

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ КРУЧЕНОСТИ СТАЛЬНЫХ БАЛОК СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Л. КИШ ПАПП и М. ИВАНИ

Кафедра Фотограмметрии и Кафедра Стальных конструкций

Будапештского Технического Университета

(Поступила в печать VI. 2. 1971)

Представлено проф. Л. Хомороди

1. Введение

При определении размеров балок и рам на основании теории излома недостаточно рассматривать лишь то, может ли образоваться пластический шарнир в сечении максимального момента инерции, но надо получить ответ и на то, может ли «продержаться» этот момент до тех пор, пока путем формирования последующих пластических шарниров текущий механизм конструкций будет полным [5, 6, 12].

Нет необходимости исследовать величину поворотной способности в тех случаях, когда нагрузка в несущих конструкциях не вызывает нестабильных явлений (выверт, вмятины пластины, выгибание). Однако в случае стальных балок I-сечения, где могут возникнуть нестабильные явления, поворотную способность надо проверять, так как возможно, что — хотя момент излома в данном сечении балки и образуется, — нестабильность помешает образованию дальнейших деформаций, что вызовет «преждевременное» разрушение всей балки (рис. 1).

Исследование этого явления мы и проводили способом стереофотограмметрии.

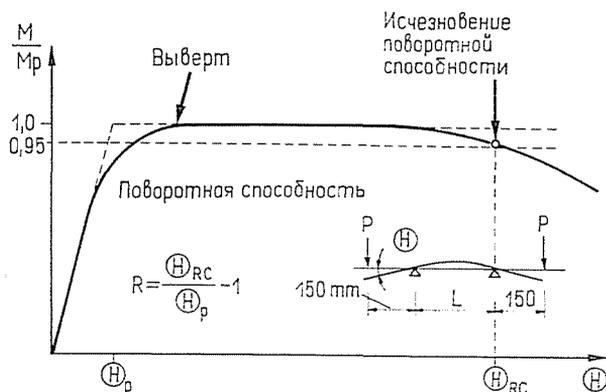


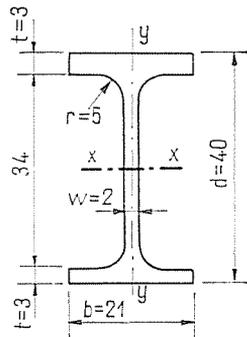
Рис. 1

2. Подготовка пробных образцов и нагрузка

Опыты проводились на небольших стальных балках с поперечным сечением I. Размеры сечений пробных образцов и обозначения даны на таблице 2. Остная пластина и пояс были вырезаны из горячепрокатных листов. Расстояния между опорами балок были выбраны так, чтобы в упругом состоянии балки не выворачивались (табл. 1).

Сечение	Данные					Ось x					Ось y	
	d	b	w	t	F	J_x	i_x	Z_x	$*Z_{plx}$	J_y	i_y	
	mm					cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ⁴	cm	
I 40	40	21	2	3	2,155	5,527	1,602	2,02	2,764	3,307	0,471	

$$*Z_{plx} = (F - wd) \frac{d - t}{2} + \frac{wd^2}{4} = 3,307 \text{ cm}^3$$



Балки нагружались постоянным моментом, постоянный момент на балках с различными опорными расстояниями мы вызывали постоянными концентрированными силами, действующими на консолях 150 мм-вой длины.

Балки могли свободно поворачиваться у опор, в вертикальной плоскости, но боковое закручивание и поворот были предотвращены. Поперечное сечение консолей было усилено, чтобы на этом участке не возникла текучесть.

Серия опытов проводилась на прессе, сила нагрузки замерялась электрическим динамометром и фиксировалась компенсографом, поскольку в случае текучести статическая (нижняя) граница текучести выявляется только по истечении определенного времени, то есть необходимо было фиксировать время.

3. Определение деформации способом стереофотограмметрии

Преимущества земной стереофотограмметрии при определении деформаций:

Наземная фотограмметрия дает возможность делать такие фотоснимки, которые в данный момент при определенной нагрузке фиксируют положение пробного образца. В процессе обработки на пробном образце замерялись величины, характерные для сдвига любого количества точек. Элементы внутренней ориентировки измерительной камеры и базис фотоснимков были известны. С их помощью были определены действительные величины сдвигов. Стерео-

фотограмметрическая оценка позволяет определить все три составных движения в пространстве. Другим преимуществом использования стереофотограмметрии является то, что измерения негативов могут быть повторены в любое время, то есть информация, даваемая в виде фотоснимков, не теряет своей ценности и с течением времени.

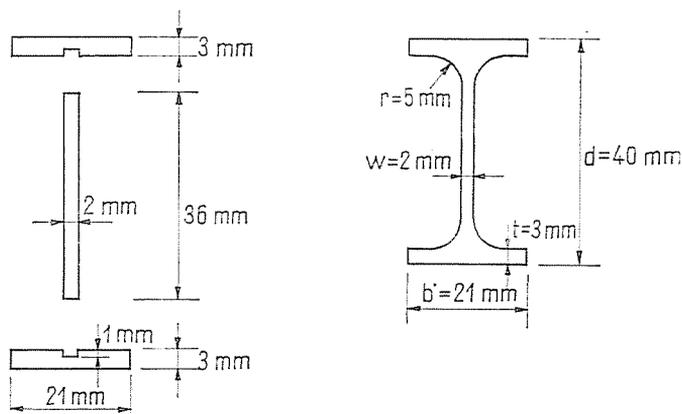


Рис. 2

Подготовка к фотографированию

Фотоснимки были сделаны с помощью фототеодолита Цейсса с обозначением 19/13 (рис. 3). Объектив камеры типа Цейсса дает контрастное изображение только при расстоянии более 8 м. Поскольку опыты с моделями проводились в лаборатории и опорные расстояния балки не превышали 1 м, было целесообразным принять небольшое, всего 1,15 м расстояние до предмета. В соответствии с этим пришлось изменить и постоянную камеры, чтобы можно было делать снимки, которые можно было бы обработать. Постоянную камеры мы изменили с помощью регулируемого кольца.

Определенная с помощью лабораторных исследований, предложенных Научно-исследовательским институтом горной промышленности, измеренная постоянная камеры составила 241,36 мм. Определение надежности (правильности) постоянной камеры требует проведения дальнейших исследований [2].

Кроме того была исследована дисторсия объектива. На лист с металлической подлаткой была сфотографирована квадратная сетка в условиях, сходных с теми, что имели место при фотографировании в опыте с моделями. На основании этого был сделан вывод, что в средней части снимка, куда попадет изображение исследуемой модели, величина дисторсии системы объектива может не приниматься во внимание.

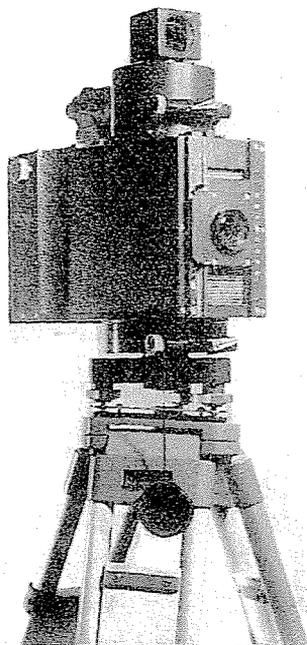


Рис. 3

Определение длины базиса фотографирования

Обозначения

A	— Площадь сечения
E	— Модуль упругости
E_{st}	— Модуль упрочнения
G	— Модуль сдвига
G_{st}	— Модуль сдвига при упрочнении
J	— Момент инерции
L	— Пролет балки
M	— Изгибающий момент
M_p	— Предельный момент
R	— Поворотная способность
K_{pe}	— Пластический момент сопротивления
b	— Ширина полки
d	— Высота балки
$h = \frac{E}{E_{st}}$	— Соотношение модуля упругости и модуля упрочнения
i_y	— Радиус инерции
$S = \frac{E_{st}}{E_y}$	— Соотношение деформации, относящейся к началу, и деформации текучести
t	— Толщина полки
U	— Боковое смещение
U_0	— Боковое смещение и поворотная способность в период иссякания
W	— Толщина пластинки
ε_y	— Предел текучести
ε_{ys}	— Предел текучести при нулевой скорости деформации

$\epsilon y = \frac{\delta y}{E}$	— Деформация текучести
E_{st}	— Деформация, относящаяся к началу участка упрочнения
Θ	— Поворот
Θ_p	— Поворот при предельном моменте в нагрузке излома
Θ_{Rc}	— Поворот в момент истощения поворотной способности
μ	— Средняя ошибка
X, Y, Z	— Земные координаты (в системе базисных координат)
f	— Постоянная камеры
b	— Базис фотографирования
X_b, Z_b	— Координаты снимков
P	— Параллакс в базисном направлении
$\frac{\Delta Y}{Y}$	— Относительная ошибка, допускаемая в расстоянии отдельных точек
P_0	— Параллакс базисного направления, относящийся к начальной точке
q_0	— Поперечный параллакс направления, относящийся к начальной точке

Еще до подготовки к фотографированию надо было определить расстояние (базис) между двумя местами расположения съемочной камеры. Это может быть определено только с учетом допустимой относительной ошибки в расстояниях между крестами на балке и самого большого расстояния фотографирования: при котором еще видны все кресты на балке, необходимые для стереоскопической обработки снимков, то есть с учетом

$$\frac{\Delta Y}{Y} \text{ и } Y_{\text{макс}}$$

(Основой служит основная формула фотограмметрии).

Если мы возьмем за основу только ошибку определения параллакса,

$$\Delta Y = -\frac{b}{P^2} \cdot f \cdot \Delta P = \frac{Y^2}{b \cdot f} \cdot \Delta P,$$

то есть относительная ошибка:

$$E = \frac{\Delta Y}{Y} = \frac{Y}{b \cdot f} \cdot \Delta P; \text{ откуда}$$

длина базиса

$$b = \frac{\Delta P}{f \cdot E} \cdot Y_{\text{макс}}$$

Итак, если допустим значения $\Delta P = 0,02$ мм, что можно легко поддерживать с помощью стереокомпаратора, и $E = 1 : 1000$, то значение базиса (при $f = 200$ мм) 200 мм.

В качестве базиса использовалась измерительная линейка, вдоль которой передвигался на нужное базисное расстояние фототеодолит в специально для этой цели изготовленной рамке-держателе (рис. 4). Горизонтальное размещение измерительной линейки, а также перпендикулярность оси камеры и базиса проверялись перед фотографированием.

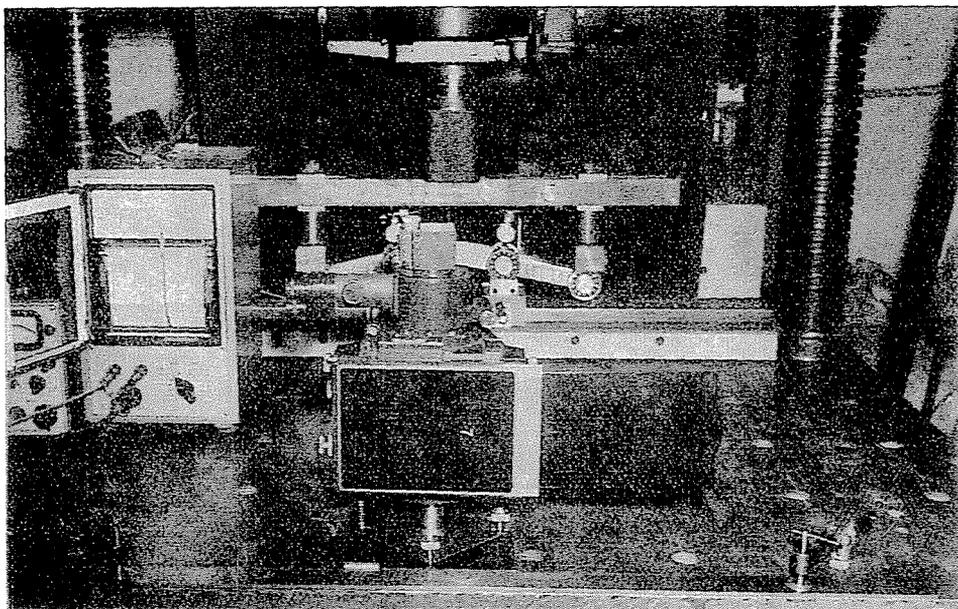


Рис. 4

Изготовление снимков

С целью предотвращения нежелательных световых воздействий на фотографируемую сторону опытной балки было нанесено светлосерое покрытие. На острую пластинку балки и на пояс на расстоянии 1—1 см астрономической тушью были нанесены знаки-кресты (рис. 5), для определения пространственных сдвигов, возникающих на балке.

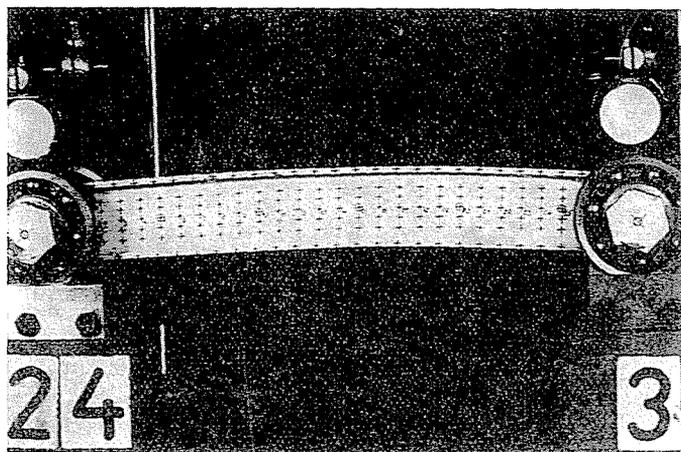


Рис. 5

С целью одинаковой установки и оценки фотоснимков надо было наметить одну основную фотолинию, которая бы в процессе нагрузки оставалась неподвижной. Эту основную линию определяли два круглые по форме диска со знаками, размещенные независимо от модели. Две крайние точки основной линии перед началом фотографирования были тщательно расположены на одинаковой высоте.

Снимки были изготовлены в качестве диапозитивов на пластинах, чувствительностью 4 дины, размером 18×24 см. Съемка производилась в ненагруженном состоянии и при различных нагрузках. При различных степенях нагрузки примерно за 10 мин до фотографирования нагруживающая установка останавливалась и выжидалась «стабилизация» нагрузки.

После этого делались два снимка, предполагая, что за это время не происходит дальнейшая деформация.

Оценка снимков

Одна часть снимка обрабатывалась на стереокомпараторе, другая — на стекометре. Для точной установки диапозитивов служила ранее упомянутая основная фотографическая линия. Установив марку в конечную левую точку основной линии, установили значения $X_0'' = 100\ 000$ и $Z_0'' = 100\ 000$ и определили значения параллаксов P_0'' и q_0'' . После этого следовала оценка намеченных точек балки, с четырехкратным повторением.

Сопоставив координаты, полученные в различных нагруженных состояниях, с соответствующими координатами, полученными в ненагруженном состоянии, получили пространственные смещения отдельных знаков в различных нагруженных состояниях (табл. II). На основании пространственных смещений знаков по всей поверхности опоры можно определить отдельные продольные и поперечные деформации. В 5-ом нагруженном состоянии на рис. 6 видна горизонтальная и вертикальная деформация нескольких продольных сечений. На рис. 7 представлена в аксонометрии общая деформация опоры.

4. Определение деформации геодезическим путем

Одновременно с фотограмметрическим методом для определения возникающих деформаций балки были установлены 3 теодолита Цейс — Тео 010 (рис 8). С помощью первого и третьего теодолитов измеряли горизонтальные углы, характеризующие смещения в горизонтальном направлении точек отдельных поперечных сечений. Теодолитом со знаком 2 — считывали высотные углы, характеризующие смещения в вертикальном направлении. Измерение горизонтальных и высотных углов производили также в ненагруженном состоянии и при различных нагрузках. Зная горизонтальные углы и расстояние

Табл. II

Сдвиги точек модели с обозначением G-22, определенные фотограмметрическим путем (мм)

Точки	Положе- ние груза	Сечения													
		3		4		5		6		7		8		9	
		AY	AZ	AY	AZ	AY	AZ	AY	AZ	AY	AZ	AY	AZ	AY	AZ
a	2	0,15	1,68	0,31	2,19	0,19	2,39	0,55	2,74	0,77	3,01	-0,75	3,10	-0,43	3,24
	5	-2,95	3,84	1,04	4,67	0,94	5,14	0,63	5,49	1,20	5,91	1,78	6,01	0,41	6,25
b	2	0,69	1,94	-2,88	2,57	0,59	2,86	0,42	3,00	1,05	3,40	1,62	3,60	0,78	3,71
	5	0,37	5,30	0,99	6,60	1,85	7,50	2,83	8,28	3,36	8,85	4,32	9,34	3,06	9,54
c	2	1,98	1,97	-0,88	2,58	1,30	2,49	0,98	3,21	1,76	2,58	1,57	3,70	1,66	3,81
	5	1,41	4,98	1,16	6,76	3,89	7,30	4,28	8,65	5,09	8,43	5,08	9,77	5,49	9,91
d	2	0,86	2,02	1,40	2,50	1,15	2,85	1,60	3,29	1,54	3,65	1,62	3,31	1,95	3,86
	5	0,99	5,57	3,28	6,85	5,38	7,83	5,62	8,95	5,98	9,89	7,26	10,24	7,02	10,50
e	2	0,01	2,07	0,07	2,56	2,04	2,87	1,80	3,20	1,54	3,65	2,67	3,70	2,01	3,86
	5	0,75	5,70	2,87	7,05	6,07	8,10	6,67	9,20	7,72	10,25	10,12	10,66	8,72	10,91
f	2	1,58	2,12	1,70	3,09	2,81	2,96	1,72	3,43	2,28	3,60	2,15	3,77	1,98	3,97
	5	2,56	5,81	4,82	7,70	7,32	8,44	7,84	9,70	9,31	10,50	11,10	11,15	10,21	11,31
z	2	1,58	1,85	1,51	2,25	1,58	2,65	1,82	2,52	2,12	3,18	2,17	3,35	1,04	3,47
	5	2,56	4,49	6,11	5,94	8,83	7,03	10,10	8,22	12,00	8,92	11,56	9,44	11,11	9,65

Точки	Положе- ние груза	10		11		12		13		14		15	
		ΔY	ΔZ										
a	2	-0,41	3,29	-0,31	3,13	-0,67	3,00	-0,19	2,81	-0,35	2,54	-0,40	2,05
	5	1,10	6,19	0,86	5,95	0,09	5,82	0,36	5,39	-0,07	5,01	0,74	4,35
b	2	-1,12	3,74	0,30	3,68	0,70	3,44	-0,72	3,23	-1,21	2,87	0,22	2,36
	5	2,32	9,54	3,01	9,14	2,29	8,58	1,56	7,83	1,68	6,86	0,92	5,71
c	2	0,75	3,79	-0,32	3,70	-0,05	3,54	-0,56	3,25	-0,34	2,88	0,48	2,35
	5	4,11	9,83	3,64	9,45	3,00	8,83	1,48	8,06	1,97	7,01	1,79	5,84
d	2	0,88	3,92	1,12	3,78	0,83	3,58	0,24	3,22	-0,17	2,94	0,53	2,44
	5	6,23	10,32	5,58	9,88	4,45	9,21	3,73	8,29	3,28	7,20	2,73	5,92
e	2	0,71	3,98	1,46	3,79	1,12	3,59	0,75	3,23	0,58	2,83	-0,26	2,47
	5	7,40	10,85	6,94	10,22	6,41	9,46	4,58	8,51	4,28	7,21	3,23	6,07
f	2	1,22	3,92	1,39	3,89	0,97	3,65	1,17	3,23	1,14	2,88	-0,63	2,60
	5	9,40	11,13	8,61	10,60	7,73	9,46	6,91	8,60	5,28	7,40	3,44	6,16
z	2	1,52	3,46	1,54	3,39	0,74	3,29	0,88	2,95	1,24	2,69	-0,05	2,32
	5	10,94	9,71	10,54	9,11	9,37	8,37	8,13	7,25	6,81	6,35	4,98	4,98

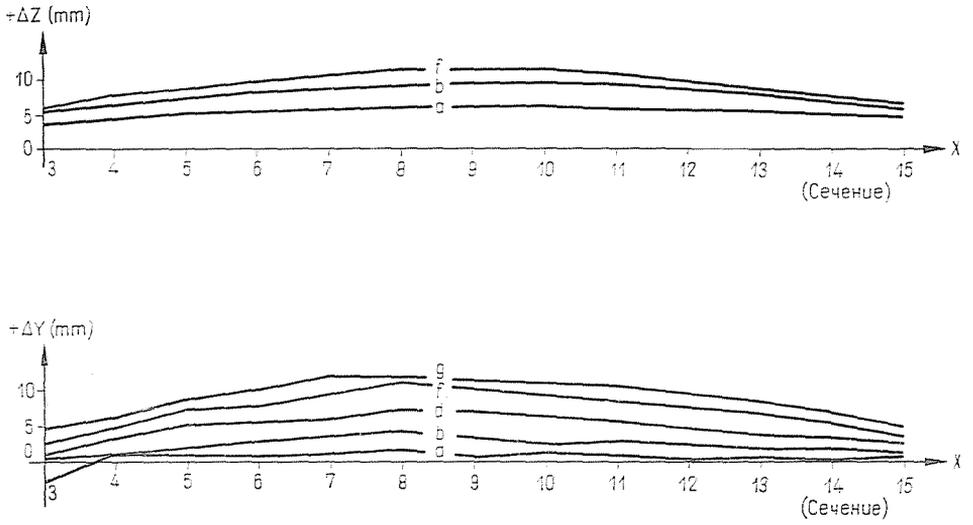


Рис. 6. Деформация поперечного сечения балки с обозначением G-22

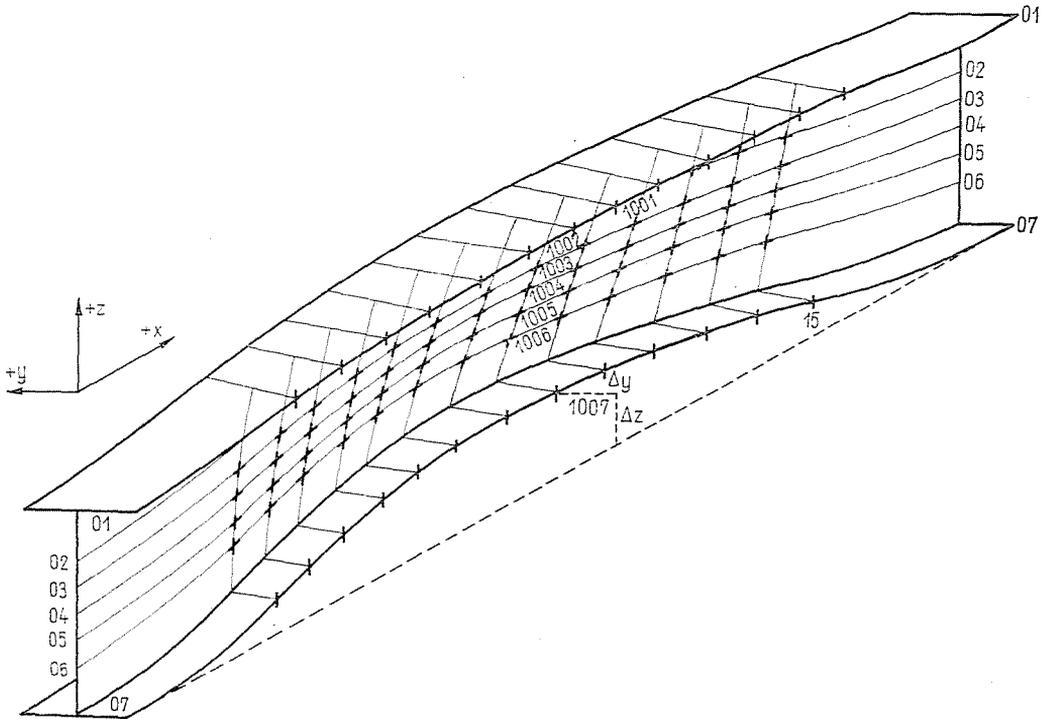


Рис. 7

13, которое предварительно измерили инварной лентой, можно было высчитать в местной системе координат горизонтальные координаты точек модели.

Зная высотные углы, можно было высчитать расстояния точек модели от горизонта теодолита, установленного в точке 2.

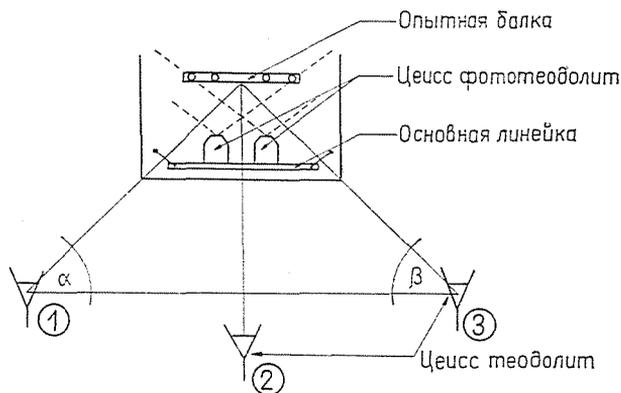


Рис. 8

5. Сравнительные опыты

В процессе опытов геодезическим путем определялись деформации для семи точек одного поперечного сечения и фотограмметрическим путем для всей балки. В табл. III дано сравнение результатов геодезических измерений с результатами, полученными фотограмметрическим методом. Результаты геодезических измерений были приняты безошибочными и средняя ошибка фотограмметрического метода была определена из этого сравнения.

Табл. III
Сопоставление результатов опыта

Точки	Опытные результаты (2-е положение груза)							
	Y				Z			
	Геодезич. метод	Фотограм. метод	v	vv	Геодезич. метод	Фотограм. метод	v	vv
1001	-0,39	-0,41	+0,02	0,0004	-2,93	-3,29	+0,36	0,1296
1002	-0,79	-1,12	+0,33	0,1089	-3,94	-3,74	-0,20	0,0400
1003	-1,02	+0,75	+0,27	0,0729	-3,39	-3,79	-0,40	0,1600
1004	+1,15	+0,88	+0,27	0,0729	-3,67	-3,92	+0,25	0,0625
1005	+0,55	+0,71	-0,16	0,0256	-3,79	-3,98	+0,19	0,0361
1006	+1,47	+1,22	+0,25	0,0625	-3,81	-3,92	+0,11	0,0121
1007	+1,97	+1,52	+0,45	0,2025	-3,84	-3,46	-0,38	0,1444

$$[vv] = 0,5457$$

$$[vv] 0,5847$$

Средняя относительная ошибка деформаций $\pm 0,28$ мм

$\pm 0,29$ мм

В процессе опыта кроме определения деформаций балки (что было основной целью), второй целью являлось получить ответ и на то, насколько пригодны геодезический и фотограмметрический методы для фиксирования составляющих пространственного движения.

При определении величины смещения Y было получено довольно большое значение относительной средней ошибки. На основании опыта, приобретенного в процессе измерений, отклонения можно приписать геодезическому методу из следующих соображений:

- визирное расстояние было довольно коротким (3—4 м),
- нанесенные на модель знаки в сравнении с сеткой нитей, были очень толстыми,
- нанесенные на модель знаки из-за деформации модели тоже перекошились и стали ассиметричными, так что визирование стало трудным,
- в течение долго продолжавшегося опыта (4—5 час.) трудно было сохранить неподвижность теодолитов.

При производстве фотограмметрических снимков удалось обеспечить неподвижность фототеодолита, перпендикулярность оси камеры базиса, а длину базиса можно было точно измерять с помощью измерительной линейки из меди — по которой производилось передвижение. В процессе обработки снимков марка стереокомпаратора, вопреки деформированию знаков, точно совмещалась с центром нанесенных на модель знаков.

6. Надежность определения точек нормальной стереограммой

Исходим из уравнений нормальной стереограммы с целью определения надежности координат, полученной с помощью вышеупомянутых фотограмметрических приборов.

$$Y = \frac{b \cdot f}{P}; \quad X = \frac{b \cdot X_b}{P} \quad \text{и} \quad Z = \frac{b \cdot Z_b}{P}$$

Обозначим полученные независимо друг от друга средние ошибки измерений P , X_b , Z_b через μ_P ; μ_{X_b} ; μ_{Z_b} ; тогда средние ошибки μ_Y , μ_X и μ_Z пространственных координат точек какой-то балки в соответствии с законом распространения ошибки будут

$$\mu_Y = \pm \frac{Y^2}{b \cdot f} \mu_P$$

$$\mu_X = \pm \sqrt{\left[\frac{X}{Y} \mu_Y \right]^2 + \left[\frac{X}{X_b} \mu_{X_b} \right]^2}$$

$$\mu_Z = \pm \sqrt{\left[\frac{X}{Y} \mu_Y \right]^2 + \left[\frac{Z}{Z_b} \mu_{Z_b} \right]^2}$$

Далее

$$X = \frac{b}{P} \cdot X_b \text{ и } Z = \frac{b}{P} \cdot Z_b$$

получим относительные ошибки координат

$$\frac{\mu_Y}{Y} = \pm \frac{Y}{b \cdot f} \mu_P$$

$$\frac{\mu_X}{X} = \pm \sqrt{\left[\frac{\mu_Y}{Y} \right]^2 + \left[\frac{Y}{f \cdot X} \mu_{X_b} \right]^2}$$

$$\frac{\mu_Z}{Z} = \pm \sqrt{\left[\frac{\mu_Y}{Y} \right]^2 + \left[\frac{Y}{f \cdot Z} \mu_{Z_b} \right]^2}$$

В нашем случае отношение базисов $Y : b = 5 : 1$, а фокусное расстояние $f = 200$ мм, далее $Y = 1000$ мм, $X = 200$ мм; $Z = 300$; $b = 200$ мм. Согласно заводскому опыту со стеклометром при измерении параллакса средняя ошибка $\mu_P = 0,004$ мм, при измерении координат $\mu_{X_b} = \mu_{Z_b} = \pm 0,007$ мм.

Местная ошибка точек, лежащих в плоскости опоясывающей пластины

$$\mu_v = \sqrt{\mu_X^2 + \mu_Z^2}$$

Глубинная ошибка проекции направления $Y : \mu_m = \mu_Y$. С учетом вышеописанных зависимостей

$$\mu_Y = \pm \frac{Y}{f} \sqrt{\mu_P^2 \frac{X^2 + Z^2}{b} + \mu_{X_b}^2}$$

$$\mu_m = \pm \frac{Y}{f} \sqrt{\left[\mu_P \frac{Y}{b} \right]^2}$$

По заданным величинам местная ошибка, лежащая в плоскости опоясывающей пластины составляет 0,1 мм, а глубинная ошибка проекции направления $Y = 0,1$ мм.

Из опыта видно, что стереофотограмметрический способ пригоден для исследования смещений, возникающих при опытах с моделями.

7. Выводы, которые можно сделать из результатов опытов

Стереофотограмметрический метод дает возможность анализировать эффект, имеющий место в процессе опыта, иногда неожиданных явлений. В последующем будут проанализированы несколько явлений, которые были определены в процессе обработки опытных результатов.

Построением кривой момента $M - \Theta$ — поворота конечной пластины (рис. 9) можно получить те максимальные повороты конечной пластины, имеющие место в пространстве между опорами, при которых балка еще может

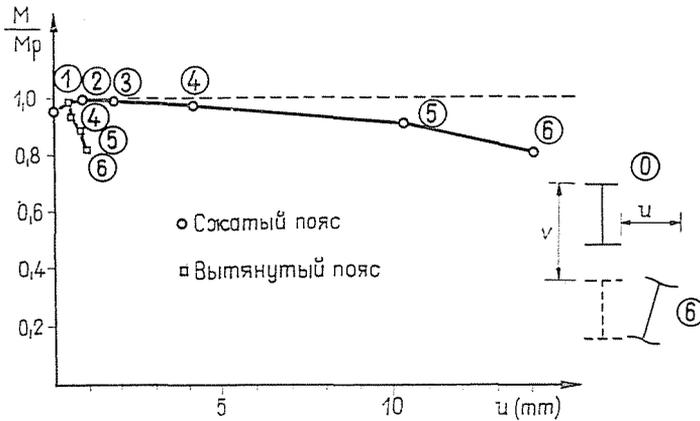


Рис. 9

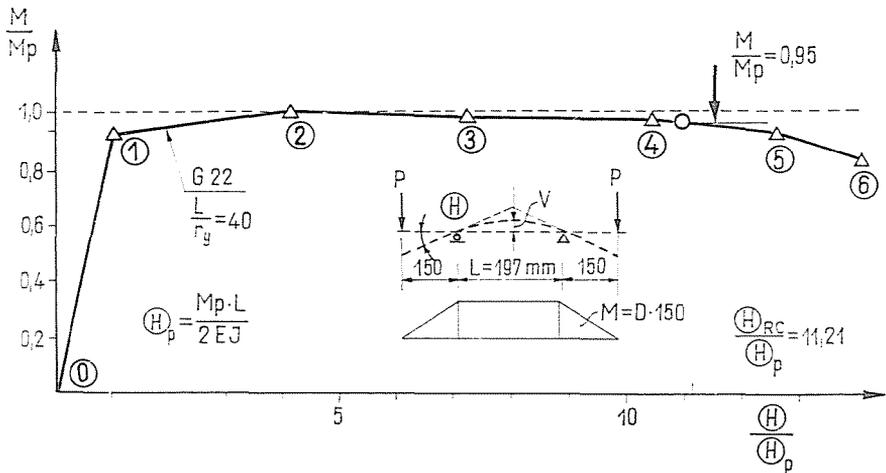


Рис. 10

«выдержать» момент M_p момента излома. Началом разгрузки был выбран $M/M_p = 0,95$, который определяет величину поворотной способности [4], [5].

В пространстве около определенной таким образом величины поворота Θ даже визуально можно наблюдать прогибание сжатого пояса. Определенное опытным способом соотношение

$R = \frac{\Theta_{RC}}{\Theta_p} - 1$ и выбранных расстояний между опорами представлено на рис. 10, который подтверждает литературные данные, полученные для таких

же поперечных сечений узкопоясного разреза и для других поперечных сечений [3].

В процессе анализа результатов опытов исследовалась связь между принятым моментом M и боковым смещением поясов μ , для сечения, лежащего в середине (рис. 11). Вытянутый пояс в боковом направлении почти не сдви-

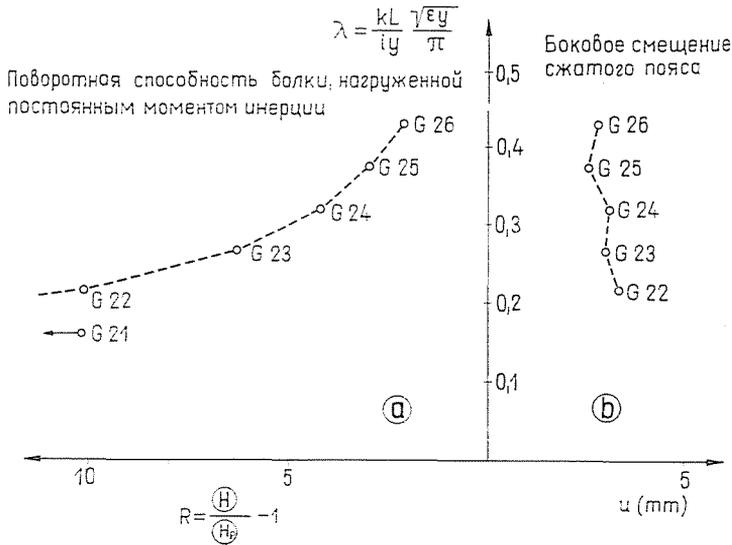


Рис. 11

нулся, а сдавленный пояс в соответствии с явлением выверта значительно смещается.

Исследуя боковое перемещение на той ступени нагруженности, на которой начинается разгрузка, было обнаружено, что величины его, относительно независимо от расстояния между опорами, почти одинаковые (рис. 11). Отклонения в результатах измерений получились потому, что ступени нагрузки отдельных балок не всегда совпадали с началом разрушения, где $\frac{M}{M_p} = 0,95$.

В случае балки, нагруженной постоянным моментом, главным является то, чтобы «преждевременным» разрушением не помешать превращению всей конструкции в текучий механизм. С точки зрения дальнейших исследований существенным является также и тот вывод, что сдавленный пояс пластично выворачивающихся балок в начале разгрузки, когда уже иссякла способность к перемещению, независимо от расстояния между опорами производит такое же по величине боковое смещение.

Резюме

На Кафедре стальных конструкций Будапештского Технического Университета были проведены опыты по исследованию пластического вывертывания стальных балок I-сечения. Исследовалось пластическое выворачивание нагруженных постоянным моментом участков балок. Возникающие деформации определялись стереофотограмметрическим путем, совместно с Кафедрой фотограмметрии. Фотограмметрические снимки были изготовлены фототеодолитом Цейсса, фототеодолит передвигался вдоль измерительной линейки, установленной и укрепленной параллельно с испытываемой балкой. Снимки нормаль-стереограммы изготовлялись перед нагружением, затем на отдельных ступенях нагружения. Оценка фотоснимков производилась на стереокомпараторе Цейсса и стекометре Цейсса. Одновременно с фотограмметрическим методом для определения возникающих деформаций производились измерения с помощью теодолитов Цейсса ТЕО — 010. Так возникла возможность сравнения результатов исследований, полученных обоими методами. Опыты подтверждают возможность дальнейшего промышленного использования наземной стереофотограмметрии.

Литература

1. Фаркаш, Б.—Шафар, И.: Исследование пространственных моделей, связанных с деревней Дудар.* Научно-исследовательский институт Горной промышленности. Заключительный отчет, 1970 г.
2. Ланг, Г.: Точность близкой-фотограмметрии.* Геодезия и картография, 1971/2.
3. ADAMS, F. F.—LAY, M. G.—GALAMBOS, T. V.: Experiments on high-strength steel members. Welding Research Council, Bulletin No 110. November 1965. p. 1—16.
4. AUGUSTI, G.: Experimental rotation capacity of steel beam-columns. Journal of the Structural Division, ASCE Vol. 90. No. ST. 6. December 1964. p. 171.
5. LEE, G. C.—GALAMBOS, T. V.: The post-buckling strength of wide-flange beams. Report No. 205. 12. Fritz, Fritz Eng. Lab. Lehigh University, Bethlehem (Pa) 1961.
6. MASSEY, G.: The rotation capacity of steel I-beams. British Welding Journal, Vol 11. No. 8. August 1964. p. 377.
7. WASIL, B. A.—MERCHANT, D. C.: Plate-deflection measurement by photogrammetric methods. Proc. of the Society Experimental Stress Analysis. Vol. XXI. No. 1. 1964. p. 77—83.
8. HALLERT, B.: Quality problems in photogrammetry. Report. Stockholm. 1967.
9. Метелкин, А. И.: Применение наземной фотограмметрии при испытании модели пневматической опалубки. Геодезия и картография, Москва, 1971.
10. LACHMANN, O.: Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht-topographischen Gebieten. Berlin, 1962.
11. GREIFF, R.: Über stereophotogrammetrische Deformationsbestimmungen unter Tage. Zeitschrift für Vermessungswesen, 1970.
12. IVÁNYI, M.: Effect of strain-hardening on the elastic-plastic behaviour of beams. Per. Pol. Civ. Engg. Vol. 13. No. 3—4. Budapest, 1969.
13. Киш Папп, Л.: Исследование деформации алюминиевых листов с помощью фотограмметрии.* Геодезия и картография, 1967/9.

* На венгерском языке.

Dr. László KIS PAPP, }
Miklós IVÁNYI, } Budapest XI., Műegyetem rkp. 3. Венгрия