

## ***Заключение***

Современные материалы, изготовленные из волокна на основе полимерного связующего, имея небольшой объёмный вес, обладают высокой прочностью.

По своим прочностным характеристикам они в некоторых случаях превосходят традиционные материалы (сталь, древесина и т. д.) и могут быть успешно использованы в качестве материала для строительных конструкций или их отдельных элементов.

В настоящей работе в результате численного исследования было установлено, что ограждающие конструкции принятой двутавровой формы с заполнением пустот утеплителем, способны воспринимать внешние воздействия (собственный вес, полезную нагрузку, нагрузки от снега и ветра) с высоким запасом прочности.

Вопросы экологичности таких конструкций в данной работе не исследовались и требуют дополнительного углубленного изучения.

## **Список цитированных источников**

1. FibR GmbH: Unique Filament Structures [Eltrtronic resource]. – Mode of access: <https://www.fibr.tech>. – Date of access: 02.04.2022.

2. Воздействия на конструкции Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки : ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250) Еврокод 1. – Введ. 10.12.2009. – Минск : РУП «Стройтехнорм : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 50 с.

3. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.01.1987. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.

4. Основы проектирования строительных конструкций. Строительные нормы Республики Беларусь : СН 2.01.01-2019. – Введ. 01.01.2019. – Минск : РУП «Стройтехнорм : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2019. – 102 с.

УДК 624.046.5

***Колесниченко М. В.***

***Научный руководитель: к. т. н., доцент Молош В. В.***

## **РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕЗУ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ РАССМОТРЕНИИ НОРМАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЙ**

### ***Введение***

Одним из наименее изученных элементов монолитного железобетонного каркаса является узел сопряжения плоской плиты и колонны. Несмотря на многочисленные экспериментальные и теоретические исследования, выполненные к настоящему времени, в проблеме сопротивления срезу при продавливании до конца не ясен механизм распределения внутренних усилий и деформаций, а также не разработана точная и надежная расчетная модель, позволяющая предсказывать величину указанного сопротивления. Расчёты таких узлов в настоящее время ведутся как правило с применением моделей, полученных путём статистической обработки результатов экспериментальных исследований, и являются эмпирическими.

### Основные положения расчётной модели

В расчёте предложено одновременно выполнять проверку нормального и наклонного к плоскости плиты сечений (сечения 1 и сечения 2 соответственно, рисунок 1).

Наиболее нагруженное нормальное сечение плиты (сечение 1 у грани колонны, рисунок 1) предложено рассчитывать по общему деформационному методу детально изложенному в работе [1].

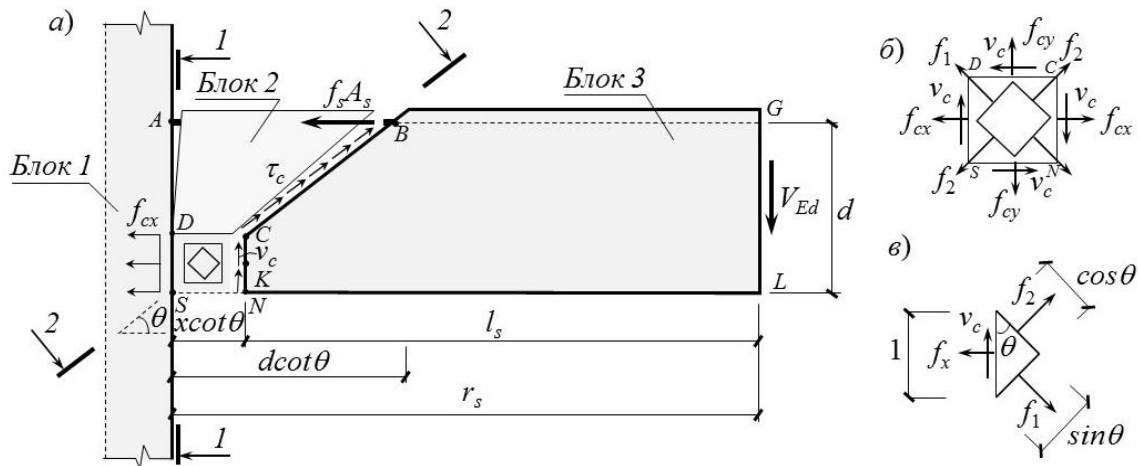


Рисунок 1 – Схема образования нормальной и наклонной трещин в процессе сопротивления срезу при продавливании

При этом нормальное к продольной оси поперечное сечение разбивают на отдельные полосы прямоугольной формы площадью  $A_{ci}$ . Ширина каждой полосы принимается равной расчётной ширине элемента  $b$ . В упрощенных моделях принимают допущение о том, что напряжения  $\sigma_{ci}$  в пределах каждого выделенного элементарной полосы бетона постоянны и равны напряжениям на уровне его центра тяжести. Поэтому относительные деформации рассчитывают на уровне центра тяжести каждого элементарного участка. Поперечное сечение разбивают на 10–12 полос по высоте, так как в этом случае допущение о постоянных напряжениях в пределах элементарного участка не вносит существенной погрешности в расчеты.

Для поперечного сечения необходимо составить уравнения равновесия, уравнения совместности относительных деформаций, физические уравнения, связывающие напряжения и относительные деформации для бетона и арматуры в виде диаграмм деформирования

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sigma_{ci} A_{ci} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} = N_z; \\ \sum_{i=1}^n \sigma_{ci} A_{ci} y_{ci} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} y_{sj} = M_z; \end{cases} \quad \begin{cases} \varepsilon_{ci} = \varepsilon_z + \psi \cdot y_{ci}; \\ \varepsilon_{sj} = \varepsilon_z + \psi \cdot y_{sj}; \end{cases} \quad \begin{cases} \sigma_{ci} = f(\varepsilon_{ci}); \\ \sigma_{sj} = f(\varepsilon_{sj}); \end{cases} \quad (1)$$

где  $\sigma_{ci}$ ,  $\sigma_{sj}$  – средние нормальные напряжения соответственно в  $i$ -й бетонной полосе и в  $j$ -м стержне арматуры;

$A_{ci}$ ,  $A_{sj}$  – площадь поперечного сечения соответственно  $i$ -й бетонной полосы и  $j$ -го стержня арматуры;

$y_{ci}, y_{sj}$  – расстояние по вертикали от наиболее сжатой грани бетона до центра тяжести соответственно  $i$ -й бетонной полосы и  $j$ -го стержня арматуры;

$M_z$  – изгибающий момент, вызванный действием внешней поперечной силы  $V_{Ed}$ ;  $\varepsilon_z$  – средние относительные деформации наиболее сжатой грани бетонного сечения;

$\psi$  – кривизна поперечного сечения элемента.

Расчёт выполняется с учётом физической нелинейности сопротивления бетона в итерационной форме. Диаграммы деформирования для бетона приведена на рисунке 2 и описываются следующими выражениями:

- напряжения в бетоне при сжатии:

$$\sigma_c = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta} \cdot f_{cm}, \quad (2)$$

где  $k = (1,1E_{cm} |\varepsilon_{c1}|) / f_{cm}$ ;

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1};$$

$$\varepsilon_{c1} = -0,002;$$

$E_{cm}, f_{cm}$  – среднее значение соответственно модуля упругости и прочности бетона при сжатии;

$\varepsilon_c$  – текущие относительные деформации в бетоне при осевом сжатии;

$\varepsilon_{c1}$  – относительные деформации в бетоне при сжатии, соответствующие пиковой точке на диаграмме деформирования;

- напряжения в бетоне при растяжении на восходящей ветви:

$$\sigma_{ct} = \left[ 1,2(\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1}) - 0,2(\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1})^6 \right] \cdot f_{ctm}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{ct}$  – текущие относительные деформации в бетоне при осевом растяжении;

$\varepsilon_{ct1} = (44f_{ctm}) \cdot 10^{-6}$ , МПа – относительные деформации, соответствующие пиковой точке на диаграмме деформирования при растяжении;

$f_{ctm} = 0,3f_{cm}^{2/3}$  – среднее значение прочности бетона при растяжении;

- напряжения в бетоне при растяжении на нисходящей ветви:

$$\sigma_{ct} = \frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_{ct1} \cdot \alpha_{ct} \left[ (\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1}) - 1 \right]^{1,7} + (\varepsilon_{ct} / \varepsilon_{ct1})} \cdot f_{ctm}, \quad (4)$$

где  $\alpha_{ct} = 0,312f_{ctm}^2$ .

Для арматуры принята билинейная диаграмма деформирования Прандтля с пиковой точкой, соответствующей пределу текучести арматуры  $f_y$ .

Учитывая, что напряжения и относительные деформации на рассматриваемом уровне нагружения конструкции связаны текущим модулем деформаций  $E'_c$ ,

который представляет собой модуль упругости на соответствующем этапе нагружения и определяется из диаграмм деформирования [рисунок 2, выражения (4) – (6)], можно записать:

$$\begin{aligned}\sigma_{ci}(\varepsilon_{ci}) &= E'_{ci}\varepsilon_{ci}; \\ \sigma_{sj}(\varepsilon_{sj}) &= E'_{sj}\varepsilon_{sj}.\end{aligned}\quad (5)$$

Из совместного решения (1) и (5) система уравнений (1) может быть преобразована к виду:

$$\begin{cases} \left( \sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci} + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj} \right) \varepsilon_z + \left( \sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci}y_{ci} + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj}y_{sj} \right) \psi = N_z; \\ \left( \sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci}y_{ci} + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj}y_{sj} \right) \varepsilon_z + \left( \sum_{i=1}^n E'_{ci}A_{ci}y_{ci}^2 + \sum_{j=1}^m E'_{sj}A_{sj}y_{sj}^2 \right) \psi = M_x.\end{cases}\quad (6)$$

Расчёт нормального сечения на заданном уровне нагружения следует вести в итерационном виде, изменяя в процессе расчёта величину секущего модуля упругости до тех пор, пока рассчитанные и заданные значения продольной силы  $N_z$  и изгибающего момента  $M_x$  не будут равны между собой с требуемой точностью.

В результате расчёта нормального к продольной оси элемента сечения получают текущие значения напряжений, деформаций и модуля упругости в сжатой зоне бетона и растянутой арматуре.

Расчёт наклонного к продольной оси сечения следует вести из рассмотрения равновесия блока 3 (рисунок 1). При этом для элементов без поперечной арматуры могут быть составлены следующие уравнения равновесия:

$$\begin{cases} \sum X = f_c b x + \tau_c (d - x) b \cot \theta - f_s A_s = 0; \\ \sum Y = v_c b x + \tau_c (d - x) b - V_{Ed} = 0; \\ \sum M_k = V_{Ed} l_s - f_s A_s (d - 0,5x) + \tau_c (d - x) b \cot \theta \cdot 0,5x = 0,\end{cases}\quad (7)$$

где  $f_c$  – текущие нормальные напряжения в сжатой зоне бетона, полученные после расчёта наиболее нагруженного нормального сечения;

$b = 2 \cdot (a_k + b_k) + 3,1 \pi d$  – ширина расчётного сечения;

$a_k, b_k$  – размеры колонны в плане;

$x$  – высота сжатой зоны бетона;

$\tau_c$  – касательные напряжения, вызванные зацеплением контактирующих поверхностей бетона в наклонной трещине;

$d$  – эффективная рабочая высота плиты;

$f_s$  – текущие напряжения в продольной арматуре;

$A_s$  – площадь продольной арматуры;

$v_c$  – касательные напряжения, возникающие в сжатой зоне бетона над вершиной наклонной трещины;

$V_{Ed}$  – внешняя обобщенная поперечная сила;

$l_s = r_s - x \cot \theta$  – расстояние по горизонтали от сечения с нулевым моментом до вершины наклонной трещины (рисунок 1);

$r_s$  – пролёт среза;

$\theta$  – угол наклона трещины среза.

Из решения системы уравнений (7) может быть получено выражение для определения касательных напряжений  $v_c$  в сжатом бетоне над наклонной трещиной:

$$v_c = f_s \rho_l (h/x) [(d-x)/l_s - \tan \theta] - f_c (0,5x/l_s + \tan \theta), \quad (8)$$

где  $\rho_l$  – коэффициент продольного армирования поперечного сечения;  
 $h$  – высота плиты.

Средняя величина относительных деформаций при сдвиге в сжатой зоне бетона может быть получена по известной формуле

$$\gamma = v_c / G, \quad (9)$$

где  $G = k \cdot E_c'$  – текущий модуль сдвига бетона;

$k = 0,305$  – корректирующий эмпирический коэффициент.

Зависимости между осевыми и главными относительными деформациями в сжатой зоне бетона могут быть получены из рассмотрения элементарной призмы (рисунок 1в) с учётом приведенных выше допущений в виде

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1 \sin^2 \theta + \varepsilon_2 \cos^2 \theta; \quad 0,5\gamma = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \sin \theta \cos \theta. \quad (10)$$

Из системы уравнений (10) могут быть определены главные относительные деформации  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ .

Величина предельной перерезывающей силы  $V_{Ed}$  может быть определена из выражения

$$V_{Ed} = v_c b x + \tau_c (d-x) b, \quad (11)$$

где  $\tau_c = \frac{0,18 \sqrt{f_{cm}}}{0,3 + 30 \cdot d \cot \theta \cdot \varepsilon_{sx}}$  – касательные напряжения, вызванные зацеплением

контактирующих поверхностей бетона в трещине среза;

$\varepsilon_{sx}$  – относительные деформации в растянутой арматуре наклонного сечения 2, которые, для упрощения расчёта, могут быть приняты равными относительным деформациям в растянутой арматуре нормального сечения 1.

#### Список цитированных источников

1. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчёта и конструирования : учеб. пособие / Н. П. Блещик, Д. Д. Жуков, Д. Н. Лазовский ; под ред. проф. Т. М. Пецольда и проф. В. В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003 – 380 с., с ил.

2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий = Праектаванне жалезабетонных канструкцый. Частка 1–1. Агульныя правілы і правілы для будынкау : ТКП EN 1992-1-1-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : СЕН/ТС 250 «Еврокоды конструкций» : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 207 с.