

# 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:  $13 \times 18$  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:  
 $0 \pm 100$  град

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

Вильд П. 31.  
фок.рас. = 100 мм  
размер снимка:  $10 \times 15$  см  
возможности наклона:  
 $0 \pm 10$  град

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

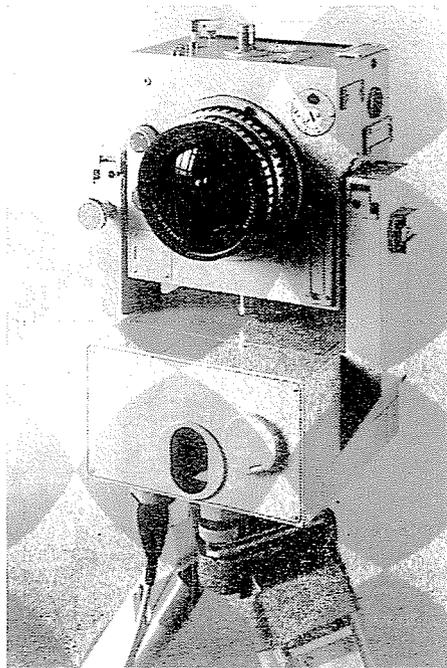


Рис. 1. Камера УМК

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  $\Delta Y$  (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.

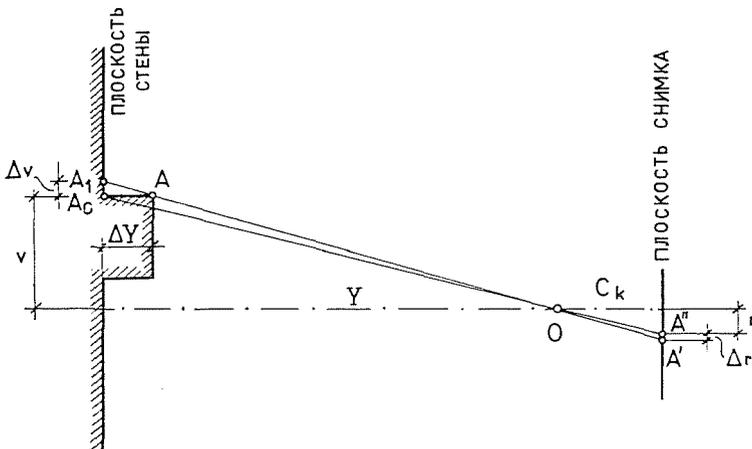


Рис. 2

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  $\Delta r$ . 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  $\Delta v$  и  $\Delta r$  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  $\Delta Y$  вызывает недопустимую ошибку. На основании формулы (2) вычислим величину  $\Delta v$  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  $\Delta Y$  определяется в см.

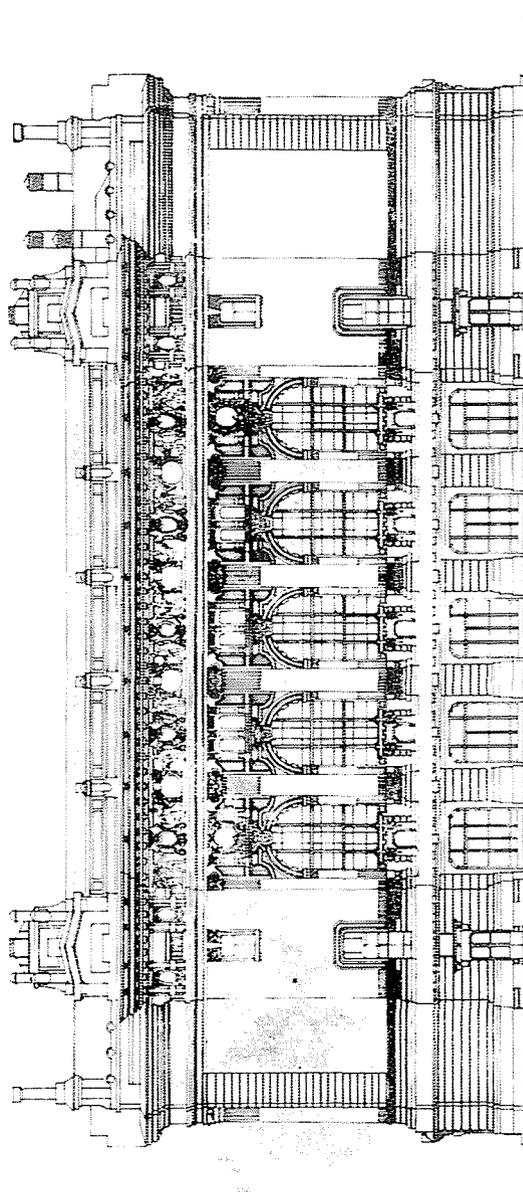
$$\Delta v_{карта} = \frac{10}{M_{карта}} \cdot \frac{r}{c_k} \cdot \Delta Y \quad (5)$$

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

*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  $13 \times 18$  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 көндөлүкөлү  
1:1=1:100

Көзүлүкчү: И.И.Е. Гошкеев; ирилээт  
1:1=1:100  
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-

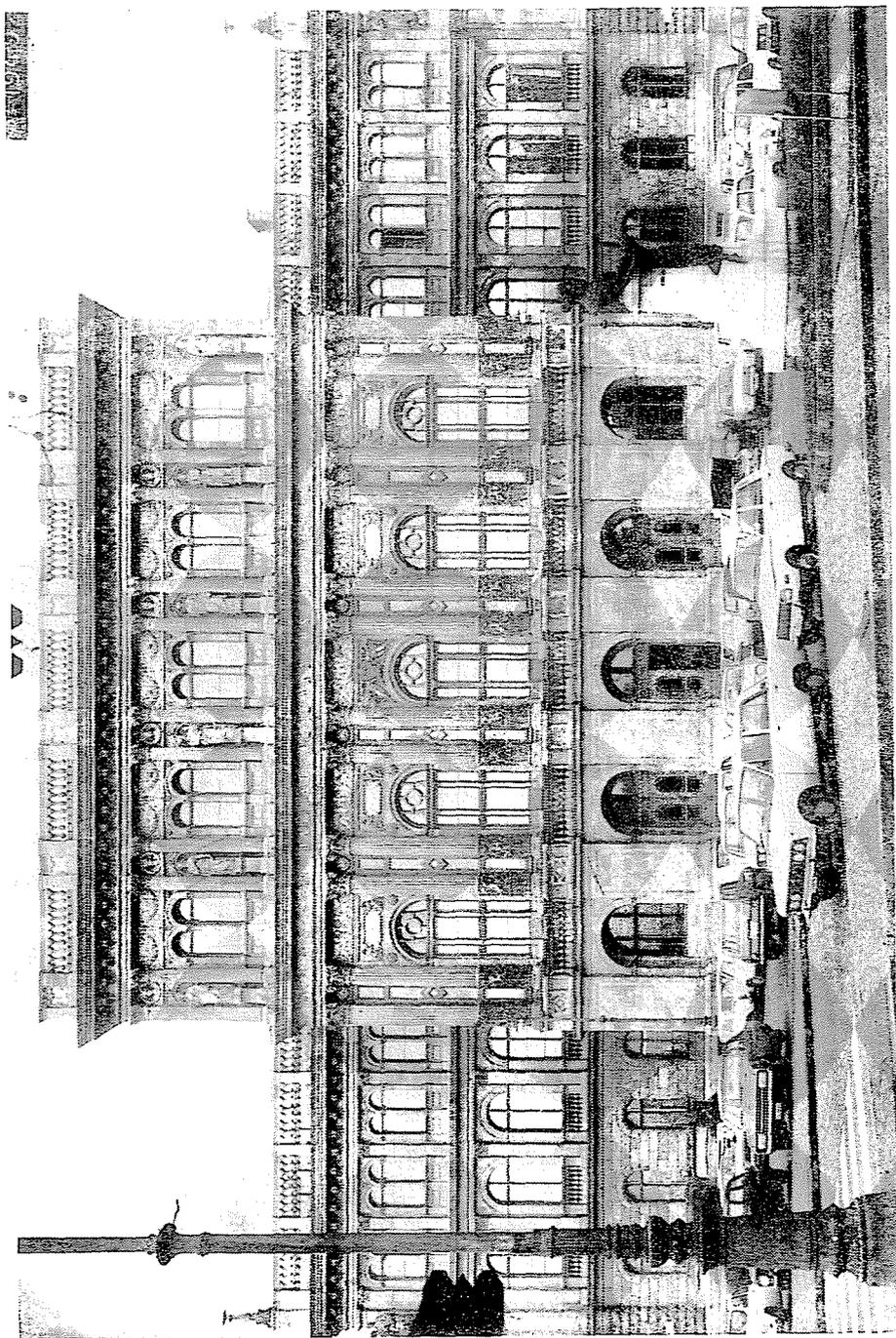


Рис. 4. Фотограмметрический снимок фасада Венгерской Академии Наук

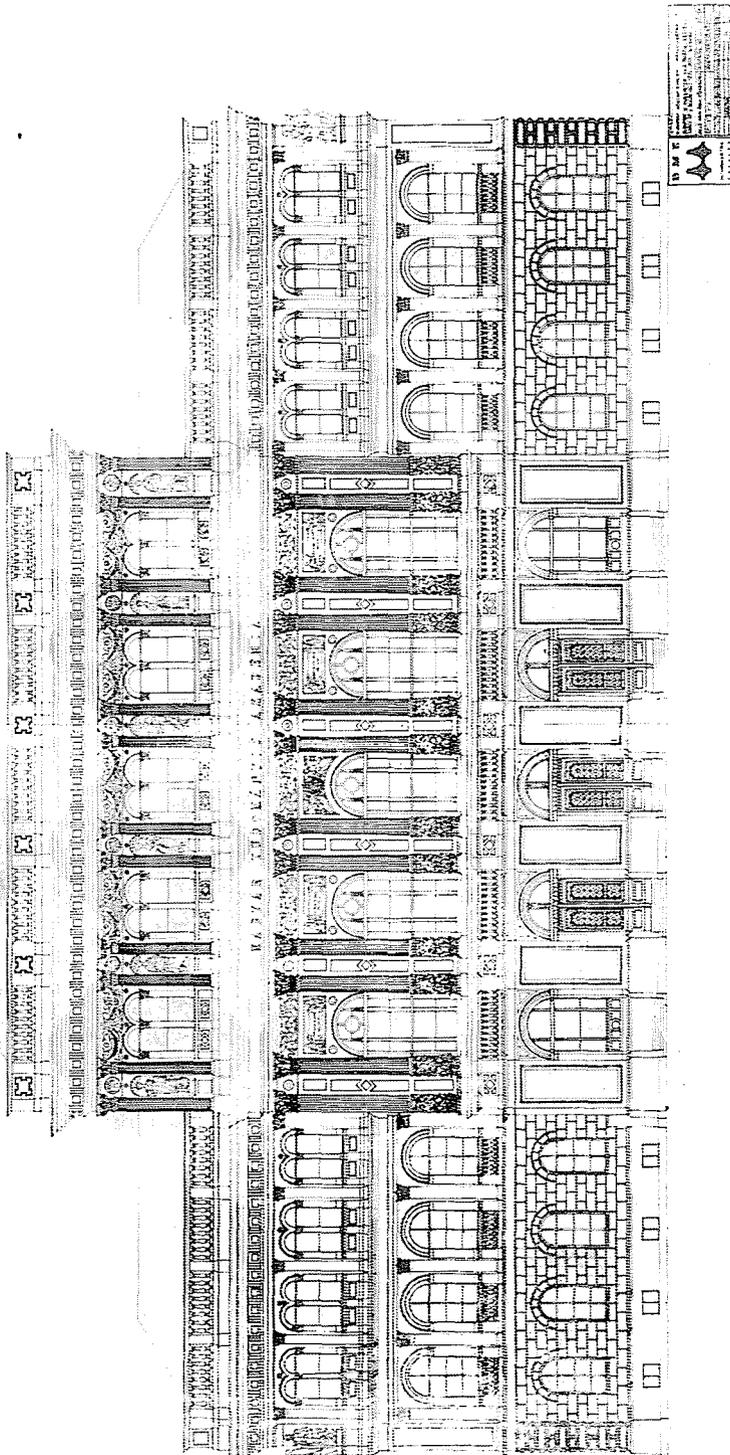


Рис. 5. Чертеж главного фасада Венгерской Академии Наук

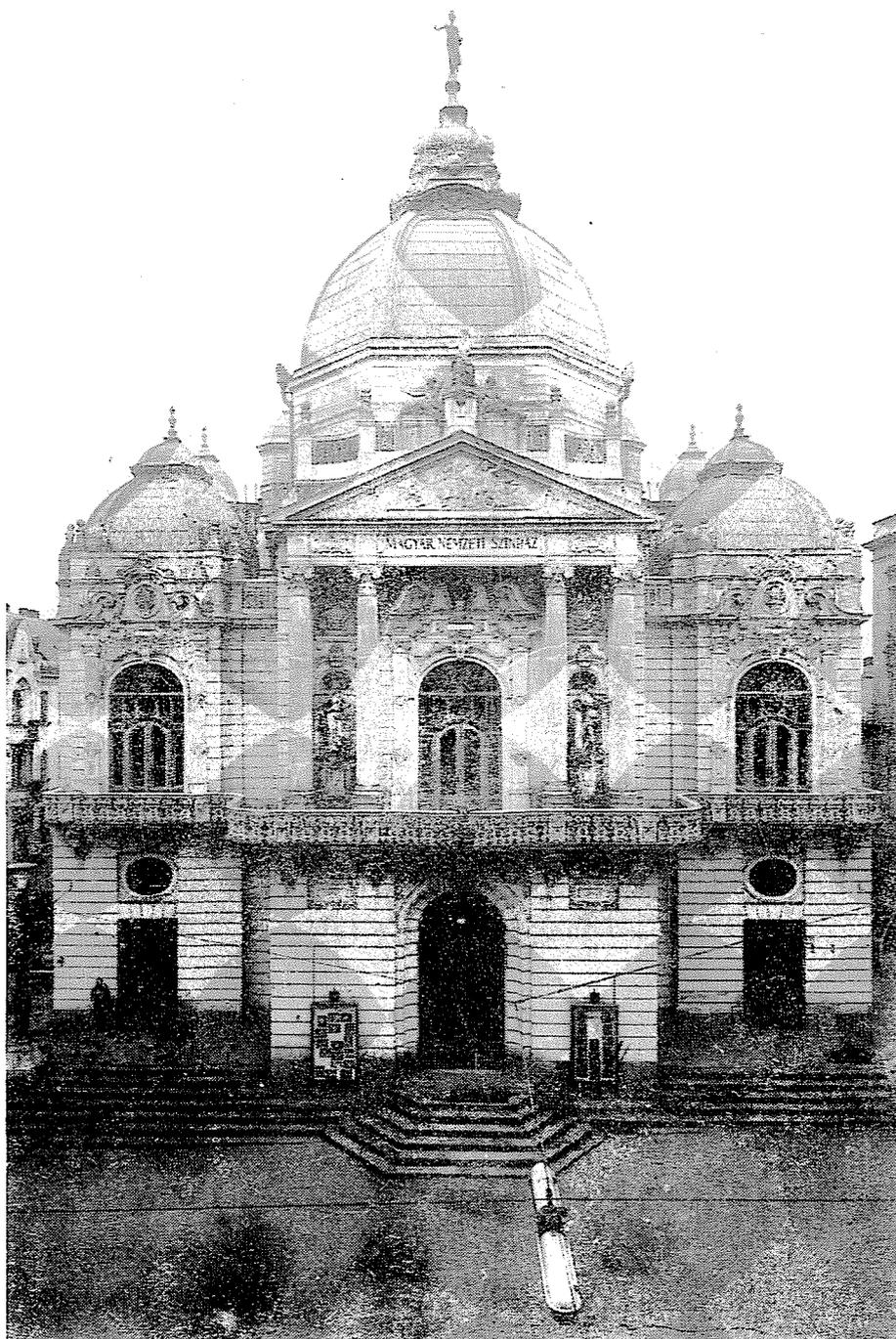
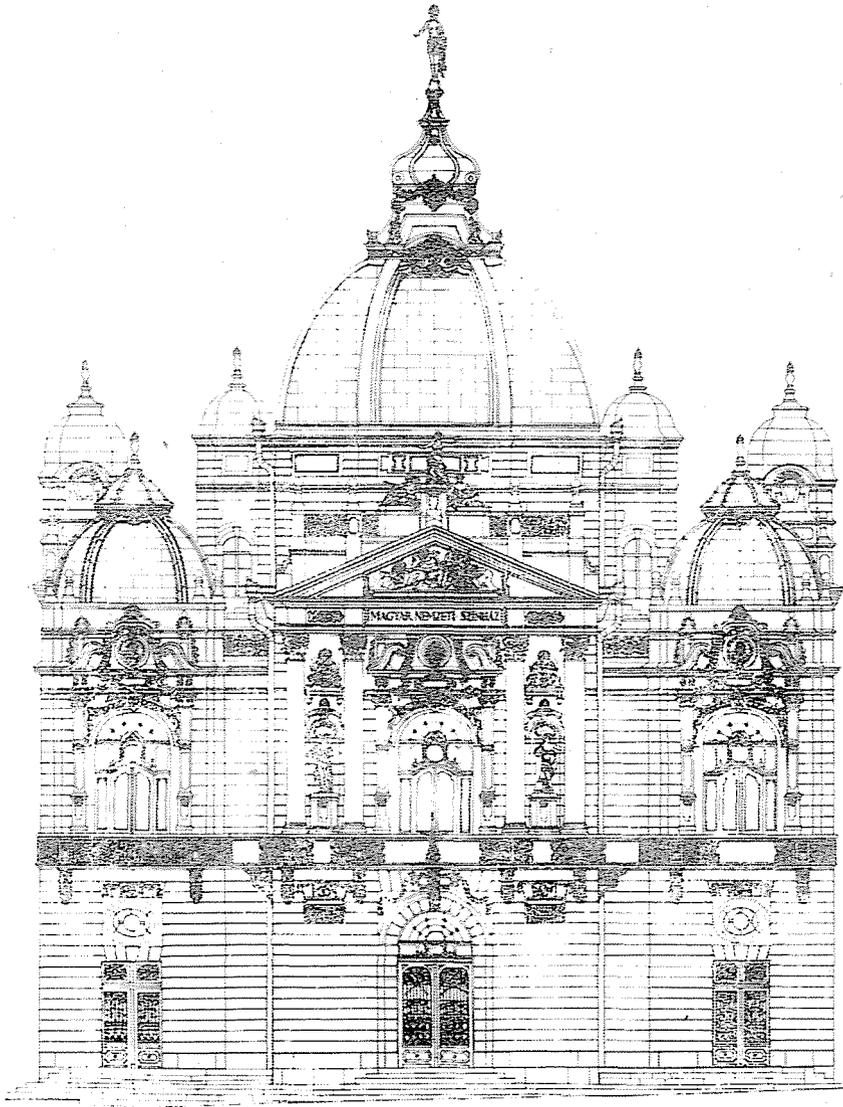


Рис. 6. Фотограмметрический снимок фасада Национального Театра в г. Печ.



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

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

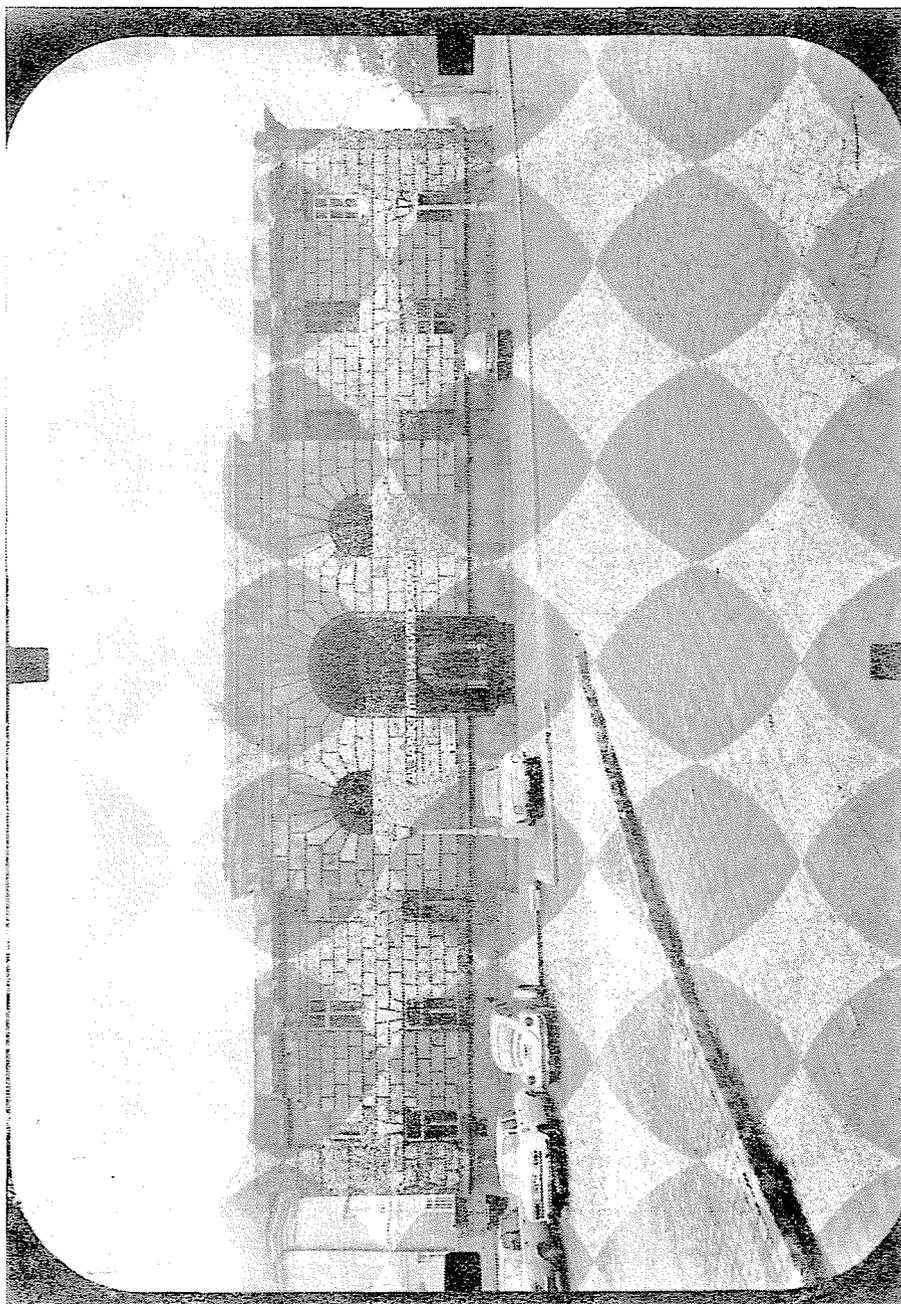


Рис. 8. Снимок будайского двора Шаидора

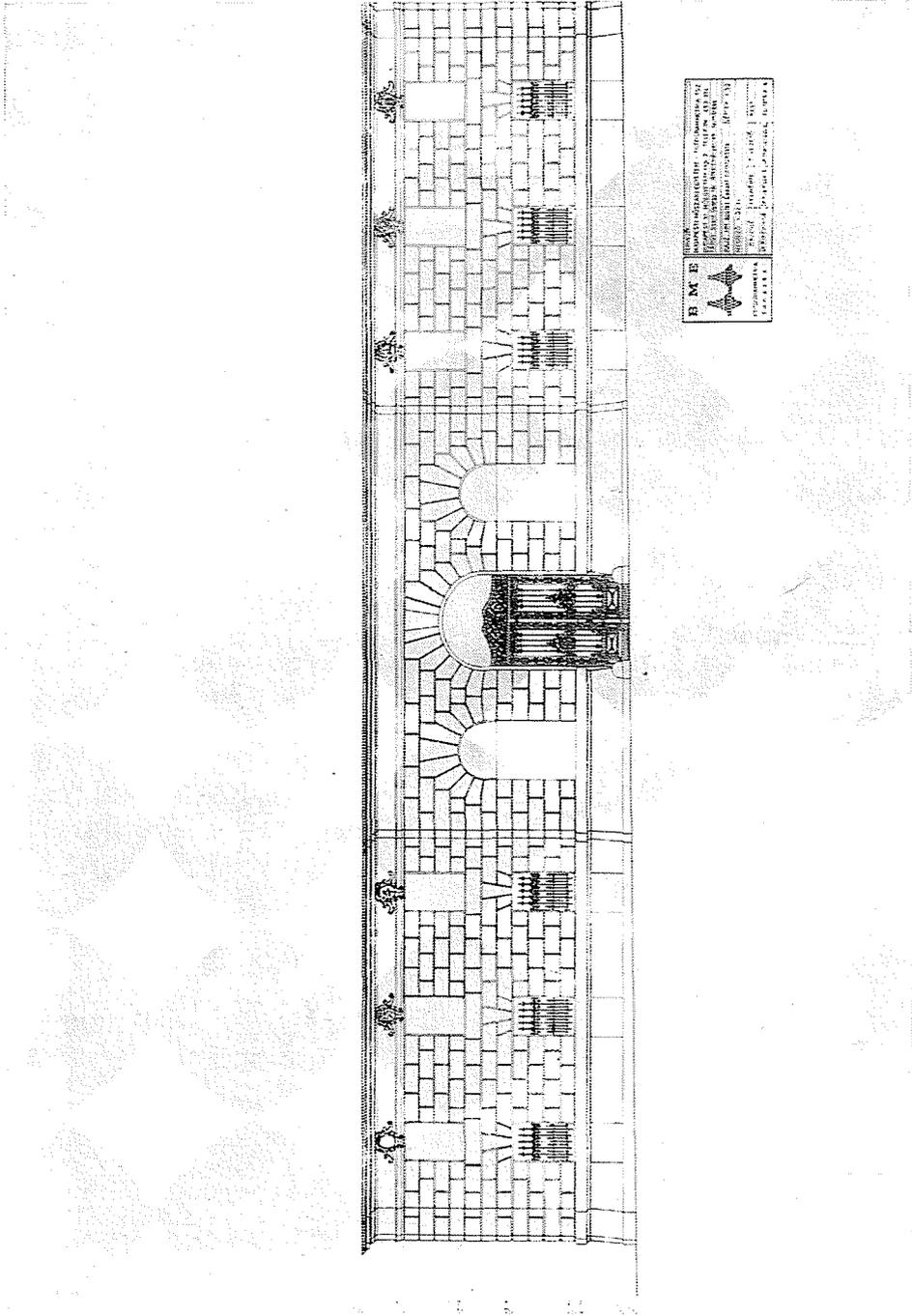


Рис. 9. Церквѣк фасада будапѣстскаго двораца Шапцора



Рис. 10. Снимок бокового фасада здания Венгерского Телевидения

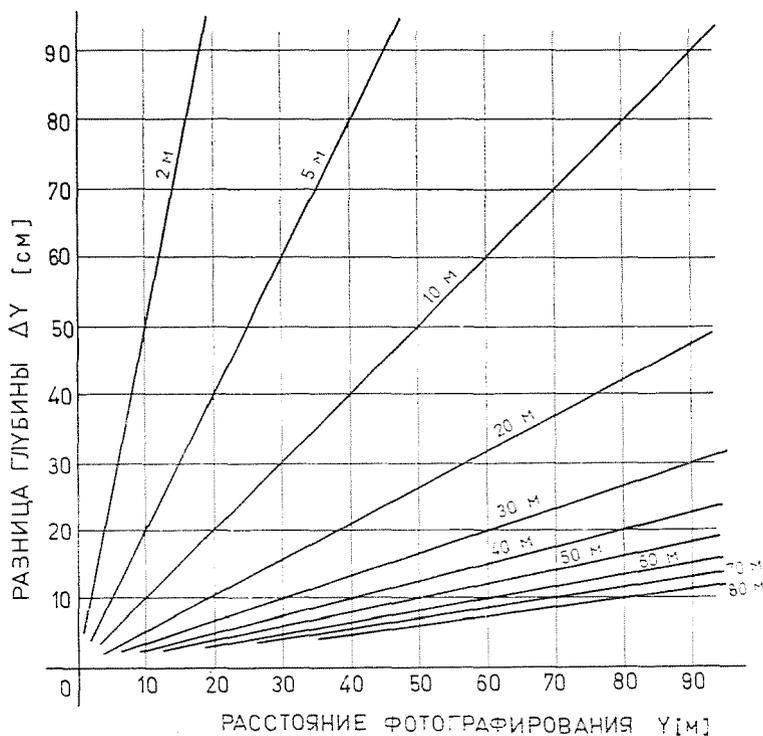


Рис. 11. Чертёж бокового фасада здания Венгерского Телевидения

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  $\mu_m$ , которая характеризует точность положения в плоскости точек модели и

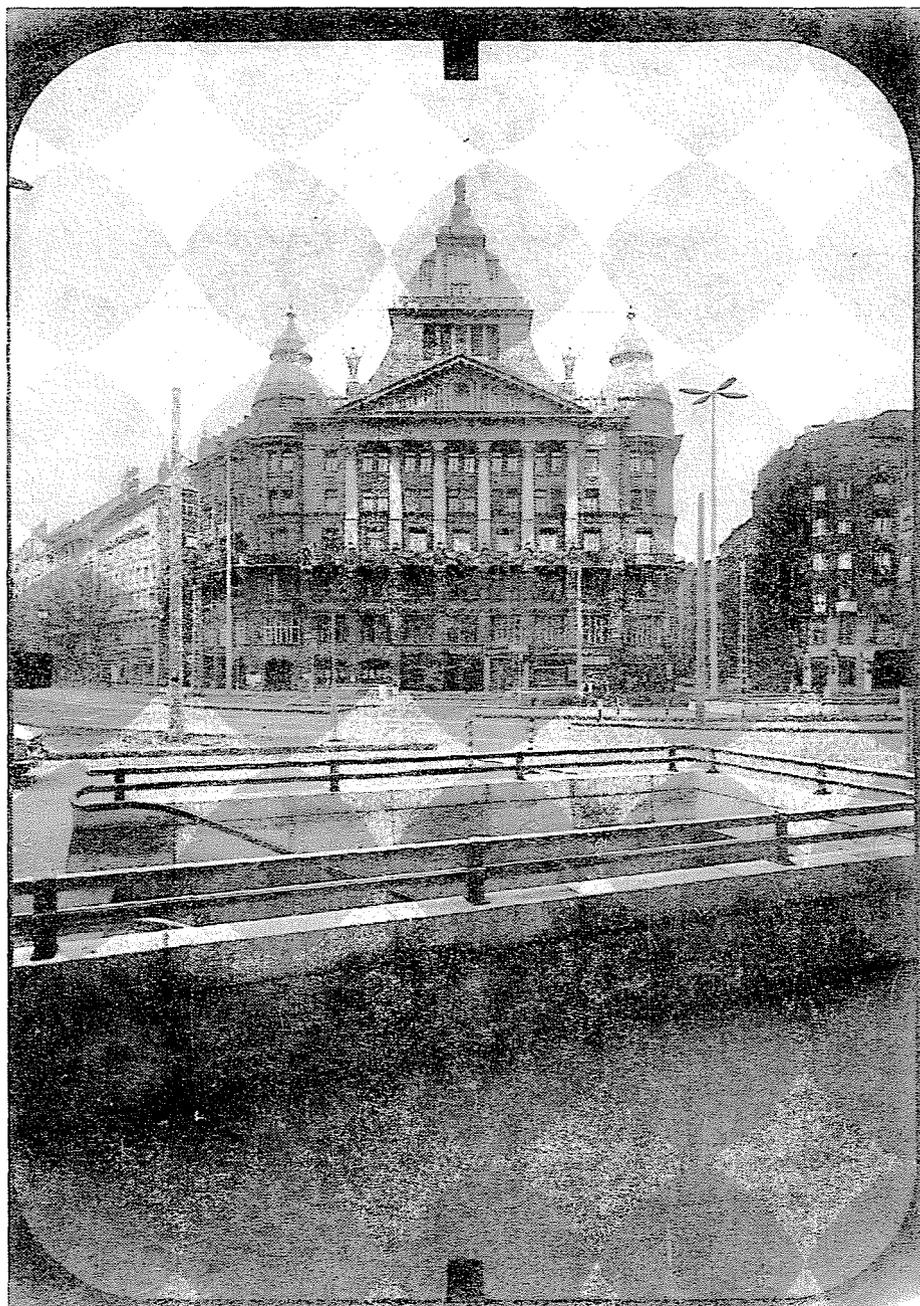


Рис. 12. Снимок фасада дворца Анкер

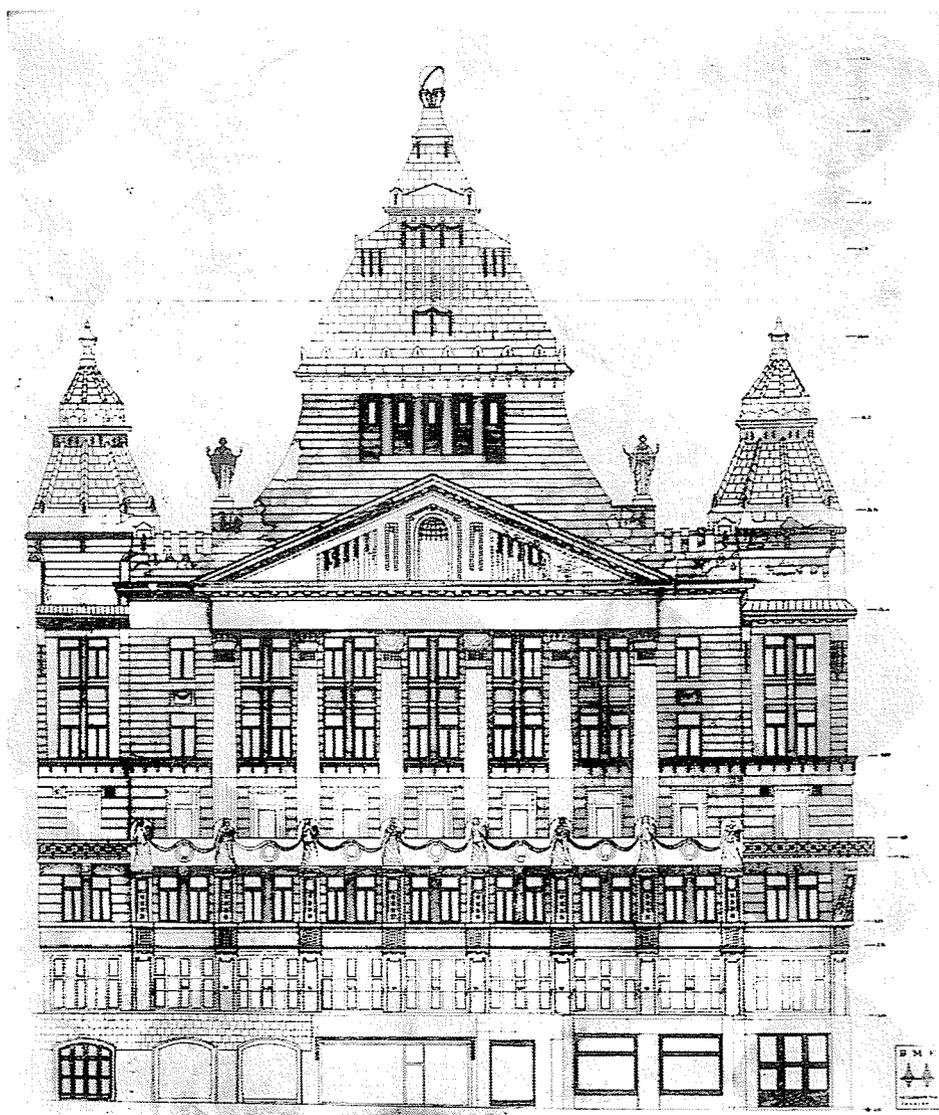


Рис. 13. Чертёж фасада дворца Анкер

зависит от средней ошибки опознавания точек  $\mu_a$  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  $\mu_n$  и  $\mu_p$ .

$M_{\text{чертёж}}$	$M_{\text{снимок}}$	$\mu_n(\text{мм})$	$\mu_p(\text{см})$
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  $\mu_m$ . 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 м<sup>2</sup> 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  $\pm 2$  см, а обработка по линиям ведётся с точностью  $\pm 2,5$  см.

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