

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Р. С. Минасян

Теоретическое исследование напряженного состояния наружной стеновой панели с проемом при действии вертикальных нагрузок

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 17/IX 1966)

Обследования эксплуатируемых зданий и данные лабораторных испытаний показывают, что наружные стеновые панели находятся под весьма сложным комбинированным воздействием внешних сил, распределение которых по контуру панели до сих пор остается нерешенным.

Поэтому, имеющиеся к настоящему времени математически точные решения ограничиваются рассмотрением некоторых частных случаев загрузки при ориентировочном задании неизвестных граничных условий.

Нами предпринята попытка выявить теоретическим путем граничные условия панели, работающей в стене.

Изучение напряженного состояния панелей с проемом, скрепленных между собой различным образом, требует решения следующих основных задач:

1. Определение нормальных усилий в горизонтальном и вертикальном монтажных швах.
2. Определение сдвигающих усилий в горизонтальном и вертикальном монтажных швах.
3. Определение напряженного состояния панелей с учетом вышеуказанных граничных условий.

Расчетная схема представлена на фиг. 1. Для сохранения равновесия вырезанного фрагмента стены по его границам прилагаются все необходимые усилия.

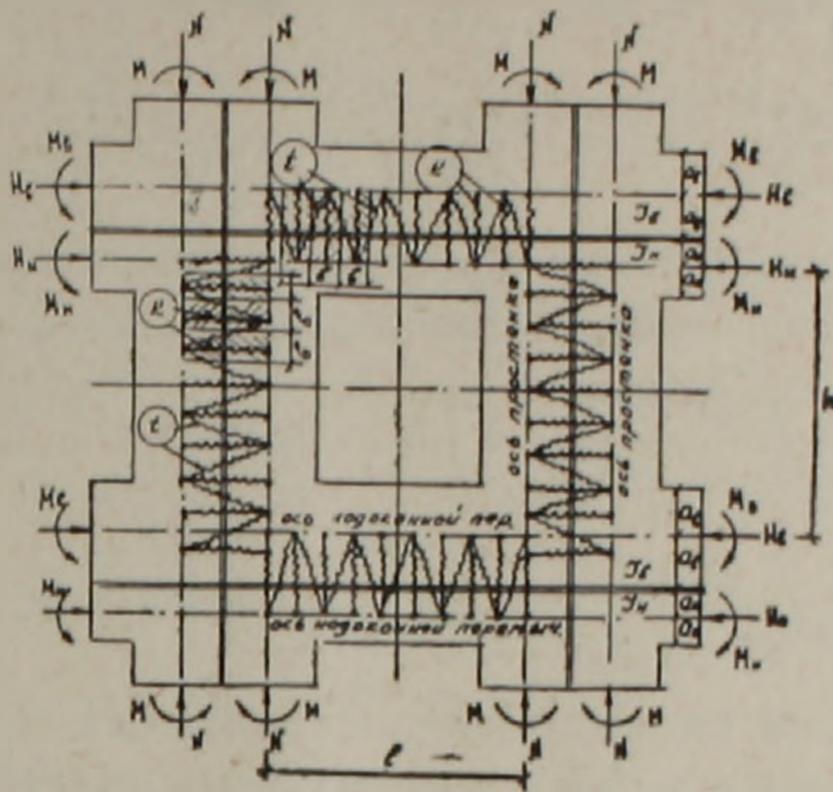
Передача усилий по плоскости контакта элементов производится через упруго-податливые стержни-связи, от числа которых зависит степень точности расчета.

Связями имитируется работа элементарных полосок, при этом считается, что упругие характеристики стержней связей эквивалентные упругим характеристикам элементарных полосок (фиг. 1). Таким об-

разом, расчет изолированного элемента сводится к расчету панелей, окруженных упругой средой.

По своему назначению связи могут быть разделены на два вида: нормальные связи K и связи сдвига t (1).

Нормальные связи способны воспринимать перемещения только по нормальям к плоскости горизонтального или вертикального шва.



Фиг. 1.

Связи сдвига воспринимают усилия сдвига, которые возникают в горизонтальном и вертикальном шве.

Под действием внешних усилий на каждом монтажном шве возникают нормальные и сдвигающие усилия, являющиеся соответственно функцией ординат x и y . Связь между нормальными и сдвигающими усилиями представляется в виде двух дифференциальных уравнений, каждое из которых состоит из двух частей.

Первая часть уравнений выражает зависимость между усилиями и деформациями в нормальных связях, а вторая — зависимость между усилиями и деформациями в связях сдвига.

Система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} -T'' &= qtT + ht\bar{M} + \Delta_0^t t, \\ -\bar{M}'''' &= KiT + jK\bar{M} + \Delta_0^k K, \end{aligned} \quad (1)$$

где T — сила сдвига в монтажном шве;

\bar{M} — момент в нормальных связях.

Остальные коэффициенты определяются по формулам:

$$\begin{aligned} q &= \frac{1}{EF_B} + \frac{1}{EF_H} + \frac{a_H^2}{EJ_H} + \frac{a_B^2}{EJ_B}, \\ h &= -\frac{a_B}{EJ_B} + \frac{a_H}{EJ_H} = i, \\ j &= \frac{1}{EJ_H} + \frac{1}{EJ_B}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\Delta_0^K = \frac{M_{II}}{EJ_{II}} - \frac{M_{IV}}{EJ_{IV}}, \quad \Delta_0^I = \frac{H_{II}}{EF_{II}} + \frac{H_{IV}}{EF_{IV}} - \frac{M_0(a_{II} + a_{IV})}{\Sigma EJ}.$$

Все эти обозначения даны на фиг. 1.

Предполагается определить значение T не из уравнений (1), а иным путем, т. е. из дифференциальных уравнений (3)

$$T'' + m^2 T = \eta N x - \gamma, \quad \tau'' + m^2 \tau = -\eta N, \quad (3)$$

где:

$$\eta = \frac{t(a_{IV} + a_{II})}{E(J_{II} + J_{IV})}, \quad m^2 = \frac{t(F_{IV} + F_{II})}{EF_{II}F_{IV}}, \quad \gamma = \frac{H_{II}F_{IV} - H_{IV}F_{II}}{EF_{IV}F_{II}}. \quad (4)$$

Решая дифференциальные уравнения и внося граничные условия ($x = 0, T = 0$ и $x = l, \tau = 0$), окончательно получим:

$$\tau(x) = -\frac{\eta}{m^2} \left(\frac{\operatorname{ch} mx}{\operatorname{ch} ml} - 1 \right) N - m\gamma (\operatorname{sh} mx + \operatorname{tg} ml \cdot \operatorname{ch} mx),$$

$$T(x) = \frac{\eta}{m^2} \left(\frac{\operatorname{sh} mx}{m \operatorname{ch} ml} - x \right) N - \gamma (\operatorname{ch} mx + \operatorname{tg} ml \operatorname{sh} mx). \quad (5)$$

Для определения распределения нормальных усилий в зоне растворного шва вернемся к дифференциальному уравнению (1), где свободный член:

$$\Delta_0^K = \frac{2Nx}{E(J_{IV} + J_{II})}.$$

Подставляя значения T из уравнения (5) и значения Δ_0^K получим:

$$\bar{M}^{IV} + Kj\bar{M} = K \left[\frac{2}{E(J_{IV} + J_{II})} + \frac{\eta i}{m^2} \right] Nx + \frac{K\eta i \operatorname{sh} mx}{m^3 \operatorname{ch} ml} N. \quad (6)$$

Вводя обозначения:

$$\varphi = \frac{\eta i K}{m^3 \operatorname{ch} ml}, \quad \Psi = \left[\frac{2}{E(J_{IV} + J_{II})} + \frac{\eta i}{m^2} \right] K \quad (7)$$

и интегрируя уравнение получим:

$$\bar{M} = C_1 \operatorname{ch} \omega x \cdot \cos \omega x + C_2 \operatorname{ch} \omega x \cdot \sin \omega x + C_3 \operatorname{sh} \omega x \cdot \cos \omega x + \\ + C_4 \operatorname{sh} \omega x \cdot \sin \omega x + N \frac{\Psi x}{4\omega^4} + N \frac{\varphi}{m^4 + 4\omega^4} \operatorname{sh} mx, \quad (8)$$

$$\bar{M}' = \omega (C_3 + C_2) \operatorname{ch} \omega x \cos \omega x + \omega (C_4 - C_1) \operatorname{ch} \omega x \sin \omega x + \omega (C_1 + \\ + C_4) \operatorname{sh} \omega x \cos \omega x + \omega (C_2 - C_3) \operatorname{sh} \omega x \sin \omega x + N \frac{\Psi}{4\omega^4} + \\ + N \frac{mN\varphi}{m^4 + 4\omega^4} \operatorname{ch} mx,$$

где

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{K}{4} (1/EJ_{IV} + 1/EJ_{II})}.$$

Учитывая граничные условия

$$\bar{M}(0) = 0, \bar{M}'(0) = 0 \text{ и } \bar{M}(l) = 0, \bar{M}'(l) = 0$$

получим окончательную формулу для определения моментов и нормальных усилий. Члены, имеющие коэффициенты $e^{-\omega l}$, мало влияют на распределение усилий, ограничимся точностью равной 2–3%, тогда получим:

$$\begin{aligned} \bar{M}(x) = & -\frac{N}{\omega} \left(\frac{\Psi}{4\omega^4} + \frac{m\varphi}{m^4 + 4\omega^4} \right) (\operatorname{ch} \omega x \cdot \sin \omega x - \operatorname{sh} \omega x \sin \omega x) + \\ & + \frac{N\Psi}{4\omega^4} x + \frac{N\varphi}{m^4 + 4\omega^4} \operatorname{sh} mx. \end{aligned} \quad (9)$$

Учитывая равенства $\bar{M}''(x) = R_{II}(x)$, получим для нормальных усилий

$$\begin{aligned} R_{II}(x) = & -2\omega N \left(\frac{\Psi}{4\omega^4} + \frac{\varphi m}{m^4 + 4\omega^4} \right) (\operatorname{sh} \omega x - \operatorname{ch} \omega x) \cos \omega x + \\ & + N \frac{\varphi m^2}{m^4 + 4\omega^4} \operatorname{sh} mx. \end{aligned} \quad (10)$$

Формулы (5) и (10) можно использовать и для определения распределения нормальных и сдвигающих усилий на вертикальном монтажном шве от внешних усилий. При этом решение упрощается, так как простенки симметричны относительно вертикального монтажного шва.

Кроме этого, заменяя $N = H_{II}$ для подоконной перемычки и $N = H_{II}$ для надоконной перемычки и вводя равенство $F_{II} = F_{II} = F_{II}$; $J_{II} = J_{II} = J_{II}$; $a_{II} = a_{II} = 0,5 a_{II}$; $i = 0$; $l = h$; $\varphi = 0$ получим выражение для сдвигающего усилия

$$\tau(y) = -\frac{\tau_1}{m^2} \left(\frac{\operatorname{ch} my}{\operatorname{ch} mh} - 1 \right) H_c; \quad T(y) = \frac{\tau_1}{m^2} \left(\frac{\operatorname{sh} my}{m \operatorname{ch} mh} - y \right) H_c, \quad (11)$$

где

$$H_c = 0,5 (H_{II} + H_{II})$$

для нормальных усилий

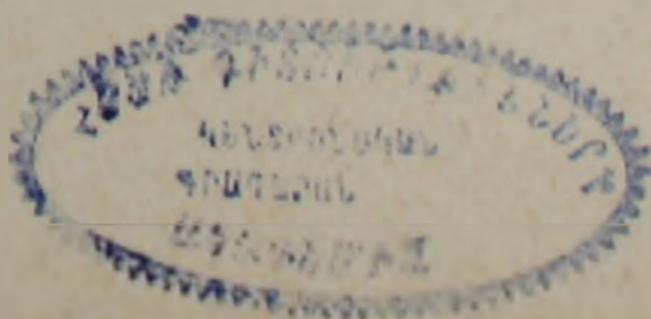
$$R_{II}(y) = \omega_c H_c (\operatorname{sh} \omega_c y - \operatorname{ch} \omega_c y). \quad (12)$$

После определения распределения усилий в зоне контакта панелей, (по горизонтальным и вертикальным монтажным швам) можно решить задачу о напряженном состоянии стеновой панели с проемом принимая ее за замкнутую плоскую систему.

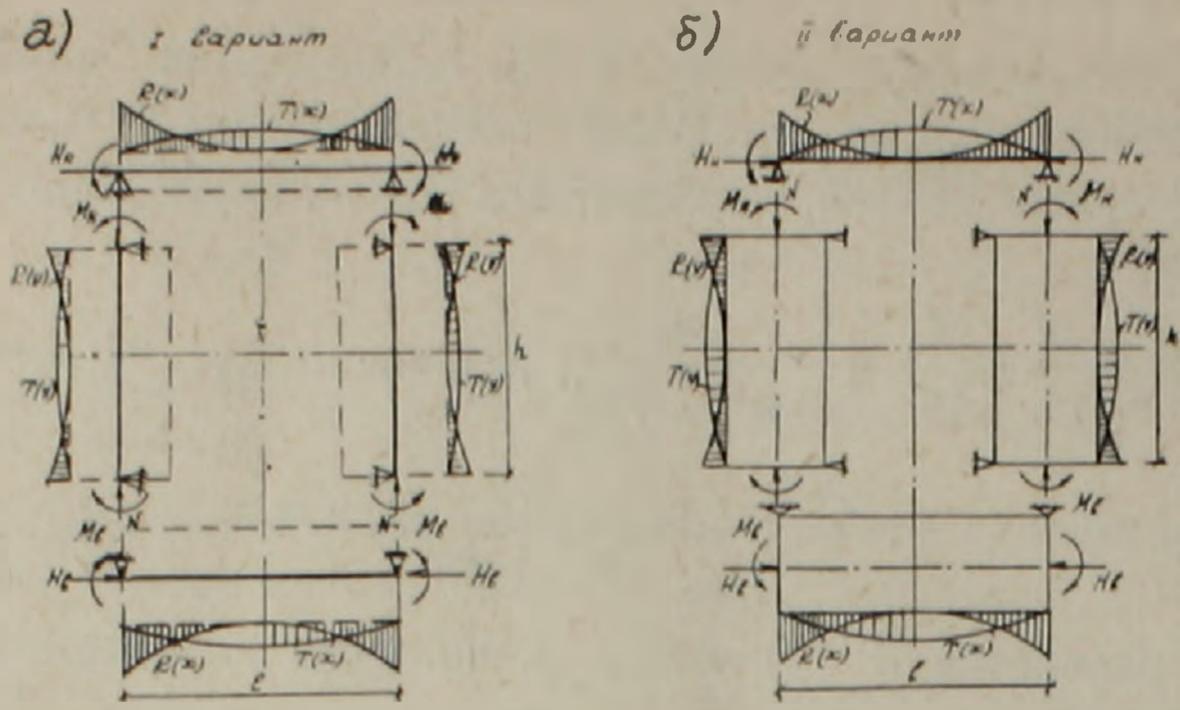
При этом расчетную схему панели с проемом с учетом влияния по контуру рекомендуется принимать в соответствии с фиг. 2 в двух вариантах:

I Вариант.

Панель рассматривается как плоская замкнутая рама и расчет ведется методами строительной механики. При размерах отверстия $l \leq 0,8 a_{II}$ расчет рамы необходимо вести с учетом поперечных сил.



при больших размерах проемов, можно рассчитывать, как раму без учета влияния поперечных сил (фиг. 2а).



Фиг. 2.

II Вариант.

Панель рассматривается, как замкнутая система, составленная из стержневых и плоскостных элементов.

Расчет в стержнях ведется методами строительной механики, а в плоскостях элементах методами теории упругости (фиг. 2б)

Армянский НИИ стройматериалов
и сооружений

Թ. Ս. ՄԻՆԱՍՅԱՆ

Բացվածք ունեցող արտաքին պատային պանելների լարվածային վիճակի տեսական հետազոտությունը ուղղահայաց ուժերի ազդեցության դեպքում

Խոշորապանել շենքերի հետազոտությունը դույզ է տալիս, որ պատային պանելները դառնում են շատ բարդ լարվածային վիճակում: Պանելների էլեմենտներում լարումների մեծությունը և նրանց բաշխումը խիստ կերպով կապված է նրա արտաքին եզրերում կիրառված ուժերի մեծությունից և ձևից:

Հողվածում այդ ուժերը որոշվում են ելնելով պանելների իրական աշխատանքի պայմանից:

Պանելների լարվածային վիճակը հետազոտման համար առաջարկվում է (I) և (II) հայտնվարկային սխեմաները: Եզրային ուժերը որոշվում են (5), (10), (11) և (12) բանաձևերով:

ЛИТЕРАТУРА — Կ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

¹ А. Р. Ржанецки, Теория составных стержней строительных конструкций, Стройиздат, 1948.