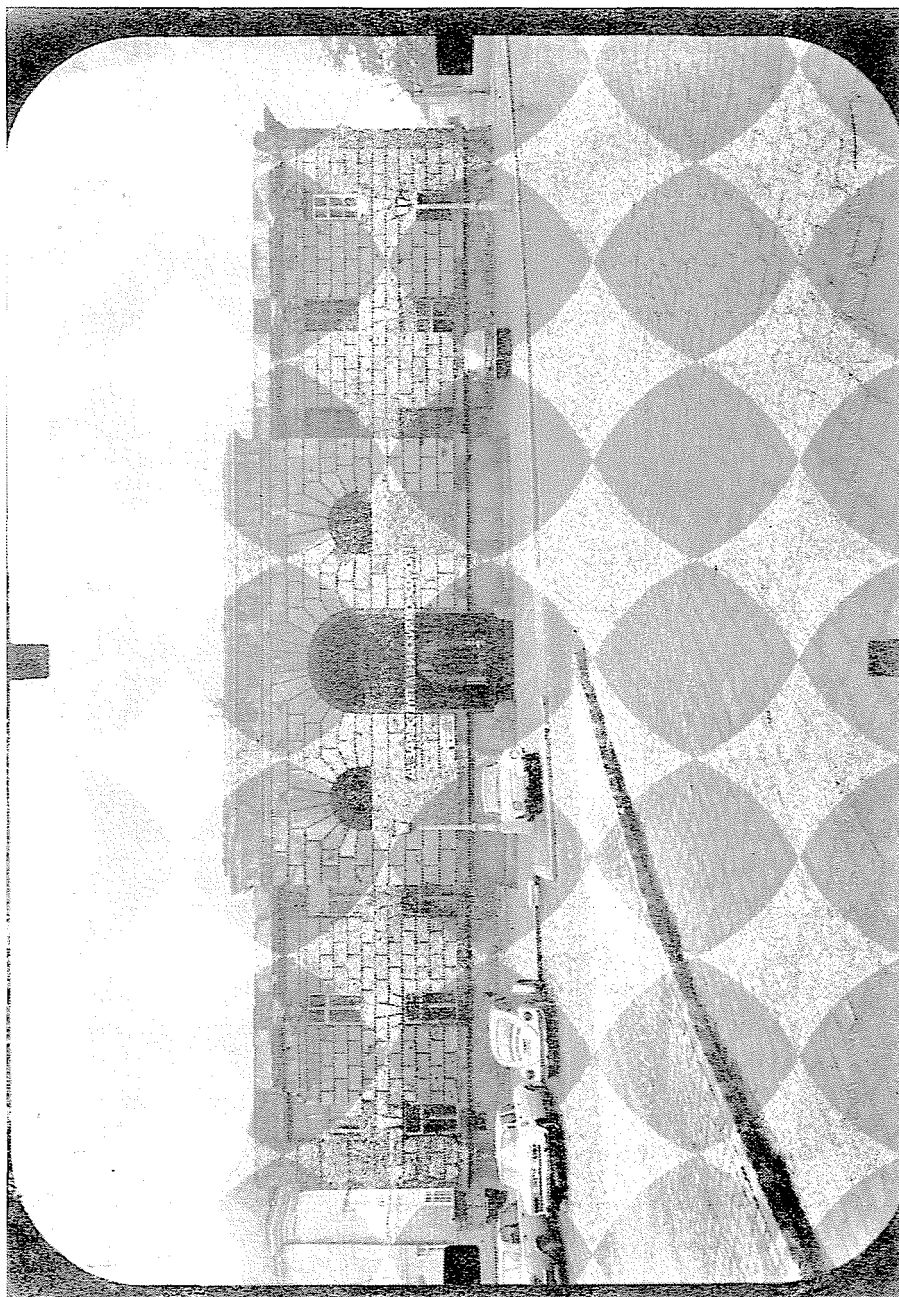
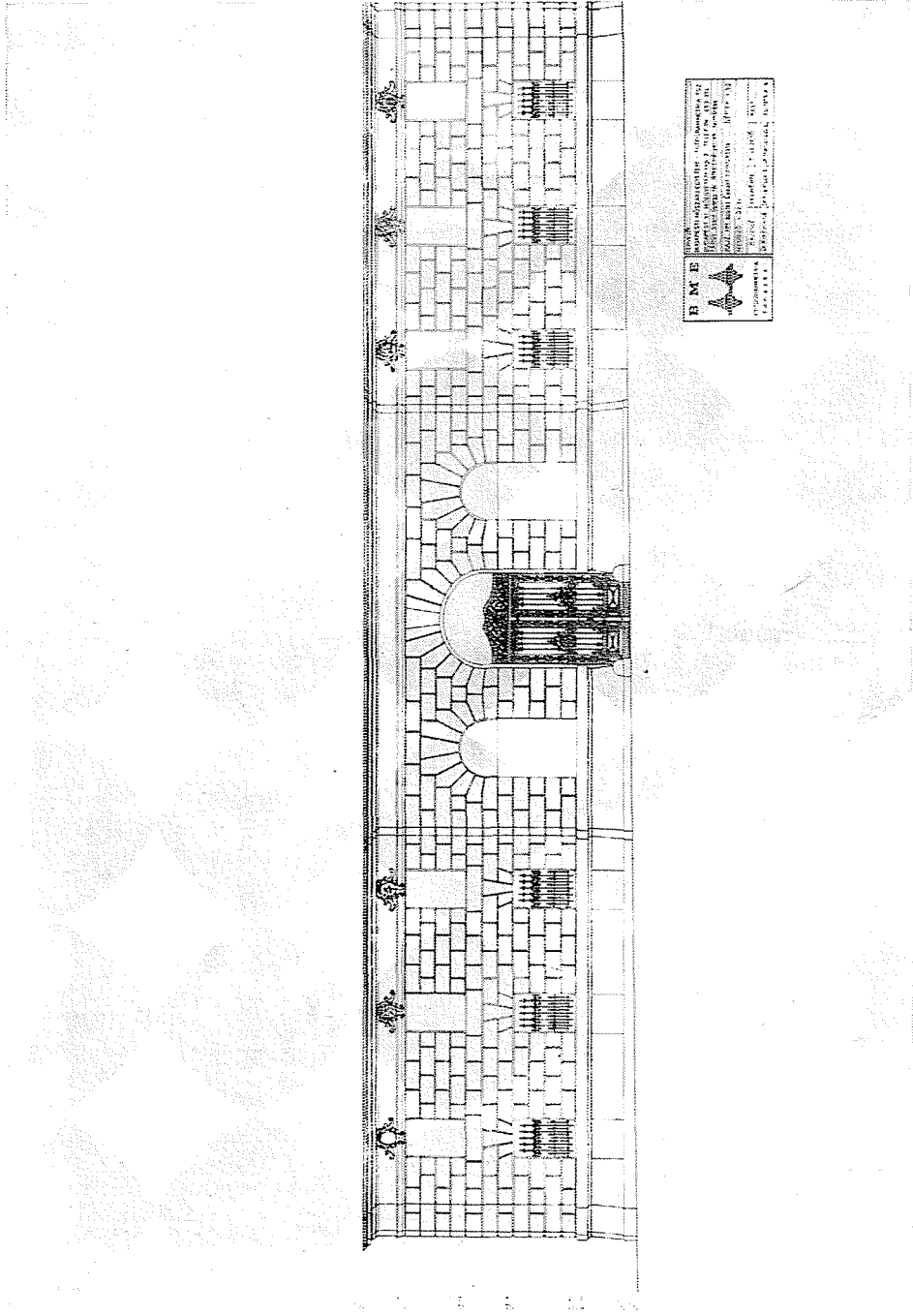


Рис. 8. Снимок будейского двора Шаидора



В. М. Е.
 Проект архитектора — архитектора
 В. М. Е. в 1910 г. в Москве
 Издание 1910 г. в Москве
 Издание 1910 г. в Москве
 Издание 1910 г. в Москве

Рис. 9. Церквѣк фасада будайскаго двораца Шацкога



Рис. 10. Снимок бокового фасада здания Венгерского Телевидения

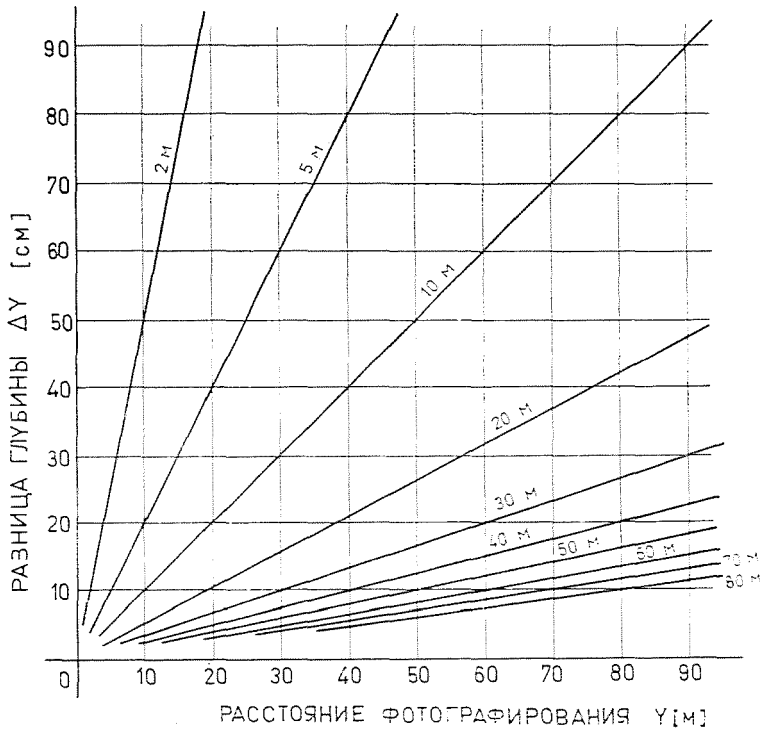


Рис. 11. Чертеж бокового фасада здания Венгерского Телевидения

графе. Для реконструкции здания *Национального Театра* в г. Печ (рис. 6, 7), будайского *дворца Шандора* (рис. 8, 9), здания *Венгерского Телевидения* (рис. 10, 11), а также *дворца «Анкер»* на площади *Деак* снимки изготавливались с помощью камеры УМК, а обработка их производилась на Технокарте Цейсс (рис. 12, 13).

5. Точность и эффективность фотограмметрической обработки

Точность чертежей фасадов зданий, полученных фотограмметрическим путём, зависит от трёх факторов:

- 1) от точности используемого снимка, которая определяется освещением здания, качеством камеры, светочувствительного материала и метода его проявления и хранения;
- 2) от точности фотограмметрического инструмента и метода обработки снимков;
- 3) от точности геодезической основы.

Точность обработки снимков по точкам определяется средней ошибкой μ_m , которая характеризует точность положения в плоскости точек модели и

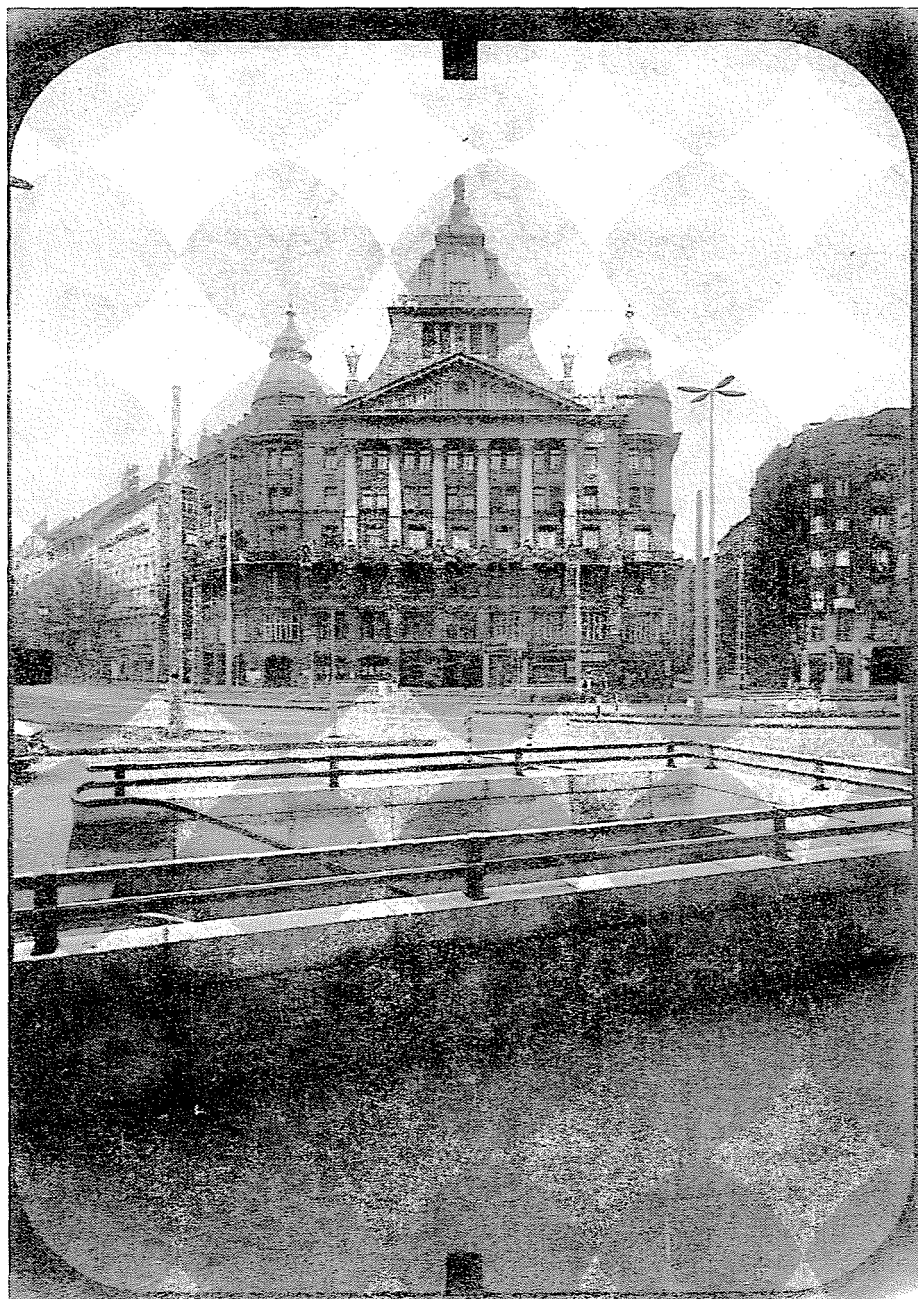


Рис. 12. Снимок фасада дворца Анкер

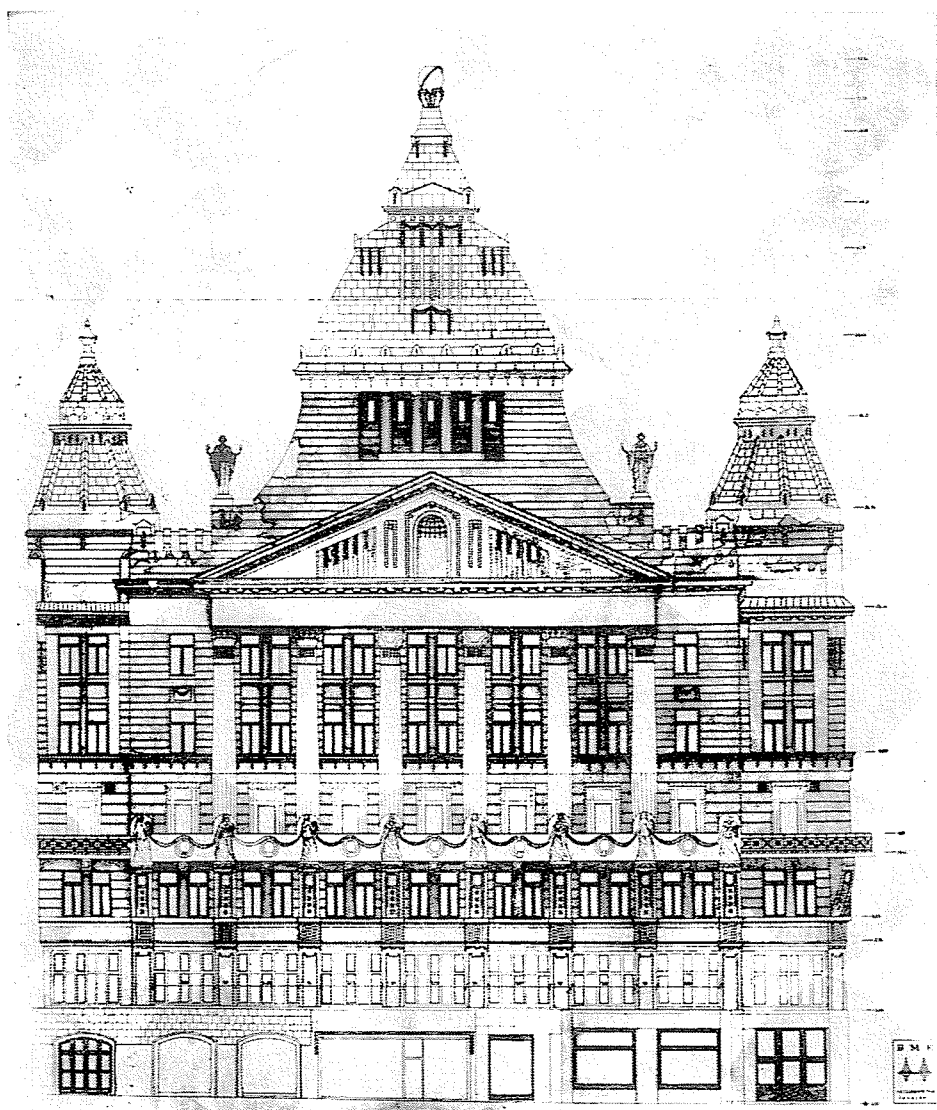


Рис. 13. Чертёж фасада дворца Анкер

зависит от средней ошибки опознавания точек μ_a и от соотношения масштабов снимка и модели, т. е.

$$\mu_t = \mu_a \cdot \frac{M_{\text{снимок}}}{M_{\text{модель}}}$$

Можно принять, что $\mu_a = \pm 0,1$ мм. Этой ошибке на модели в действительности соответствует средняя ошибка

$$\mu_p = \mu_t \cdot M_{\text{модель}} = \mu_a \cdot M_{\text{снимок}}$$

Приняв во внимание соотношение масштабов снимка и чертежа фасада, были получены следующие величины ошибок μ_n и μ_p .

$M_{\text{чертёж}}$	$M_{\text{снимок}}$	$\mu_n(\text{мм})$	$\mu_p(\text{см})$
1 : 50	1 : 200	0,02	2
1 : 100	1 : 450	0,04	4
1 : 200	1 : 600	0,03	6

При обработке снимков по линиям марка инструмента ведётся в пространстве гороздо с большей неопределённостью, чем величина μ_m . При этом ошибка в положении линии принимается равной величине ошибки вычерчивания $\pm 0,5$ мм. Положение линии в масштабе чертежа фасада будет определяться ошибкой

$$\mu_G = \pm 0,5 \cdot M_{\text{чертёж}} \text{ (мм)}.$$

Так, например, в масштабе 1 : 50 она будет равна 2,5 см, в масштабе 1 : 100 — 5 см, в масштабе 1 : 200 — 10 см.

Для определения *экономичности* фотограмметрического метода применяется несколько способов статистической обработки. Для одной из них требуется определить время, затраченное на изготовление чертежа фасада размером 10 × 10 см.

$$L = \frac{M_{\text{чертёж}}}{20}.$$

Величину расходов, затраченных на изготовление 1 м² фасада, определить ещё сложнее. Так же трудно определить в процентах от всей стоимости величину расходов на отдельные процессы.

Удобнее всего затраты материальные и по времени для этого метода определять относительно тех же данных геодезического метода. Установлено, что по затраченному времени этот метод экономичнее, чем геодезический, на 40—60%, а по материальным расходам — на 10—25%.

Резюме

Архитектурная фотограмметрия является только одним из видов применения фотограмметрии. Задачи её заключаются в изготовлении планов и чертежей фасадов архитектурных памятников и прочих зданий и сооружений с целью их реконструкции, проектирования и архивного хранения. Съёмка фасадов ведётся фотограмметрическим методом с одним снимком или методом стереофотограмметрии. В работе даётся описание съёмочных камер и обрабатывающих приборов, применяемых в архитектурной фотограмметрии. Описываются методы обработки снимков. Чертежи и планы фасадов изготавливаются в масштабе 1 : 50 и 1 : 100. В конце работы даётся анализ точности архитектурной фотограмметрии и эффективности её применения. Точность обработки по точкам в масштабе 1 : 50 ± 2 см, а обработка по линиям ведётся с точностью $\pm 2,5$ см.

Доцент Д-р Ласло Киш Папп, Н-1521 Будапешт