



УДК 624.041,3+624.046



**К. М. ДЖАМАНКУЛОВ**  
КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,  
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
E-MAIL: [J.KENESH@GMAIL.COM](mailto:J.KENESH@GMAIL.COM)

**К. М. DJAMANKULOV**  
KSUCTA N. A. N. ISANOV,  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

**У. Б. МАМЫТОВ**  
КГУСТА ИМ.Н.ИСАНОВА,  
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
E-MAIL: [MR.TAMRU@MAIL.RU](mailto:MR.TAMRU@MAIL.RU)

**U. B. MAMYTOV**  
KSUCTA N.A. N.ISANOV,  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

**АБДЫЖАПАР У. А.**  
КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,  
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
E-MAIL: : [ADIKOMIKO173@GMAIL.COM](mailto:ADIKOMIKO173@GMAIL.COM)

**ABDYZHAPAR U. A.**  
KSUCTA N.A. N.ISANOV  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

**ТИЛЕК У. Н.**  
КГУСТА ИМ.Н.ИСАНОВА,  
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
[E-MAIL.TWILIGHTTO@MAIL.RU](mailto:E-MAIL.TWILIGHTTO@MAIL.RU)

**TILEK U. N.**  
KSUCTA N.A. N.ISANOV,  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

*E.mail. [ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)*

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОДНОРОДНЫХ ПОЛЕЙ  
НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ  
ПЕРЕМЫЧЕК И ПРОСТЕНКОВ, РАБОТАЮЩИХ НА СДВИГ**

**A USE OF THE METHOD OF HOMOGENOUS STRESS FIELDS FOR  
STRENGTH DESIGN OF REINFORCED CONCRETE  
LINTELS AND PIERS WORKING IN SHEAR**

*Макалада темир-болот туташтыргычтарды жана терезелер арасындагы дубалдарды бир түрдүү-тилкелүү чыңалуу {σ} талааларга бөлүү схемасы каралган. Бул элементтерге горизонталдуу чарпыма күчтүн «q» таасиринин негизинде алардын бетон жана арматура боюнча жүк көтөрүү жөндөмдүүлүктөрүн аныктоо үчүн формулалар чыгарылган.*

***Чечүүчү сөздөр:** жалпак чыңалуучу жана жалпак деформациялануучу элементтер; темир-болот туташтыргычтар жана терезелердин арасындагы дубалдар; интенсивдүү жылышуу; түз жана бекемдикти эсептөө методикасы; бир түрдүү*



тилкелүү чыңалуу талаалары { $\sigma$ }.

*В статье рассмотрено схема разбивки и построение кусочно-однородных полей напряжений { $\sigma$ } для железобетонных перемычек и простенков, работающих на интенсивный сдвиг. Выведены формулы для определения несущей способности по бетону и по арматуре этих элементов при действии горизонтальной, касательной нагрузки « $q$ ».*

**Ключевые слова:** *плосконапряженные и плоскодеформированные элементы; железобетонные перемычки и простенки; интенсивный сдвиг; методика прямого и прочностного расчета; кусочно-однородные поля напряжений { $\sigma$ }.*

*The article deals with a lay-out chart and an arrangement of piecewise homogenous stress fields { $\sigma$ } for the reinforced lintel and piers working in an intensive shift. The formulas have been derived so as to determine the bearing load capacity of the reinforced concrete and bars of these elements under the action of a horizontal and vertical load « $q$ ».*

**Key words:** *plane stress and plane strain elements, reinforced concrete lintels and piers, intensive shift, method of direct and strength design, piecewise homogenous stress fields { $\sigma$ }*

В гражданском и промышленном строительстве широко распространены разнообразные плосконапряженные и плоскодеформированные железобетонные элементы. Это высокие перемычки в несущих стенах многоэтажного здания, перекрываемые оконные и дверные проемы. Несущую стену, ослабленную по высоте проемами, обычно рассматривают как статическую систему из сплошных вертикальных полос-простенков, упруго заделанных в основании и соединенных между собой перемычками.

Перемычки в несущих стенах выполняют две функции:

- воспринимают вертикальные нагрузки от опирающихся на них перекрытий и являются связью сдвига между несущими простенками (столбами), обеспечивая их совместную работу;
- распределяют усилий между ними при действии на здание горизонтальных нагрузок, либо от неравномерной осадки основания.

При действии на здание больших горизонтальных нагрузок, в особенности сейсмических, в перемычках возникают значительные знакопеременные сдвигающие усилия, которые приводят к характерному разрушению по наклонным сечениям.

Конструкции типа перемычки и простенки долгое время не рассматривались как особый класс конструкций и их несущая способность от вертикальных нагрузок, от давления панелей вышерасположенных этажей, панелей покрытия и балкона, опирающихся непосредственно на перемычку и от собственного веса перемычки, определялась, как для обычных железобетонных балок, защемленной на опорах. В действующих нормативных документах и СНиП для перемычек и простенков нет рекомендаций, дающих оценить их несущую способность и произвести их строгий прочностной расчет, отличный от расчета балок и колонн на поперечную силу. В настоящее время конструирование и расчет перемычек стеновых панелей производится как балки, работающих на изгиб, что не соответствует их на работе в системе диафрагмы.

На основе проведенного анализа существующих исследований, теоретических и экспериментальных, по проблеме прочностного расчета перемычек и простенков на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок выявлено, что ввиду сложности данной задачи до сих пор не найдено ее строгое теоретическое решение и не получена формула, имеющая ясный физический смысл, которая позволила бы определить их предельную несущую способность при их работе на сдвиг.

В связи с этим для ее решения предложена методика прямого и прочностного расчета перемычек и простенков на основе статической теории предельной равновесия и метода равновесных кусочно-однородных полей напряжений [1].

Метод основан на построение таких равновесных кусочно-однородных полных напряжений, которые содержат зоны – аналоги реальных опасных зон, где поле напряжений в предельной стадии также близко к однородному, несмотря на наличие трещин. Из условия прочности железобетона этих зон, которые, как правило, сжато-растянуты, получаются формулы для разрушающей нагрузки.

Перемычки и простенки работают на сдвиг как защемленные балки-стенки, у которых одно опорное сечение параллельно сдвигается относительно другого (рис.1.а). При этом может появиться распор. Схема разбивки и построение кусочно-однородных полей напряжений {6} таких сдвигаемых элементов показаны на рис.1 б.

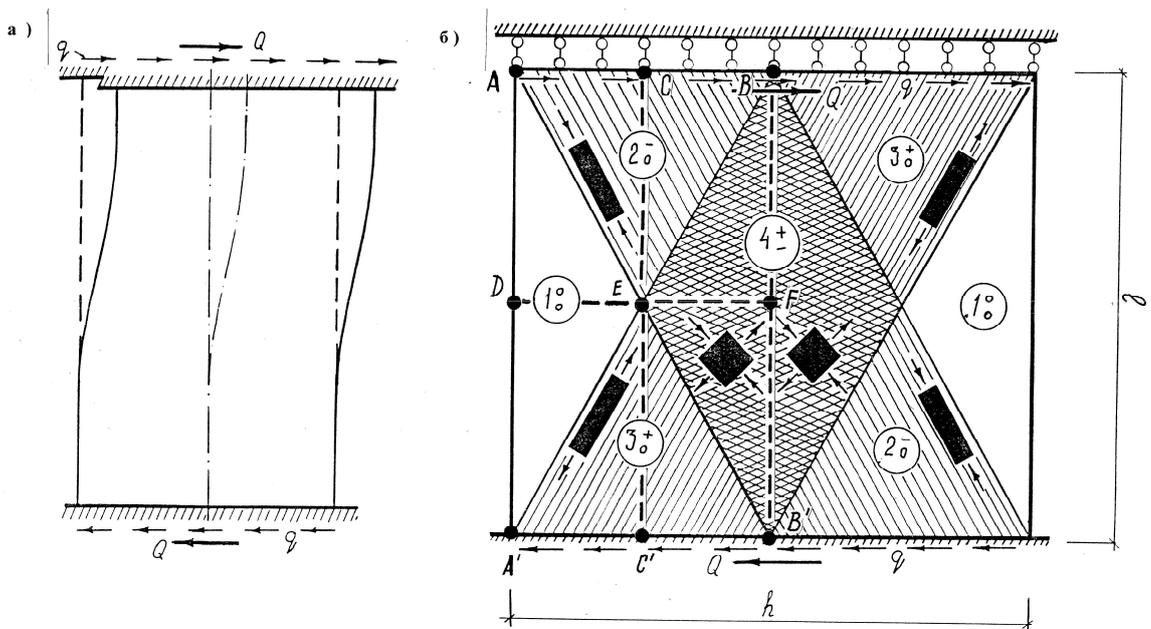


Рис.1. Защемленные участки стен, работающие на сдвиг:  
а) деформативная схема;

б) схема разбивки на кусочно-однородные поле полей напряжений {6}.

Здесь возникают два диагональных пересекающихся потока напряжений одноосного растяжения (зоны  $3_0^+$ ) и одноосного сжатия (зоны  $2_0^-$ ). Центральная сжато-растянутая зона  $4_{\pm}$ , возникшая при их наложении, оказывается наиболее напряженной и является зоной чистого сдвига, где главные напряжения, направлены под углом  $\alpha = \pi/4$  к оси X, максимальны во всем элементе. Разрушение этих элементов происходит, как правило, путем разрушения центральной зоны.

Компоненты поля напряжений во внутренних сжато-растянутых зонах находится из условия прочности их участков, отсеченных плоскостями, параллельному контуру элемента. Для каждой внутренней контактной линии зон составляются два уровня равновесия для нормальных и касательных напряжений. Каждое из трех напряжений  $\delta_x$ ,  $\delta_y$ ,  $\tau_{xy}$  находится из отдельного уравнения равновесия для отсеченного участка зоны  $\Sigma X = 0$ ;  $\Sigma Y = 0$ .

Итак, компоненты поля напряжений в зонах:

- для отсеченного участка АСЕД в зоне  $2_0^-$  имеем:

$$\delta_{x,2}^- = -qh/2l; \quad \delta_{y,2}^- = -2ql/h; \quad \tau_{xy,2} = q$$

- для отсеченного участка ДЕС'А' в зоне  $3_0^+$  имеем:

$$\delta_{x,3}^+ = qh/2l; \quad \delta_{y,3}^+ = 2ql/h; \quad \tau_{xy,3} = q$$

- для отсеченного участка АВФД в зоне  $4_{\pm}$  (зона чистого сдвига):



$$\delta_{x,4} = 0; \quad \delta_{y,4} = 0; \quad \tau_{xy,4} = 2q$$

После этого определяем главные напряжения для каждой зоны, подставляя в условия прочности сжато-растянутого армированного бетона:

$$\begin{cases} |\delta_{\text{гл}}^-| + \delta_{\text{гл}}^+ * 0.5Rb / \mu * Rs < Rb & \text{при } |\delta_{\text{гл}}^-| > 0.5Rb \\ \delta_{\text{гл}}^+ < \mu * Rs & \text{при } |\delta_{\text{гл}}^-| < 0.5Rb \end{cases} \quad (1)$$

получим формулы для нахождения предельной несущей способности зон по арматуре или по бетону, учитывая при этом  $Q = q * b * h$ , где  $b, h$  – толщина и длина элемента.

При изотропном дисперсном армировании, то есть  $\mu_x = \mu_y$ , для сжатой зоны  $2_0^-$

имеем:

$$\delta_{\text{гл},2}^- = \frac{qh^2 - 4ql^2}{4lh} - \sqrt{\frac{qh^4 + 8q^2l^2h^2 + 16q^2l^4 + 16q^2l^2h^2}{16l^2h^2}}$$

Из условия прочности сжатой зоны  $2_0^-$  - в виде  $\delta_{\text{гл},2}^- \leq Rb$ , получаем несущую способность по бетону (предельную силу)  $Qb,2$ , отвечающую раздавливающую зоны  $2_0^-$ .

$$Q_{0,2}^b = \frac{Rb(h^2 + 4l^2) + \sqrt{[Rb^2(h^2 + 4l^2)]^2 + 16l^2h^2Rb^2}}{4lh} * b * h \quad (2)$$

В зоне  $3_0^+$  имеем:

$$\delta_{\text{гл},3}^+ = \frac{q * h^2 + 4l^2q}{4lh} \sqrt{\frac{q^2h^4 + 24q^2l^2h^2 + 16q^2l^4}{16l^2h^2}}$$

Аналогично, из условия прочности арматуры в растянутой зоне  $3_0^+$  в виде  $\delta_{\text{гл},3}^+ \leq \mu * Rs$ , получаем несущую способность по арматуре (предельную силу)  $Qs,3$  для зоны  $3_0^+$ :

$$Q_{0,3}^s = \frac{-\mu Rs(h^2 + 4l^2) - \sqrt{[\mu Rs(h^2 + 4l^2)]^2 + 16l^2h^2(\mu Rs)^2}}{4lh} * b * h \quad (3)$$

Зона  $4_-^+$  оказывается наиболее напряженной (опасной) и является зоной чистого сдвига, где главные напряжения, направленные под углом  $\pi/4$  к оси X максимальны во всем элементе.

Из условия прочности сжато-растянутого армированного бетона получим несущую способность сжато-растянутой зоны  $4_-^+$  (зона чистого сдвига) по арматуре при  $\delta_{\text{гл},4}^- \leq \delta_{\text{гл},4}^-$ .

Тогда главные напряжения зоны  $4_-^+$ :  $\delta_{\text{гл},4}^+ = 2q \leq \mu * Rs$ ,  
отсюда несущая способность по арматуре  $Qs,4$  для зоны  $4_-^+$ :

$$Q_{0,4}^s = \frac{\mu Rs}{2} b * h \quad (4)$$

Если армирование элемента ортотропно, то есть  $\mu_x \neq \mu_y$ , то условие прочности арматуры в растянутых зонах  $3_0^+, 4_-^+$ , принимает вид:

$$\delta_{\text{гл}}^+ \leq \delta_{s,\alpha}^{\text{max}} = R_s (\mu_x \cos^2 \alpha + \mu_y \sin^2 \alpha)$$

где:  $\alpha$  – угол наклона  $\delta_{\text{гл}}^+$  к оси X.

Тогда в зоне  $3_0^+$ :

$$\delta_{\text{гл},3}^+ = \frac{qh^2 + 4ql^2}{4lh} + \sqrt{\frac{q^2h^4 + 24q^2l^2h^2 + 16q^2l^4}{16l^2h^2}} \leq R_s (\mu_x \cos^2 \alpha + \mu_y \sin^2 \alpha)$$

Отсюда несущая способность по арматуре зоны  $3_0^+$ :



$$Q_{0,3}^s = \frac{\{R_s(\mu_x \cos^2 \alpha + \mu_y \sin^2 \alpha) * (h^2 + 4l^2) - \sqrt{[R_s(\mu_x \cos^2 \alpha + \mu_y \sin^2 \alpha) * (h^2 + 4l^2)]^2 + 16l^2 h^2 R_s(\mu_x \cos^2 \alpha + \mu_y \sin^2 \alpha)}\}}{4lh} \quad (5)$$

В зоне 4<sub>-</sub><sup>+</sup>:  $\delta_{гл,4}^+ = 2q \leq R_s(\mu_x \cos^2 \alpha + \mu_y \sin^2 \alpha)$ ,

тогда несущая способность по арматуре зоны 4<sub>-</sub><sup>+</sup>:

$$Q_{0,4}^s = \frac{R_s(\mu_x \cos^2 \alpha + \mu_y \sin^2 \alpha)}{2} * b * h \quad (6)$$

Если элемент не армирован, то условия прочности (1) заменяются на условия:

$$\begin{aligned} |\delta_{гл}^-| + \delta_{гл}^+ \cdot 0.5 R_b / R_{tb} \leq R_b + c & \quad \text{при } |\delta_{гл}^-| > R_b/2 \\ \delta_{гл}^+ \leq R_{bt}, & \quad \text{при } |\delta_{гл}^-| > R_b/2 \end{aligned} \quad (7)$$

Тогда главные напряжения и несущие способности по бетону принимают вид:

- для зоны 3<sub>0</sub><sup>+</sup>:  $\delta_{гл,3}^+ \leq \frac{qh^2 + 4qh^2}{4lh} + \sqrt{\frac{q^2 h^4 + 24q^2 l^2 h^2 + 16q^2 l^4}{16l^2 h^2}}$

$$Q_{0,3}^b = \frac{R_{bt} * (h^2 + 4l^2) - \sqrt{[R_{bt} * (h^2 + 4l^2)]^2 + 16l^2 h^2 R_{bt}}}{4lh} * b * h \quad (8)$$

для зоны 4<sub>-</sub><sup>+</sup>:  $\delta_{гл,4}^+ = 2q < R_{bt}$

$$Q_{0,4}^b = R_{bt}/2 * b * h \quad (9)$$

### Список литературы

1. Смирнов С.Б. Методы предельного равновесия и условия прочности плоских конструкций [Текст] / Дисс. ... докт. техн. наук./ С.Б.Смирнов. – М.: 1987, 444 с.
2. Смирнов С.Б. Метод расчета балок стенок в пластической стадии [Текст] / С.Б.Смирнов // Строительная механика и расчет сооружений. - 1984. – №5. - с.26 – 30.