

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И  
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА  
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 624.012.35:529.3/4

**ОБ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН  
НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПРИ МЕСТНОМ СЖАТИИ**

*РАК Н.А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**ВВЕДЕНИЕ**

Одним из способов повышения несущей способности бетонных элементов при местном сжатии является установка на нагружаемой плоскости элемента стальной пластины, габариты которой превышают габариты площади приложения нагрузки.

Природа повышения несущей способности таких элементов, как показали экспериментальные исследования, заключается, в основном, в том, что пластины распределяют напряжения на бетон элемента, расположенный за пределами площади нагружения. Кроме того, пластины за счет наличия сил трения между пластиной и бетоном, сдерживают поперечные деформации бетона, возникающие при действии местной нагрузки.

Анализ литературных источников показал, что наблюдаются два подхода к оценке распределяющей способности пластин. При первом подходе принято, что эпюра напряжений под пластиной за пределами площади нагружения переменна и зависит гибкости пластины. При втором подходе принято, что эпюра напряжений под пла-

стиной за пределами площади нагружения равномерна. При этом в исследованиях даны различные рекомендации по определению габаритов зоны распределения. Так, например, в [1, 2] принято, что давление распространяется под углом к вертикали, тангенс которого равен 1,5. В [3] предложено при толщине пластины 10 мм принимать размер зоны распределения равным 45 мм.

Изучение нормативной литературы по расчету железобетонных конструкций показало, что указания о необходимости учета влияния стальных пластин в них отсутствуют. Однако в пособии [4] приведены указания о возможности учета этого влияния при выполнении определенных конструктивных требований (толщина листа должна быть не менее  $1/3$  максимального расстояния от края листа до центрирующей прокладки).

В европейских нормах по расчету соединений стальных конструкций [5] даны рекомендации по назначению габаритов зоны распределения применительно к расчету несущей способности опорных плит баз стальных колонн. При этом принимается, что размер зоны распределения зависит от толщины пластины, предела текучести стали пластины и расчетного сопротивления смятию материала под опорной плитой.

Экспериментальные исследования при местном сжатии бетонных элементов, имеющих расположенную на нагруженной плоскости стальную пластину, были выполнены Hawkins [6], DeWolf [7]. Позднее на основе анализа экспериментальных данных [6] и конечно элементного моделирования в [8] были разработаны предложения по учету влияния пластин на несущую способность бетонных элементов.

В бывшем СССР были выполнены исследования влияния пластин толщиной от 1 до 12 мм на несущую способность бетонных призм для случая их полосового краевого нагружения двумя штампами [9]. В Республике Беларусь были выполнены исследование влияния пластин толщиной 6 и 12 мм на несущую способность элементов из высокопрочного бетона при концентричном приложении нагрузки [10].

Однако до настоящего времени в нормативных документах по расчету железобетонных конструкций отсутствует методика учета

влияния стальных пластин при расчете бетонных элементов на местное сжатие.

В связи с этим была поставлена задача включить в разрабатываемый ТКП по расчету железобетонных конструкций рекомендации по учету влияния пластин. При этом необходимо проверить надежность предлагаемой методики расчета согласно требованиям базового европейского стандарта по проектированию строительных конструкций [11].

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ

Предлагаемая методика учета влияния стальных пластин на несущую способность бетонных элементов при местном сжатии основана на методике расчета бетонных элементов [12], включенной в окончательный вариант ТКП по расчету бетонных и железобетонных конструкций.

Согласно [12] несущую способность следует определять по следующей зависимости

$$f_{cud} = f_{cd} \cdot 1 + 12,5 \cdot \psi_c \leq 3f_{cd}, \quad (1)$$

$$\text{где } \psi_c = \frac{f_{cm}}{f_{cm}} \left( \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} - 1 \right), \quad \frac{f_{cm}}{f_{cm}} \geq 0,07, \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}.$$

В приведенных выше зависимостях приняты следующие обозначения:  $f_{cd}$  – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию;  $\gamma_c = 1,6$  – частный коэффициент по бетону;  $f_{ck}$  – характеристическое сопротивление бетона осевому сжатию, определенное с обеспеченностью 0,95;  $f_{cm}$ ,  $f_{ctm}$  – соответственно среднее сопротивление бетона осевому сжатию и осевому растяжению,  $A_{c0}$  – площадь бетона, на которую приложена местная сжимающая нагрузка;  $A_{c1}$  – условная площадь бетона;  $\psi_c$  – коэффициент относительного бокового давления.

Степень распределения зависит от толщины пластин  $\delta_{pl}$ , расчетного сопротивления стали пластины  $f_{yd,pl}$  и, что особенно важно, от расчетного сопротивления бетона, расположенного под пластиной  $f_{cud}$ .

При наличии стальной пластины толщиной  $\delta_{pl}$  площадь бетона  $A_{c0}$ , расположенная в плоскости низа пластины, должна опреде-

ляться по площади приложения нагрузки на верхнюю плоскость пластины  $A_{pl}$ , дополненной площадью зоны распределения, обеспечиваемой пластиной

$$A_{c0} = A_{pl} + p \cdot a_d + 4 \cdot a_d^2, \quad (2)$$

где  $p$  – периметр площади приложения нагрузки на пластину,  $a_d$  – условная ширина зоны распределения.

При этом условную ширину зоны распределения  $a_d$  (рис. 1) следует определять по зависимости

$$a_d = \delta_{pl} \cdot \sqrt{\frac{f_{ym}}{3 \cdot f_{cum}}} \quad (3)$$

где  $\delta_{pl}$  – толщина пластины;  $f_{ym}$  – среднее значение предела текучести стали пластины;  $f_{cum}$  – среднее значение сопротивления бетона местному смятию, определяемое по зависимости (1) при  $\gamma_c = 1$  и площади  $A_{c0}$ , определяемой по зависимости (2).

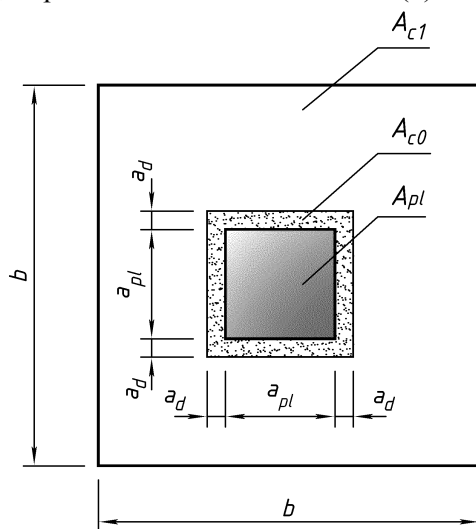


Рисунок 1. К определению площади  $A_{c0}$  при учете влияния пластин на несущую способность бетонного элемента при местном сжатии

Среднее значение предела текучести стали пластины  $f_{ym}$  следует определять по его нормативному значению  $f_{yn}$ , при значении коэффициента вариации, равном 0,07.

Решение системы нелинейных уравнений (1)–(3) целесообразно выполнять методом последовательных приближений. В качестве первого приближения значение  $a_d$  рекомендуется определять по зависимости (3) при значении  $f_{cum}$ , определенном при площади  $A_{c0} = A_{pl}$ .

Для каждого цикла приближения по начальному значению  $a_d$  определяют площадь  $A_{c0}$  и значение  $f_{cum}$  при этой площади. При новом значении  $f_{cum}$  определяют конечное значение  $a_d$ . Расчет останавливают, если расхождение конечного значения  $a_d$  от начального не превышает 1%.

Для случая элемента квадратного сечения размером  $b$  и нагружения пластины по площади квадрата размером  $a_{pl}$  площадь нагружения бетона под пластиной будет равна

$$A_{c0} = a_{pl} + 2a_d^2$$

Тогда значение  $\psi_c = \frac{f_{cum}}{f_{cm}} \left( \frac{b}{a_{pl} + 2a_d} - 1 \right)$ .

При этом система нелинейных зависимостей (1–3) может быть сведена к кубическому уравнению относительно неизвестной  $a_d$ .

Были выполнены расчеты по приведенной выше методике для различных толщин пластин и классов бетона по прочности на сжатие. При этом размер  $a_{pl}$  площади приложения нагрузки к пластине был принят равным 100 мм, а поперечный размер  $b$  бетонного элемента был принят равным 300 мм. Результаты определения величины  $a_d$  (рис. 2) свидетельствуют о том, что с увеличением класса бетона по прочности на сжатие относительный размер площади распределения  $\alpha = a_d / \delta_{pl}$  убывает нелинейно. При одинаковой прочности бетона увеличение толщины пластины приводит к увеличению относительного размера площади распределения.

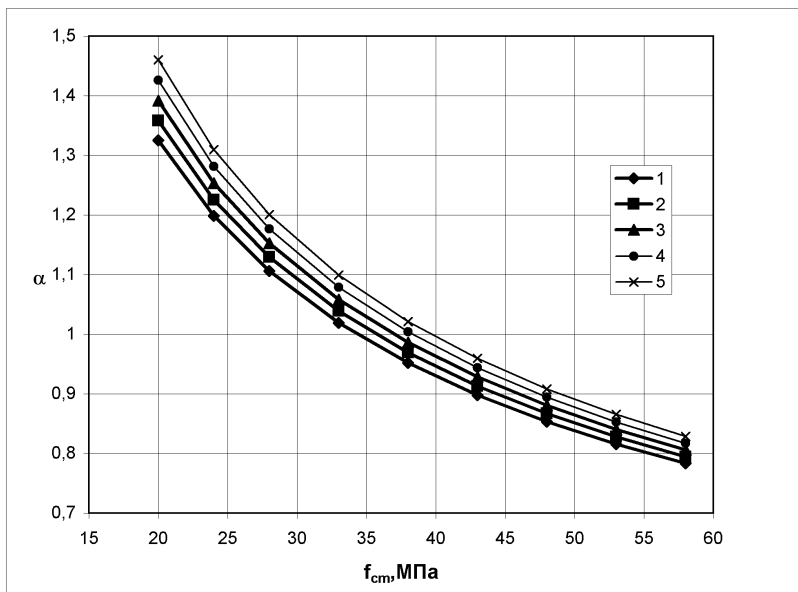


Рисунок 2. Зависимость значений относительного размера площади распределения

$\alpha$  от значений средней прочности бетона  $f_{cm}$  при толщине пластины  $\delta_{pl}$  :  
 1 – 6 мм; 2 – 8 мм; 3 – 10 мм, 4 – 12 мм; 5 – 14 мм

### ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

Оценка надежности предлагаемой методики расчета выполнялась согласно приложению D базового документа [11] системы строительных Еврокодов с использованием банка экспериментальных данных.

Общая последовательность оценки надежности методов расчета состояла из нескольких этапов.

Этап 1. Формулирование расчетной модели в форме теоретической функции сопротивления  $r_t = g_r(X)$ , которая содержит все определяющие основные базисные переменные  $X$ , оказывающие воздействие на рассматриваемое предельное состояние.

Этап 2. Сравнение экспериментальных и теоретических значений с построением диаграммы, содержащей пары этих значений.

Для сравнения выбраны экспериментальные значения из банка экспериментальных данных, сформированного по исследованиям [6, 10]. Общее число экспериментальных значений составило 53.

Этап 3: Определение поправки среднего значения  $b$ .

Этап 4: Определение коэффициента вариации величины рассеяния  $\delta$ .

Этап 5: Проверка совместимости.

Полученные результаты (рис. 3) свидетельствуют о том, что предлагаемый метод расчета позволяет получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными значениями. Значение поправки среднего значения  $b$  равно 0,9411, а значение коэффициента вариации  $V_\delta$  величины рассеяния  $\delta$  равно 0,09.

Полученная поправка среднего значения незначительно отличается от 1, а значение коэффициента вариации  $V_\delta$  величины рассеяния  $\delta$  не превышает 0,1. Это свидетельствует о высокой точности используемой расчетной зависимости.

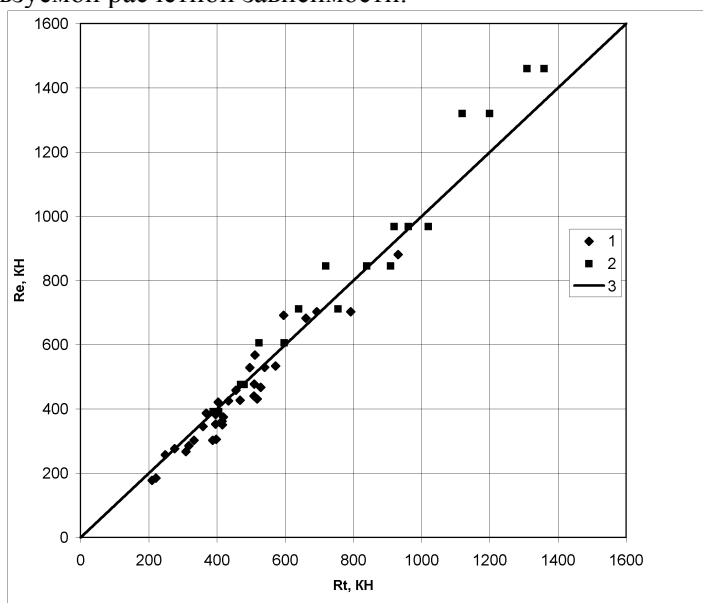


Рисунок 3. Диаграмма сравнения экспериментальных значений несущей способности  $R_e$  с теоретическими  $R_t$  по предлагаемой методике: 1 – данные [6]; 2 – данные [10]; 3 – линия, соответствующая равенству  $R_t = R_e$

Этап 6: Определение коэффициентов вариации базисных переменных  $V_{X_i}$ .

В качестве базисных переменных  $X$ , оказывающих воздействие на рассматриваемое предельное состояние, приняты следующие переменные:

1) прочность бетона при осевом сжатии  $f_c$ ; 2) размер площади приложения нагрузки  $a_{pl}$ ; 3) толщина пластины  $\delta_{pl}$ ; 4) предел текучести стали пластины  $f_{ym}$ ; 5) поперечный размер бетонного элемента  $b$ .

Этап 7: Определение суммарного коэффициента вариации  $V_r$  функции сопротивления.

После определения значений  $V_r$  были определены значения индексов надежности  $\beta$  (рис.4), обеспечиваемых предлагаемым методом при различных значениях частного коэффициента по бетону  $\gamma_c$ .

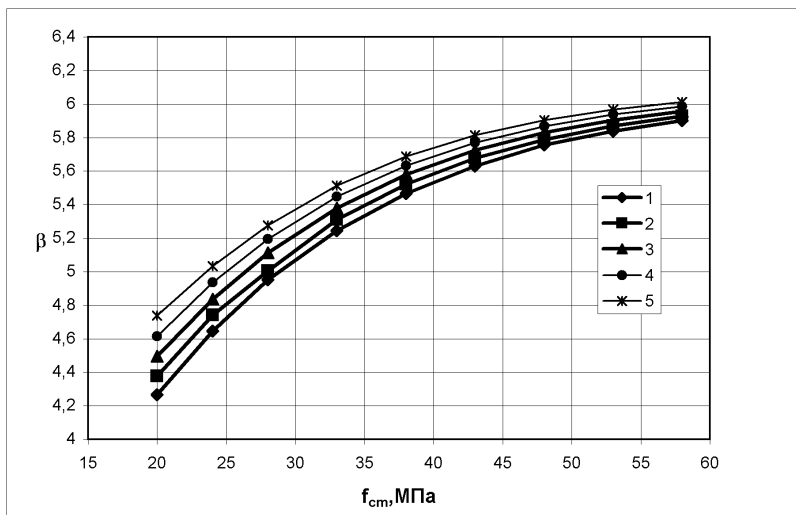


Рисунок 4. Зависимость значений индексов надежности  $\beta$  от значений средней прочности бетона  $f_{cm}$  при  $A_{c1}/A_{pl} = 9$  при толщине пластины  $\delta_{pl}$ :

1 – 6 мм; 2 – 8 мм; 3 – 10 мм, 4 – 12 мм; 5 – 14 мм



Анализ результатов вычислений значений индексов надежности  $\beta$  (рис.4) показал, что с увеличением средней прочности бетона  $f_{cm}$  значения  $\beta$  (при прочих равных условиях) возрастают.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика расчета на местное сжатие бетонных элементов, нагружаемых через стальные пластины.

Приведены зависимости для определения условной ширины зоны распределения и определения несущей прочности таких элементов на местное сжатие.

Выполнена оценка надежности предлагаемой методики расчета согласно приложению D базового документа [11] системы строительных Еврокодов.

Показано, что предлагаемая методика учета влияния пластин (при значении частного коэффициента  $\gamma_c = 1,6$ ) обеспечивает высокие значения индекса надежности (4,1–6), соответствующие классу надежности конструкций RC3 (базовый период службы 100 лет).

### ЛИТЕРАТУРА

11. Гусаков, В.Н. О стыках сборных железобетонных колонн / В.Н. Гусаков // Строительная промышленность. – 1955. – № 7. – С.20–23.

12. Мурашев, В.И. Железобетонные конструкции. Общий курс. / В.И. Мурашев, Э.Е. Сигалов, В.Н. Байков. – М.: Госстройиздат, 1962. – 660 с.

13. Гусева, Т.К. Расчет и конструирование зон концентрированного приложения нагрузки в железобетонных мостах: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.15 / Т.К.Гусева. – М., 1991. – 20 л.

14. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01–84) / ЦНИИПромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 192 с.

15. ТКП EN 1993–1–8–2009 Еврокод 3 Проектирование стальных конструкций часть 1–8. Расчет соединений. – 126 с.

16. Hawkins, N. The Bearing Strength of Concrete Loaded through Flexible Plates / N. Hawkins // Magazine of Concrete Research. – 1968. – V. 20, № 63. – P. 95–102.

17. DeWolf, J. Axially loaded column base plate / J. DeWolf // Journal of Structural Division. – 1978. – V. 104, № 5. – P. 781–784.
18. Escobar–Sandoval, E. Concentrically loaded circular steel plates bearing on plain concrete / E. Escobar–Sandoval, A Whittaker, G. Dargush // Journal of Structural Engineering. – 2006. – V.132, № 11. – P. 1784–1792.
19. Клевцов, В.А. Влияние пластин закладных деталей на прочность узлов железобетонных конструкций при местном сжатии / В.А. Клевцов, Ю.Ф. Бирулин, Г.Н. Заварзаев // Бетон и железобетон. – 1990. – № 2.— С. 16–18.
20. Рак, Н.А. Влияние условий приложения нагрузки на прочность тяжелого высокопрочного бетона при местном сжатии / Н.А. Рак, Н. Аль–Арики // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2002. – № 1(13) – С. 64–68.
21. ТКП EN 1990–2011 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций – 64 с.
22. Рак, Н.А. Калибровка частного коэффициента по бетону для расчета бетонных элементов при местном сжатии / Н.А. Рак // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства: Сборник научных статей (Материалы Междунар. научно–методического семинара (Минск, 29 мая 2012 г.). Часть 1 – Минск, БНТУ, 2012. – С.84–89.