

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ  
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОМЫШЛЕННОЕ  
И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»**  
(г. Минск, БНТУ — 24.05.2011)

УДК 624.012.45:046

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОПЕРЕЧНОЙ  
АРМАТУРОЙ ПРИ МЕСТНОМ СРЕЗЕ  
ПО ОТЕЧЕСТВЕННЫМ И ЕВРОПЕЙСКИМ НОРМАМ**

*ТАМКОВИЧ С.Ю., РАК Н.А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

***ВВЕДЕНИЕ***

Важным требованием при разработке национального дополнения к европейским нормам является включение в него, как правило, только тех методов расчета, которые основаны на максимально приближенных к реальным физическим расчетным моделям и отвечают необходимым требованиям надежности и долговечности. В данной статье с использованием банка экспериментальных данных (БЭД) оценена точность и определены коэффициенты вариаций расчетных моделей железобетонных конструкций с поперечным армированием при местном срезе (продавливании), представленные в отечественных и европейских нормах.

***ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА***

Определение коэффициентов вариации расчетных моделей при местном срезе (продавливании), регламентированных европейски-

ми [2] и отечественными нормами [1], выполнялась согласно приложению D действующего в Республике Беларусь базового документа [3] системы строительных Еврокодов.

Общая последовательность определения коэффициентов вариации расчетных моделей норм [1] и [2] состояла из нескольких этапов.

Этап 1: Формулирование расчетных моделей в форме теоретических функций сопротивления.

Расчетная модель в форме теоретической функции сопротивления может быть представлена в следующем виде

$$r_i = g_{ri}(X) \quad (1)$$

Данная функция должна содержать все определяющие основные базисные переменные  $X$ , оказывающие воздействие на рассматриваемое предельное состояние. При анализе расчетных моделей норм [1] и [2] было установлено, что для расчета прочности железобетонных элементов с поперечной арматурой при местном срезе используются три расчетные модели, которые учитывают различные формы разрушения элементов. Каждая расчетная модель содержит определенное количество базисных переменных, которые оказывают влияние на предельное состояние элементов железобетонных конструкций с поперечной арматурой. Расчетные модели при продавливании железобетонных элементов с поперечной арматурой представлены в таблице 1.

Этап 2: Сравнение экспериментальных и теоретических значений с построением диаграммы, содержащей пары этих значений. Определение поправки среднего значения  $b$ . Определение коэффициента вариации величины рассеяния  $\delta$ .

Для сравнения выбраны экспериментальные значения из банка экспериментальных данных [7], сформированного по доступным литературным источникам, который на данный момент содержит свыше 250 образцов. При формировании окончательного варианта банк экспериментальных данных был отредактирован в соответствии с требованиями [7], и в результате общее число экспериментальных значений составило 127 образцов.

Таблица 1

## Расчетные зависимости норм [1, 2]

№	Форма разрушения	[1]	[2]
1	Раздавливание бетона сжатой зоны по периметру площадки нагружения	$0,5v f_{cd} du_0$	$0,5v f_{cd} du_0$
2	Продавливание в зоне расположения поперечной арматуры	$V_{Rd,c} + \frac{A_{swi} f_{ywd} d}{s_r}$	$0,75V_{Rd,c} + 1,5 \frac{A_{swi} f_{ywd} d}{s_r}$
3	Продавливание по периметру, располагаемому на расстоянии $1,5d$ от крайнего периметра, по которому расположена поперечная арматура	$0,75v_{Rd,c} du_{out}$	$v_{Rd,c} du_{out}$

Примечание: при расчетах прочности предельным считается минимальное усилие, полученное по представленным зависимостям

Учитывая различные формы разрушения образцов, банк экспериментальных данных был разделен на 3 группы в зависимости от форм разрушения, в каждой из которых содержалось определенное количество образцов.

Сравнения теоретических и экспериментальных значений представлено на рис. 1 и 2.

Полученные диаграммы (рис. 1 и 2) и данные представленные в таблице свидетельствуют о том, что методы расчета прочности железобетонных элементов с поперечным армированием при местном срезе [1] и [2] позволяют получить теоретические значения, удовлетворительно совпадающие с экспериментальными значениями, а средние значения  $b$  и коэффициенты вариации  $V_\delta$  практически не

отличаются друг от друга. При этом средние значения  $b$  близки к единице, а коэффициенты вариации находятся в интервале от 0,121 до 0,171.

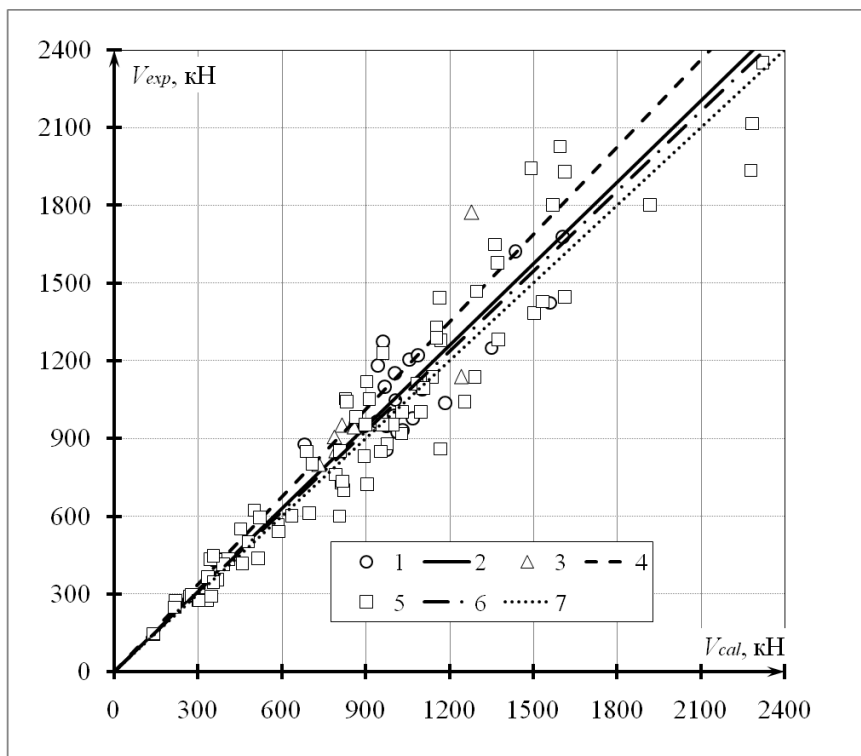


Рис.1. Диаграмма сравнения экспериментальных значений разрушающих усилий элементов с поперечной арматурой на местный срез  $V_e$  с теоретическими по зависимости [1] значениями  $V_t$ :

1 – выборка базы данных для 1 формы разрушения; 2 – линия, соответствующая уравнению  $V_e=b \cdot V_{1t}$ ; 3 – выборка базы данных для 2 формы разрушения; 4 – линия, соответствующая уравнению  $V_e=b \cdot V_{2t}$ ; 5 – выборка базы данных для 3 формы разрушения; 6 – линия, соответствующая уравнению  $V_e=b \cdot V_{3t}$ ; 7 – линия, соответствующая равенству  $V_e=V_t$ .

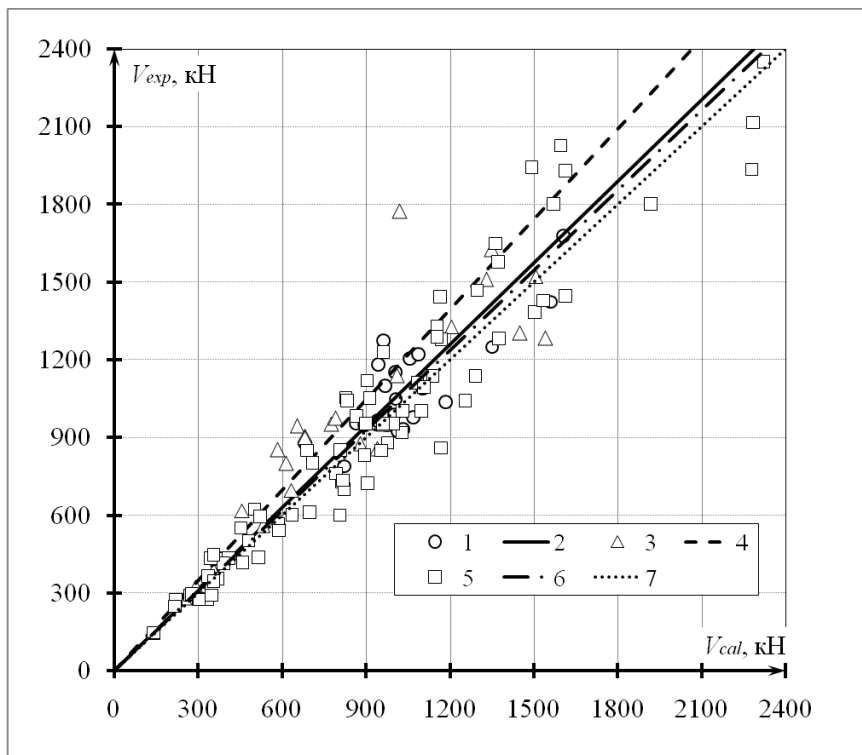


Рис. 2. Диаграмма сравнения экспериментальных значений разрушающих усилий элементов с поперечной арматурой на местный срез  $V_e$  с теоретическими по зависимости [2] значениями  $V_t$ :

1 – выборка базы данных для 1 формы разрушения; 2 – линия, соответствующая уравнению  $V_e = b \cdot V_{t1}$ ; 3 – выборка базы данных для 2 формы разрушения; 4 – линия, соответствующая уравнению  $V_e = b \cdot V_{t2}$ ; 5 – выборка базы данных для 3 формы разрушения; 6 – линия, соответствующая уравнению  $V_e = b \cdot V_{t3}$ ; 7 – линия, соответствующая равенству  $V_e = V_t$ .

Таблица 2

Основные результаты оценки точности методов расчета норм [1, 2]

Параметры	[1]			[2]		
	1	2	3	1	2	3
Форма разрушения						
Поправка среднего значения $b$	1,05	1,12	1,03	1,05	1,16	1,03
Коэффициент вариации $V_{\delta}$ величины рассеяния $\delta$ .	0,123	0,123	0,142	0,121	0,171	0,142

Этап 3: Проверка совместимости.

При проверке совместимости не выявлено существенных систематических отклонений, исключение которых позволило бы улучшить сходимость и уточнить вид функции сопротивления.

Этап 4: Определение коэффициентов вариации базисных переменных  $V_{X_i}$ .

Для выполнения этого этапа были приняты следующие исходные данные: рабочая высота сечения  $d=200$  мм, процент армирования  $\rho_l = \rho_w = 1\%$ , длина площадки нагружения  $l_c=400$  мм и  $f_{yw}=400$  МПа, расстояние до крайнего хомута от грани колонны  $l=2d=400$  мм).

На основании этих данных были выполнены расчеты для каждой формы разрушения для норм [1] и [2]. После анализа полученных результатов было установлено, что для бетона класса  $C^8/10$  разрушение происходит по 1-й форме (от раздавливание бетона сжатой зоны по периметру площадки нагружения), а для остальных классов бетона по 3-й форме (продавливание по периметру, располагаемому на расстоянии  $1,5d$  от крайнего периметра, по которому расположена поперечная арматура). Учитывая это, было принято провести определение коэффициентов вариации базисных переменных  $V_{X_i}$  только для 3-й формы разрушения. При этом бетон класса  $C^8/10$  не учитывается.

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

- 1) прочность бетона при осевом сжатии  $f_c$ ;
- 2) длина (диаметр) площадки нагружения  $l_c$ ;
- 3) погонная площадь арматуры  $A_{s0}$ ;
- 4) рабочая высота сечения  $d$ ;

Принятые для расчета коэффициентов вариации базисных переменных  $V_{X_i}$  средние значения переменных и их среднеквадратические отклонения приведены в таблице 3.

При этом среднеквадратические отклонения большинства базисных переменных приняты равными половине предельного отклонения, устанавливаемого соответствующими стандартами на материалы и изготовление конструкций. Среднеквадратическое отклонение прочности бетона на сжатие при расчете по нормам [1, 2] принято, исходя из того, что средняя прочность бетона превышает на 8 МПа гарантируемую с обеспеченностью 95 % прочность независимо от значения средней прочности.

Таблица 3

Средние значения базисных переменных и их среднеквадратические отклонения

Базисная переменная	Обозначение (размерность)	Среднее значение, $X_i$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_i$
$X_1$	$f_c$ (МПа)	16; 20; 24; 28; 33; 38; 43; 48, 58, 68, 78, 88, 98 (при расчете по [1, 2])	5 (при расчете по [1, 2])
$X_2$	$d$ (мм)	200	3 (при расчете по [1]) 6 (при расчете по [2])
$X_3$	$l_c$ (мм)	400	3 (при расчете по [1]) 7,5 (при расчете по [2])
$X_4$	$A_0$ (мм <sup>2</sup> )	2000	2,5% среднего значения

Этап 5. Определение суммарного коэффициента вариации.

Суммарный коэффициент вариации базисных переменных  $V_{rt}$  определялся по формуле:

$$V_{rt} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^j \left( \frac{\partial g_{rt}}{\partial X_i} \sigma_i \right)^2}}{g_{rt}(\underline{X}_m)}, \quad (2)$$

где  $g_{rt}(\underline{X}_m)$  — значение функции сопротивления при средних значениях всех базисных переменных;  $\sigma_i$  — среднеквадратическое отклонение базисной переменной  $X_i$ ;  $\frac{\partial g_{rt}}{\partial X_i}$  — производная функции сопротивления по базисной переменной  $X_i$  при средних значениях всех базисных переменных.

Значения производных функции сопротивления из-за громоздкости аналитических выражений определялись численным дифференцированием.

Анализ результатов вычислений суммарного коэффициента вариации базисных переменных  $V_{rt}$  показал, что определяющее влияние на его значение оказывает вариация прочности бетона, а изменчивость остальных параметров (геометрических и арматуры) сказывается несущественно.

Суммарный коэффициент вариации  $V_r$  функции сопротивления определялся по формуле:

$$V_r = \sqrt{V_{rt}^2 + V_{\delta}^2}, \quad (3)$$

Результаты вычисления суммарного коэффициента вариации  $V_r$  приведены на рисунке 3.



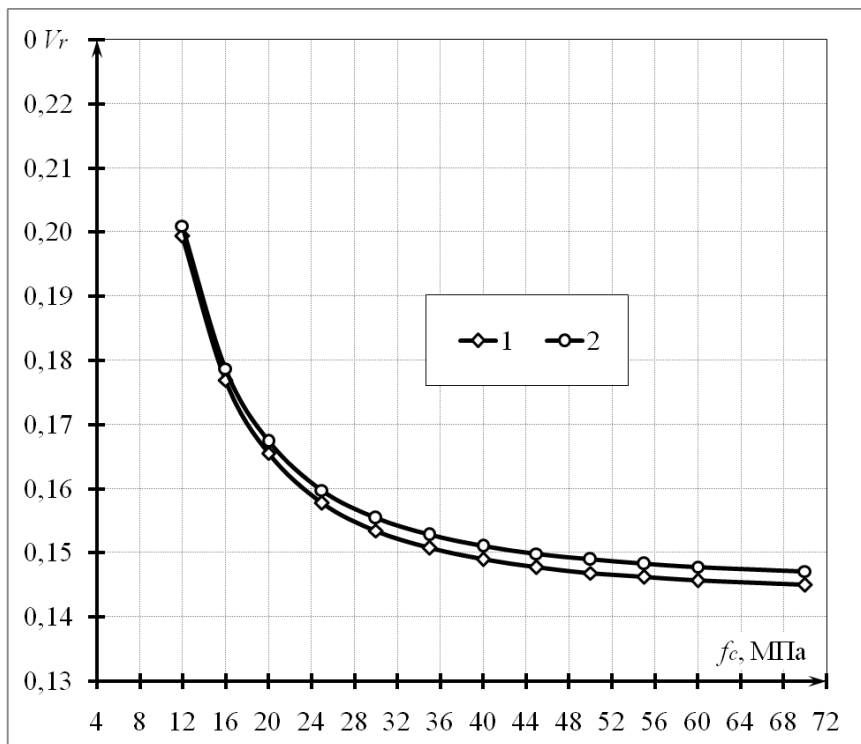


Рис.3. Зависимость значений суммарного коэффициент вариации функции сопротивления  $V_r$  от значений прочности бетона  $f_c$ : 1 – расчет по [1]; 2– расчет по [2].

Динамика изменения с ростом значений прочности бетона  $f_c$  значений суммарного коэффициента вариации  $V_r$  при расчете по нормам [1 и 2] существенно не различается. Несущественное отличие значений  $V_r$  для норм [1, 2] обеспечивается практически одинаковыми подходами к механизму разрушения от продавливания, а так же одинаковыми среднеквадратическими отклонениями прочности бетона, которые не зависят от прочности бетона.

### ***ЗАКЛЮЧЕНИЕ.***

Выполненные согласно положениям [3] вычисления коэффициентов вариации расчетных моделей норм при местном срезе показали, что метод расчета, представленный в отечественных нормах [1]

дает меньшие значения коэффициентов вариации, что позволяет предположить, что он даст более высокие значения индекса надежности, чем расчет по европейским нормам [2], а, следовательно, обеспечит более высокую надежность конструкций.

### ***ЛИТЕРАТУРА***

1. Конструкции бетонные и железобетонные: СНБ 5.03.01–02 / МАиС Республики Беларусь.– Минск, 2003.– 140 с.
2. EN 1992-1-1:2004. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. – CEN, Brussels, 2004. – 225 p.
3. СТБ ЕН 1990-2007 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций. / МАиС РБ. – Минск, 2008.– 64 с.
4. EN 206-1:2000. Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity. – CEN, Brussels, 2000. – 72 p.
5. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП Госстроя СССР, 1991.–192 с.
6. BS DD ENV 13670-1:2000. Execution of concrete structures. Common. – British Standards Institution, 2000. – 64 p.
1. Тамкович, С.Ю. Анализ методов расчета прочности железобетонных элементов с поперечной арматурой при местном срезе по отечественным и зарубежным нормам / С.Ю. Тамкович, Н.А. Рак // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сборник научных статей. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 179 – 184.