

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

В. К. ГУКАСЯН, Р. С. МИНАСЯН

ПРИБЛИЖЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
 ПРОЧНОСТИ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕКОСЕ

Метод испытания панелей стен по схеме, показанной на рис. 1а, получивший название «испытание на перекося», в настоящее время применяется довольно часто при определении прочности на сдвиг.

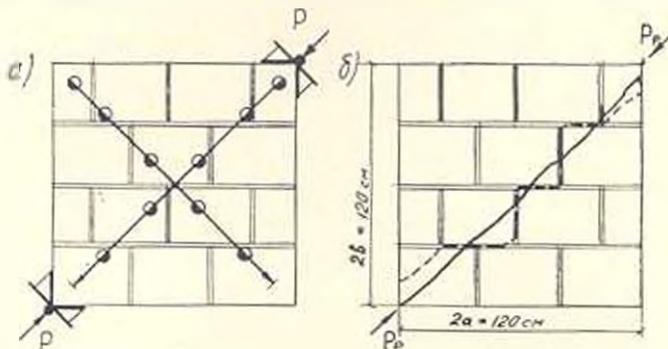


Рис. 1.

Авторами сделана попытка приближенного аналитического определения напряженного состояния и трещиностойкости панелей, изготовленных из камней правильной формы, при действии нагрузки по диагонали.

Известно, что сила P , действующая по линии AB в любой точке M , находящаяся внутри окружности (рис. 2), вызывает радиальные напряжения сжатия в направлениях r_1 и r_2 , определенные по формуле [1, 2]:

$$\sigma_{r_i} = -\frac{2P}{\pi} \left(\frac{\cos \theta_1}{r_1} + \frac{\cos \theta_2}{r_2} \right), \quad (1)$$

Чтобы сохранить значения радиальных напряжений на любой точке прямоугольной панели, следует по контуру приложить нормальные растягивающие усилия, равные по величине

$$\sigma_{r_i} = \frac{2P}{\pi d} \sin(\beta_1 + \beta_2), \quad (2)$$

где d — диаметр окружности, $\beta_1 = 90 - \alpha_1$; $\beta_2 = 90 - \alpha_2$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \arcsin \left| \frac{2r_1}{r_2} \sin(\alpha_2 - \theta_2) \sin \beta_1 + \sin \theta_1 + \frac{\theta_2}{2} \right|.$$

Для квадратной панели $\beta_1 = \alpha_2 = 45^\circ$, $\alpha = 2a \sqrt{2}$,

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \left| \arcsin \frac{\Sigma \cos \theta_2 + \theta_1}{r_2} \right|. \quad (3)$$

Поскольку контур в действительности свободен от внешних усилий, напряжения в любой точке внутри контура можно получить, прибавляя к сжимающим напряжениям растягивающие

$$\sigma_r = \sigma_r + \sigma_r. \quad (4)$$

Нормальное и касательное напряжения по направлениям x и y (рис. 2) будут:

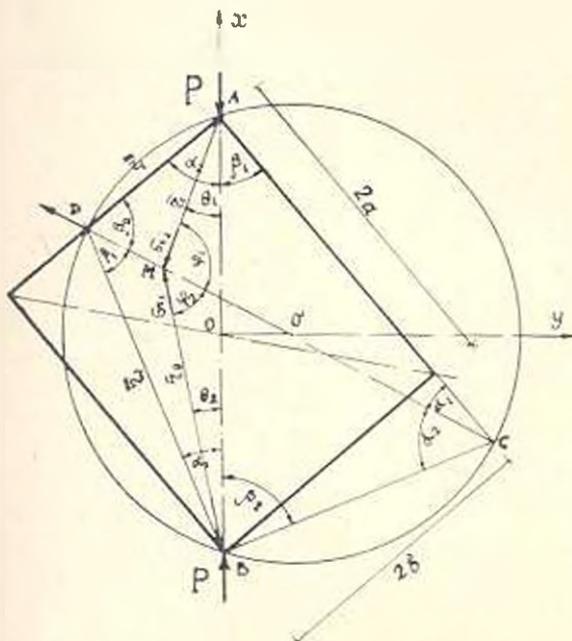


Рис. 2.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{2P}{\pi} \left| \frac{1}{d} \sin(45 + \alpha_1) - \left(\frac{\cos^3 \theta_1}{r_1} + \frac{\cos^3 \theta_2}{r_2} \right) \right|; \\ \sigma_y &= \frac{2P}{\pi} \left| \frac{1}{d} \sin(45 + \alpha_1) - \left(\frac{\cos \theta_1}{r_1} \sin^2 \theta_1 + \frac{\cos \theta_2}{r_2} \sin^2 \theta_2 \right) \right|; \\ \sigma_{xy} &= \frac{2P}{\pi} \left(\frac{\cos^2 \theta_1}{r_1} \sin \theta_1 + \frac{\cos^2 \theta_2}{r_2} \sin \theta_2 \right). \end{aligned} \quad (5)$$

На рис. 3 представлены эпюры напряжений по диагоналям квадратной панели, вычисленные по формулам (5). В любой точке, вдоль линии действия сил P , касательные напряжения отсутствуют, а растягивающие имеют переменное значение. Максимальное растягивающее напряжение получается в точке пересечения диагоналей (рис. 3б). В этой точке растягивающее напряжение меньше сжимающего напряжения по перпендикулярной площадке всего лишь в 3 раза. Поэтому

следует предположить, что первые трещины в панели возникают в центре панели от действия растягивающих напряжений вдоль сжатой диагонали.

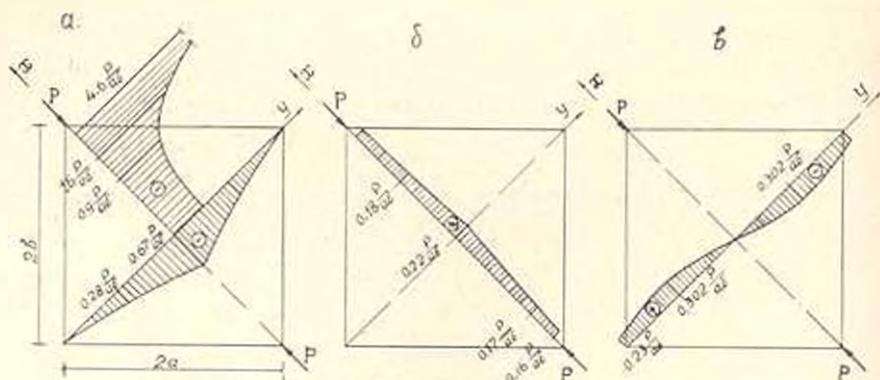


Рис. 3.

Растягивающие напряжения в центре квадратной панели при ее толщине δ будут:

$$\varepsilon_p = \frac{P \delta^2}{2a \pi \delta} \quad (6)$$

В более общем виде формулу (6) можно представить в виде:

$$\varepsilon_p = C \frac{P \delta^2}{2a \pi \delta}$$

где C — коэффициент, учитывающий возмущения, вызываемые сосредоточенными силами P . Так как в рассматриваемом нами случае точка приложения нагрузки находится на достаточно далеком расстоянии от центра панели в соответствии с принципом Сен-Венана, можно допустить, что $C = 1$.

С целью выявления прочностных показателей и характера разрушения панелей из туфовых камней правильной формы на сдвиг, авторами были изготовлены и испытаны две серии образцов размерами $120 \times 120 \times 20$ см.

В первой серии панели изготавливались в полном соответствии с технологией, указанной в РТУ — 68 [3] и с применением вибрации. Во второй серии во всех швах кладки применялся раствор литой консистенции. Характер разрушения панелей первой серии по растворным швам показан на рис. 1б штрих-линией, а панели второй серии по камню сплошной линией.

Анализ результатов испытания показал, что до нагрузок, близких к разрушающим, между напряжениями и деформациями имелась зависимость, близкая к линейной, это позволяет в рассматриваемом случае использовать приведенные выше формулы.

Условие трещинообразования для образцов первой серии можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_p \leq R_{p(kл)} \quad (7)$$

где

$$R_{p(ккл)} = \frac{R_{сск}^{ннт} \Sigma F_{вер} + R_{сск}^{пл} \Sigma F_{гор}}{\Sigma F_{вер} + \Sigma F_{гор}}$$

Здесь $\Sigma F_{вер}$ и $\Sigma F_{гор}$ — суммарная площадь соответственно вертикальных и горизонтальных швов. Для кладки из туфовых камней правильной формы $\frac{\Sigma F_{вер}}{\Sigma F_{гор}} \approx 1,5$. Поэтому

$$R_{p(ккл)} = 0,6 R_{сск}^{ннт} + 0,4 R_{сск}^{пл}, \quad (8)$$

где $R_{сск}^{ннт}$ — прочность нормального сцепления раствора литой консистенции ($l = 12 - 14$ см) с туфовым камнем;

$R_{сск}^{пл}$ — прочность касательного сцепления раствора пластичной консистенции ($l = 8 - 9$ см).

Следуя [4], были установлены следующие эмпирические зависимости

$$R_{сск}^{ннт} = \frac{l}{1 + \frac{60}{R_2}}, \quad R_{сск}^{пл} = \frac{4,4}{1 + \frac{48}{R_2}}, \quad (9)$$

где R_2 — предел прочности раствора пластичной консистенции.

В силу (6), (8), (9) получим следующее выражение для определения нагрузки трещинообразования панелей первой серии

$$P_{тр}^a = \frac{13,4 F}{1 + \frac{60}{R_2}} \cdot K_1, \quad (10)$$

где $F = 2:ab$ в $см^2$, ν — коэффициент, зависящий от соотношения сторон панели, при

$$\frac{a}{b} = 0,67 \quad \nu = 1,5;$$

$$\frac{a}{b} = 1,0 \quad \nu = 1,0;$$

$$\frac{a}{b} = 1,5 \quad \nu = 0,9;$$

$K_1 = 1$ при изготовлении панелей по технологии [3]; $K_1 = 1,25$ при изготовлении панелей вибрацией.

Результаты эксперимента, вычисленные по формуле (10), приведены в табл. 1. Условие трещинообразования для образцов второй серии можно записать в следующем виде:

$$\sigma_p \leq R_{p(ккл)}, \quad (11)$$

где

$$R_{p(ккл)} = \frac{R_2 R_1}{R_{сск}}$$

Таблица 1

Түф	Предел прочности раствора на сжатие, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$	Площадь поперечного сечения панели, см^2	Диагональная нагрузка, при которой появляется первая трещина $P_{\text{тр}}$ в т			Расхождение в %	
			по эксперименту	по формулам			
				(10)	(12)		
1. Панели первой серии							
Арктический с пределом прочности на сжатие $R_{\text{сж}} = 133 \kappa\Gamma/\text{см}^2$	30	2240	11,0	9,9	—	+11	
		2260	11,0	10,0	—	+10	
	42*	2180	18,0	15,0	—	+20	
		2180	19,0	15,0	—	+26	
		2610	22,0	18,0	—	+22	
		2610	20,0	18,0	—	+11	
	63	2240	15,0	15,4	—	- 3	
		2200	15,0	15,0	—	0	
	84	2200	17,0	17,3	—	- 2	
		2220	17,5	17,3	—	+ 2	
	107	2170	19,6	18,5	—	- 6	
		2170	21,4	18,5	—	-16	
	2. Панели второй серии						
	Европейский $R_{\text{сж}} = 110 \kappa\Gamma/\text{см}^2$	48	2220	37,5	—	46,0	-22
2220			40,0	—	46,0	-15	
48**		2220	27,5	—	35,2	-28	
		2230	30,0	—	35,2	-18	
42		2220	30,0	—	38,0	-27	
		2220	31,0	—	38,0	-22	

* Панели изготовлялись с помощью вибратора.

** Панели изготовлялись без перевязки растворных швов.

R_s — марка камня, R_p — средняя прочность камня при растяжении
 $R_{\text{сж}}$ — средняя прочность камня на сжатие.

В силу (6) и (11) получим следующее выражение для определения нагрузки трещинообразования панелей второй серии

$$P_{\text{тр}}^* = \frac{2,2 R_p R_s F}{R_{\text{сж}}} \cdot k_2 \quad (12)$$

$k_2 = 1$ при изготовлении панелей с перевязкой растворных швов;
 $k_2 = 0,7$ при изготовлении панелей без перевязки растворных швов.

Экспериментальные и расчетные данные по формуле (12) приведены на табл. 1.

Для определения расчетной горизонтальной нагрузки $A_{\text{тр}}^*$ пане-

лей из туфовых камней правильной формы с прочностью на сжатие $R_{сж} = 75 - 250 \text{ кг/см}^2$, осуществляемой по технологии [3] и вибрацией при $0.6 < \frac{a}{b} \leq 2$, с учетом двухкратного коэффициента запаса, принятой для каменной кладки в силу (10), получим формулу

$$N_{10}^* = \frac{4.75 F}{1 + \frac{60}{R_2}} \cdot k_2. \quad (13)$$

Для кладки, изготовленной на литом сложном растворе прочностью выше 30 кг/см^2 , в силу (12), получим формулу

$$N_{12}^* = \frac{0.8 R_p R_1 F}{R_{сж}} k_1. \quad (14)$$

Վ. Բ. ՂԱՆՆԻՅԱՆ, Բ. Ս. ՍՐԱՍՅԱՆ

ՊԱՆԵԼՆԵՐԻ ՍԱՀՔԻ (ՇԵՂՊԱՆ) ԱՐՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՐՈՇԵԼՈՒ ՄՈՏԱՎՈՐ ԵՎԱՆԱԿ

Ա մ փ ո փ ո ս օ

Առաջարկվում է ուղղանկյուն հոծ պանելների ամրությունը որոշելու մոտավոր եղանակ՝ երբ բնութագրն ազդում է անկյունագծի ուղղությամբ: Հետևելով Հ. Հիրդին, ստացված են հաշվարկային բանաձևեր լարումները պանելի ջանկացած կետում որոշելու համար: Համադրված են կանոնավոր ձևի սուֆարարներից պատրաստված պանելների փորձարկումներից ստացված սվյալները հաշվարկայինների հետ: Խարբերությունը կազմում է 15—25%: Առաջարկված են մոտավոր հաշվարկային բանաձևեր անկյունագծային բևեռվածքի ազդեցության դեպքում պանելների ճարակալուծությունը որոշելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тимошенко С. П. Теория упругости, М., 1937.
2. Herz H. Über die Verteilung der Druckkräfte in einem elastischen Kreisylinder. ZMP, 1883, Bd. 28.
3. Республиканские технические условия на проектирование и возведение стен зданий и сооружений из туфовых камней правильной формы (РТУ — 68). Ереван, 1968.
4. Омищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М. — Л., 1937.