

УДК 621.791.763
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
БАЛОЧНЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВНЕШНИМ ЛИСТОВЫМ
АРМИРОВАНИЕМ (ТИПА КНЭСК)

В.Н. МЕДВЕДЕВ

Научный руководитель С.Д. СЕМЕНЮК, д-р техн. наук, доц.
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Сборные и монолитные железобетонные конструкции с внешним армированием получили распространение в различных отраслях строительства в нашей стране и за рубежом. Концентрированное расположение полосовой, листовой арматуры на внешних гранях сечения конструкций позволяет снизить их массу, получить экономию стали и уменьшить размеры сечения по сравнению с железобетонными.

Внешняя арматура в виде листов или прокатных профилей позволяет эффективно использовать сталебетонные конструкции с большим процентом армирования при ограниченных размерах сечений, а при двойном армировании заменять ими стальные конструкции с экономией стали до 45 %.

Проводимые совместно с И.М. Кузменко исследования новых конструктивных форм элементов с внешним листовым армированием будут способствовать более эффективному строительству.

Актуальность научных исследований заключается в численных и экспериментальных исследованиях, описании фактической работы балочных конструкций с внешним листовым армированием, на основании которых получена оценка несущей способности и деформативности композитных несущих элементов строительных конструкций, а на основании полученных данных – прогнозирование работы композитного несущего элемента при различных стадиях напряженно-деформируемого состояния.

При оценке прочности и деформативности исследуемых конструкций существуют расчетные методики требующие экспериментального подтверждения применительно к исследуемым конструктивным элементам. К таким методикам можно отнести расчет по деформационной модели и расчет по упругопластической модели.

Расчет прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента по упругопластической модели выполняется с использованием геометрии сечения, прочностных и деформативных характеристик стали и бетона.

Определение предельных усилий в нормальных сечениях основывается на следующих предположениях:

- связь между напряжениями и деформациями бетона, а также напряжения и деформации арматуры принимают в виде диаграмм по рис. 1;
- для средних деформаций бетона и арматуры считается справедливым линейный закон распределения по высоте сечений;
- в качестве расчетного принимают сечение со средней высотой сжатой зоны «х», соответствующей средним деформациям;
- сопротивление расчетного сечения будет исчерпано, если деформации крайних сжатых волокон бетона для растянутой арматуры достигают предельных значений.

Прочность нормальных сечений находится в зависимости от степени использования сопротивления сжатого бетона и растянутой арматуры.

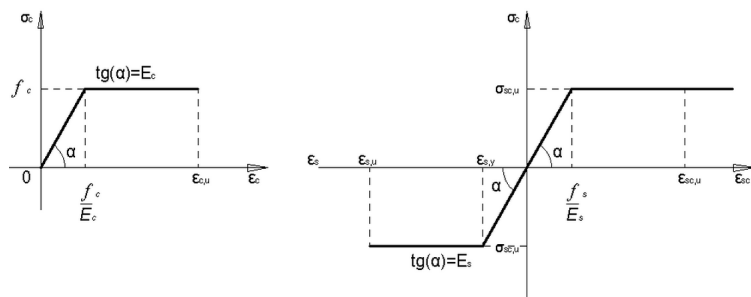


Рис. 1. Диаграммы « $\sigma - \epsilon$ »

Проверку прочности нормальных сечений производят из условий (рис. 2)

$$M \leq M_u = 0,5 f_e \cdot b \cdot x \left[(1 + \lambda) h_0 - 0,33x(1 + \lambda^2) \right] + \sigma_{se} \cdot A_{sc} (d - c') \quad (1)$$

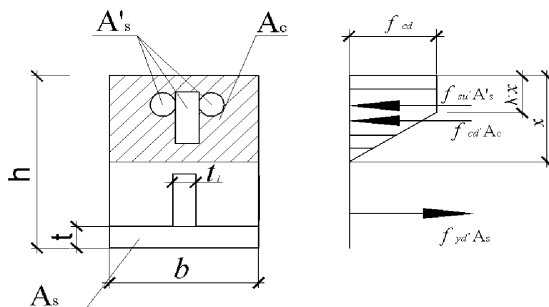


Рис. 2. Поперечное сечение плиты с КНЭСК при расчете прочности нормальных напряжений

Высоту сжатой зоны «x» находят из уравнения

$$A_1 x^2 + A_2 \cdot x + A_3 = 0; \quad (2)$$

где

$$A_1 = 0,5 \cdot (1 - \lambda^2) \cdot b; \quad (3)$$

$$A_2 = \alpha \lambda s - (1 - \lambda) \frac{f_s}{f_c} \cdot A_s; \quad (4)$$

$$A_3 = -\alpha A_s \cdot c; \quad (5)$$

$$\lambda = 1 - \frac{f_c}{\varepsilon_{c,u} \cdot E_c}; \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_c}; \quad (7)$$

$$\sigma_{sc} = \frac{\alpha \cdot f_c \cdot (x - c)}{(1 - \lambda) \cdot x}. \quad (8)$$

При оценке прочности балочных изгибаемых элементов композитного несущего элемента строительных конструкций (КНЭСК) по наклонным сечениям, выполняют расчет исходя из характера разрушения элемента. При этом рассматривают два расчетных случая.

Первый случай. Преодолевается сопротивление арматуры (листовой, фасонной), происходит взаимный поворот обеих частей балки вокруг точки О, мгновенного центра вращения, расположенного в сжатой зоне на пересечении направления наклонной трещины и равнодействующей сжимающих усилий в бетоне (рис. 3). Арматура «течет» или при слабом заанкерении выдергивается, а сжатая зона сокращается и разрушается; это явление подобно разрушению балки при изгибе по нормальному сечению

Второй случай. При наличии сильной и хорошо заанкеренной продольной арматуры, в результате совместного действия срезающих и сжимающих усилий, разрушается бетон сжатой зоны.

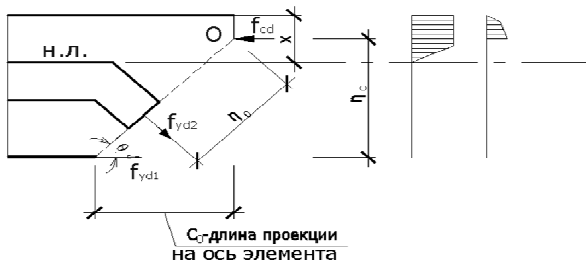


Рис. 3. Расчетная схема КНЭСК при определении внутренних усилий по наклонному сечению

Исходя из описанной схемы излома элемента, разрушающий момент и разрушающая поперечная сила в наклонном сечении равны:

$$M = f_{yd1} \cdot A_1 \cdot \eta_c + f_{yd2} \cdot A_2 \cdot \eta_0; \quad (9)$$

$$Q_y = f_{cd2} \cdot A_2 \cdot \sin(\theta) + Q_c; \quad (10)$$

$$Q_x = f_{cd2} \cdot A_2 \cdot \cos(\theta) - f_{cd} \cdot A_c + f_{yd1} \cdot A_1. \quad (11)$$

Формула (9) выражает сумму моментов внутренних усилий относительно точки приложения равнодействующей сжатой зоны сечения, а формулы (10, 11) сумму проекций внутренних усилий на нормаль к продольной и вертикальной оси элемента. В формулах A_1 , A_2 , A_c – площадь сечения соответственно нижнего опорного листа, фасонной арматуры; η_0 , η_c – расстояния до точки О соответственно от центра тяжести упрочняющего элемента КНЭСК и центра тяжести нижнего опорного листа.

Величина разрушающей поперечной силы Q_c , воспринимаемой бетоном сжатой зоны, носит полуэмпирический характер и зависит от геометрических размеров сечения, марки бетона и от угла наклона трещины. Ее значение вычисляется исходя из выражения

$$Q_c = \frac{B \cdot f_{ct} \cdot b \cdot d_0^2}{c}; \quad (12)$$

где: B – эмпирический коэффициент; b – ширина прямоугольного сечения; c – длина проекции наклонного сечения на ось элемента; d_0 – рабочая высота сечения; f_{ct} – предел прочности бетона при растяжении.

При проведении экспериментальных исследований балочных конструкций с внешним листовым армированием, были поставлены следующие цели и задачи:

- установление физико-механических и деформативных свойств бетона и стали;
- проведение серии экспериментальных исследований процесса поэтапного нагружения экспериментальных образцов КНЭСК;
- обоснование и определение геометрических размеров опытных образцов;
- изучение влияния размеров фасонной арматуры на прочность, деформативность и трещиностойкость конструкции;
- изучение влияния геометрических размеров элемента на несущую способность;
- определение характера предельного состояния;
- поиск наиболее рациональных и эффективных способов анкеровки листовой арматуры;
- определение деформативности образцов в целом и деформативности контакта, между листом и бетоном.

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 18 образцов, объединенных в три серии.

Конструкция загружалась постепенно, ступенями, не превышающими 10 % от разрушающей нагрузки (разрушающая нагрузка предварительно принимается на основании численного эксперимента), до условного уровня эксплуатации, равного $0,8R_{разр}$. После этого величина ступени уменьшалась до 5 %. Для определения численного значения пластических деформаций, после каждой ступени приложения нагрузки, делались 5-ти минутные выдержки, а при значении нагрузки $0,8R_{разр}$ - выдержка 30 минут. Отсчеты по приборам снимали в начале и в конце выдержки.

На поверхность бетона и сварного каркаса наклеивали отдельные тензорезисторы с базой 20 мм. Схемы установки тензорезисторов на стальном сварном каркасе и на бетоне приведены на рис. 1 и 2. Из-за необходимости фиксации нормальных деформаций в сечении с разным положением гофра (рис. 4, 5) для балок серии БК-1 и БК-3 в зоне чистого изгиба устанавливались дополнительные горизонтальные тензорезисторы. В нормальном сечении балок серии БК-2 деформации фиксировались индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

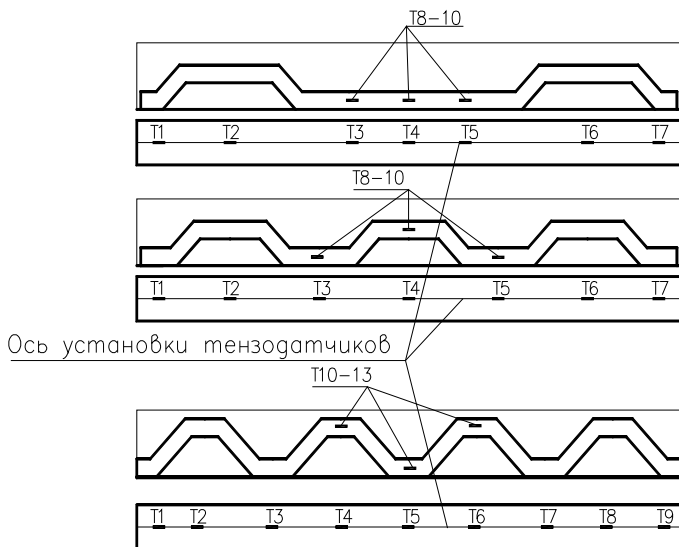


Рис. 4. Схема расположения тензорезисторов на стальном, сварном каркасе опытных образцов

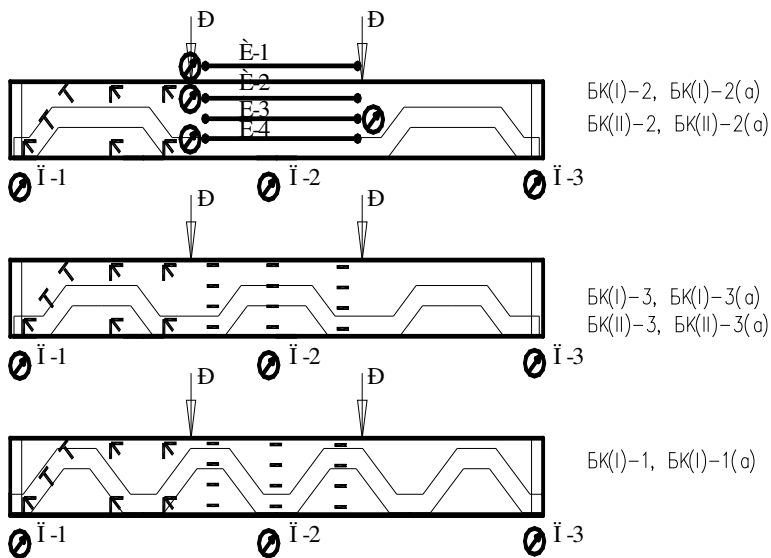


Рис. 5. Схема расположения тензорезисторов на бетоне опытных образцов