

**Горынцев Владислав Олегович**

студент

Архитектурно-строительный институт  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
технический университет»  
г. Самара, Самарская область

DOI 10.21661/r-114274

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ**

*Аннотация: в данной статье рассмотрены современные методики расчета прочности железобетонных элементов при поперечном изгибе по российским и зарубежным нормам проектирования и предложения по их совершенствованию.*

**Ключевые слова:** продольное армирование сечение, силы зацепления, наклонная трещина, угол наклона трещины, высота сечения.

В действующих российских нормах проектирования [1] расчет прочности изгибаемых элементов при поперечном изгибе производят из условия равновесия внешних и внутренних сил, действующих в наклонном сечении.

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} \quad (1)$$

где  $Q$  – поперечная сила в вершине наклонного сечения;  $Q_b$  – касательное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны над наклонной трещиной;  $Q_{sw}$  – усилие, воспринимаемое поперечной арматурой в наклонном сечении.

Для балки без поперечного армирования внутренним предельным усилием, в соответствии с принятой в [1] расчетной моделью, является касательное усилие  $Q_b$ . Аналитическое описание величины усилия в сжатой зоне бетона весьма затруднительно, поскольку расчетная модель прочности наклонных сечений железобетонной балки имеет эмпирический характер, обусловленный сложностью

напряженно-деформированного состояния композитного материала в зоне поперечного изгиба [2–4; 10]. Поэтому для определения величины  $Q_b$  традиционно используют экспериментальный подход.

Похожую структуру имеют расчетные формулы и в нормах ACI 318 [8]:

$$V \leq V_c + V_s \quad (2)$$

Поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны  $V_c$ , так же определяется геометрическими характеристиками железобетонного элемента и цилиндрической прочностью бетона.

Основываясь на экспериментально-теоретических данных, в европейских нормах [9], было предложено полуэмпирическое выражение касательного усилия в сжатой зоне бетона, включающее величину процента армирования ( $\rho_1$ ) и коэффициент ( $k$ ), учитывающий высоту сечения изгибающего элемента.

$$V_{Rd.ct} = \left[ \frac{0,18}{\gamma_c} k (100 \rho_1 f_{sk})^{\frac{1}{3}} \right] b_w d \quad (3)$$

Дальнейшее развитие теории прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил происходит на основе полуэмпирического подхода, одним из направлений которого является теория критического раскрытия трещины [11], нашедшая свое отражение в европейских нормах ModelCode 10.

Теория критического раскрытия трещины рассматривает прочность изгибающего элемента по поперечной силе как функцию, зависящую от размера крупного заполнителя и ширины раскрытия критической наклонной трещины, представленную следующей зависимостью:

$$\frac{V_R}{bd\sqrt{f_c}} = \frac{1}{6} \times \frac{2}{1 + 120 \frac{\varepsilon d}{16 + d_g}} \quad (4)$$

где  $V_R$  – поперечная сила, действующая в наклонном сечении;  $b$  – ширина об разца;  $d$  – рабочая высота сечения;  $f_c$  – цилиндрическая прочность бетона при сжатии;  $\varepsilon$  – деформации растянутой арматуры;  $d_g$  – размер крупного заполнителя.

Другим направлением развития теории прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил является модифицированная теория полей

сжатия, предложенная авторами [12]. Данная методика расчета железобетонных элементов при действии поперечных сил позволяет учитывать процент продольного армирования балки при определении величины касательного усилия в сжатой зоне бетона.

Представленный анализ показывает, что теоретические предпосылки, заложенные в расчетных моделях нормативных документов, недостаточно точно описывают характер работы наклонных сечений железобетонных элементов при поперечном изгибе, наблюдаемый при проведении экспериментальных исследований [5–7]. Недостаточное соответствие обусловлено эмпирической природой расчетных зависимостей. Предложенные авторами [11; 12] методики расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов на действие поперечной силы позволяют точнее описать их работу, поскольку учитывают влияние на несущую способность конструкции при поперечном изгибе таких факторов как процент продольного армирования сечения, силы зацепления по берегам наклонной трещины и угол ее наклона, высота сечения элемента.

### ***Список литературы***

1. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – ФЦС. – М., 2012. – 162 с.
2. Филатов В.Б. Расчет прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов с учетом сил зацепления в наклонной трещине [Текст] / В.Б. Филатов // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: В 7 т. Т. 1. – М.: МГСУ. – 2014. – С. 389–396.
3. Филатов В.Б. Сравнительная оценка прочности железобетонных элементов при поперечном изгибе по различным методикам [Текст] / В.Б. Филатов // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия: Сборник докладов Международной научной конференции. – М.: НИУ МГСУ, 2016. – С. 484–488.
4. Филатов В.Б. Расчетная модель наклонного сечения железобетонной балки с учетом сил зацепления в наклонной трещине [Текст] / В.Б. Филатов,

Е.В. Блинкова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №3. – С. 39–42.

5. Филатов В.Б. Особенности работы и эффективное использование жесткой поперечной арматуры железобетонных балок [Текст] / В.Б. Филатов, Ю.В. Жильцов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – №4 (5). – С. 1325–1328.

6. Филатов В.Б. Анализ расчетных моделей при расчете прочности наклонных сечений железобетонных балок на действие поперечных сил [Текст] / В.Б. Филатов, А.С. Арцыбасов, М.А. Багаутдинов, Д.И. Гордеев, А.И. Кортунов, Р.А. Никитин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16. – №4 (3). – С. 642–645.

7. Филатов В.Б. Анализ влияния конструктивных параметров на прочность железобетонных плит при продавливании [Текст] / В.Б. Филатов, Е.П. Бубнов, А.К. Алексеев, М.А. Брусков, З.Ш. Гаяутдинов, А.Г. Пройдин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16. – №4 (3) – С. 646–649.

8. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary: ACI 318–05 // American Concrete Inst., Farmington Hills. – USA. – 2006. – 430 p.

9. Eurocode 2. Design of Concrete Structures. Part 1. General Rules and Rules for Buildings: EN 1992 – 1:2001. – Brussels. – 2002. – 230 p.

10. Filatov V.B. Research of the stress condition of the normal section of reinforced concrete elements using nonlinear deformation model [Text] / V.B. Filatov, A.A. Suvorov // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 153. – P. 144–150. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.094

11. Muttoni A. Shear Strength of Members without Transverse Reinforcement as Function of Critical Shear Crack Width [Text] / A. Muttoni, M.F. Ruiz // ACI Structural Journal. – 2008. – Vol. 105. – №2. – P. 163–172.

12. Vecchio F.J. The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear [Text] / F.J. Vecchio, M.P. Collins // ACI Journal, Proceedings. – 1986. – Vol. 83. – №2. – P. 219–231.