

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

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

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 624.012.45.046

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ
ДЛЯ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ
МЕСТНОМ СРЕЗЕ**

ТАМКОВИЧ С.Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. Как показывают различные литературные источники, вопросами продавливания плоских железобетонных плит начали заниматься еще в середине прошлого века. Наиболее известны работы *Kinnunen* [1], *Мое* [2] и др. Экспериментальные результаты, полученные различными авторами, позволили выявить влияние прочности бетона и пролетов среза, геометрии плит и площадок передачи нагрузок, типа продольного и поперечного армирования, нагельного эффекта в арматуре, углов наклона поверхностей пирамиды продавливания. Исследования большинства авторов были направлены на получение эмпирических зависимостей для определения продавливающего усилия в бетоне с учетом перечисленных выше факторов. На основании этого было решено провести оценку точности и надежности методик, предлагаемых различными авторами.

Методы расчета. В таблице 1 дана сводка аналитических выражений и коэффициентов, входящие в формулы рассматриваемых методик. При этом для наглядности анализа и упрощения аналити-

ческих зависимостей рассмотрен только вариант продавливания плиты перекрытия без поперечной арматуры центрально сжатой колонной. Анализ различных предложений по расчету железобетонных элементов без поперечной арматуры на местный срез показал, что подходы авторов незначительно отличаются от методов, регламентированных нормативными документами. В большинстве методик предельное состояние конструкций характеризуется образованием усеченной пирамиды, основание которого очерчено контуром грузовой площадки, и образующие которой наклонены под углом к горизонтали и используются эмпирические зависимости, близкие по характеру.

Таблица 1. Зависимости для расчета плит на продавливание

Модель	Зависимость
<i>Gardner</i> [6]	$V_{Rd,c} = 0,66 \cdot \left(1 + \left(\frac{200}{d} \right)^{0,5} \right) \cdot \rho \cdot f_y \cdot f_{cm}^{1/3} \cdot \left(\frac{d}{u} \right)^{0,5} \cdot u \cdot d,$
<i>Sistonen</i> [7]	$V_{Rd,c} = V_c + V_r,$ $V_c = \beta \cdot \xi \cdot f_{ct}^{2/3} \cdot \pi \cdot D + 1,4d \cdot h, \text{ где } \xi = \sqrt{\frac{200}{d}}; \beta = 0,40.$ $V_r = f_{vr} \cdot \pi \cdot D + 3d \cdot d, \text{ где } f_{vr} = 0,75 \left(\frac{f_y}{500} \cdot 100\rho \right)^{1/3}$
<i>Rankin</i> [8]	$V_{Rd,c} = 1,66 \sqrt{f_{ck}} \cdot c + d \cdot d \cdot 100\rho^{1/4}$
<p>В приведенных зависимостях сохранены обозначения, предложенные авторами: f_{ck}, f_{ct} — соответственно нормативное (цилиндрическое) сопротивление бетона осевому сжатию, растяжению, определенное с обеспеченностью 0,95, [МПа]; f_{cm} — среднее сопротивление бетона осевому сжатию, определенное с обеспеченностью 0,95 [МПа]; c (D) — длина (диаметр) грузовой площадки; f_y — нормативное сопротивление продольной арматуры [МПа]; u — периметр площадки нагружения; ρ — коэффициент продольного армирования; d — рабочая высота.</p>	

Учитывая то, что предлагаемые зависимости определялись по средним характеристикам материалов и авторами предполагается расчет по нормативным характеристикам материалов, и как следствие, коэффициенты надежности для определения расчетных значений усилий не закладывались, определении индексов надежности предлагаемых методик расчета является затруднительным. На осно-

вании этого было решено на первом этапе, оценить точность всех рассматриваемых методик расчета с помощью банка экспериментальных данных.

Далее на втором этапе было выполнено определение индексов надежности, при этом для получения расчетных значений использовались значения среднеквадратических отклонений и коэффициентов запаса, регламентированные отечественными нормами СНБ 5.03.01–02 [3] и СНиП 3.03.01–87 [4]. Таким образом, можно сказать следующее, что в результате определялась возможность использования этих методик на территории Республики Беларусь.

При анализе предлагаемых методик был выполнен расчет по определению разрушающего усилия для некоторых методик при продавливании плит из тяжелого бетона при различных значениях параметров, входящих в формулы. Результаты расчета представлены на рисунке 1 в виде графика соотношения разрушающих усилий при продавливании к прочности бетона.

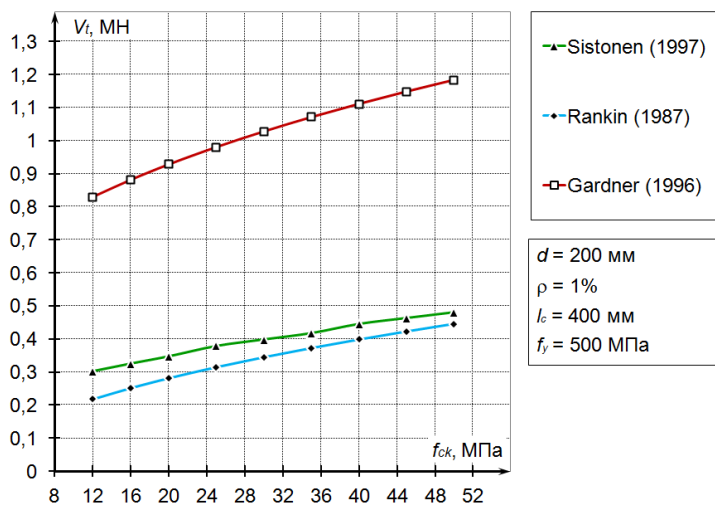


Рисунок 1. Изменение значений разрушающих усилий при местном срезе V_i в зависимости от прочности бетона f_{ck}

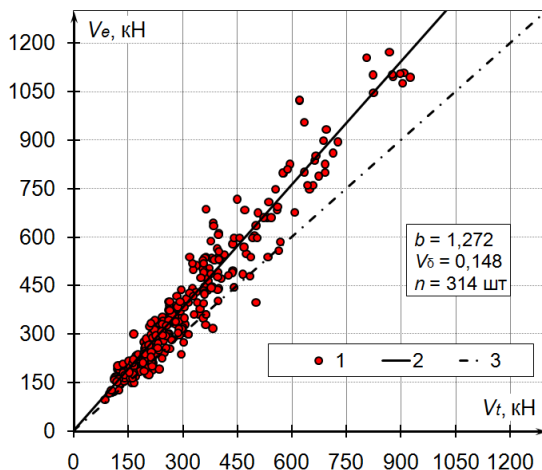
Анализ полученных результатов показал, что прочности плит на продавливание для методик, предложенных *Sistonen* [7] и *Rankin* [8] имеют небольшой разброс и при расчете по этим зависимостям по-

лучаются более «осторожные» значения несущей способности по сравнению с методикой *Gardner* [6], при использовании которой были получены значения, значительно превышающие значения, полученные по зависимостям *Sistonen* [7] и *Rankin* [8].

Точность методик расчета выполнялась согласно приложению D ТКП ЕН 1990 [5] и диаграммы сравнения полученных теоретических и экспериментальных значений представлены на рисунках 2...4. А в таблице 2 представлены средние значения и коэффициенты вариации V_δ величины рассеяния δ .

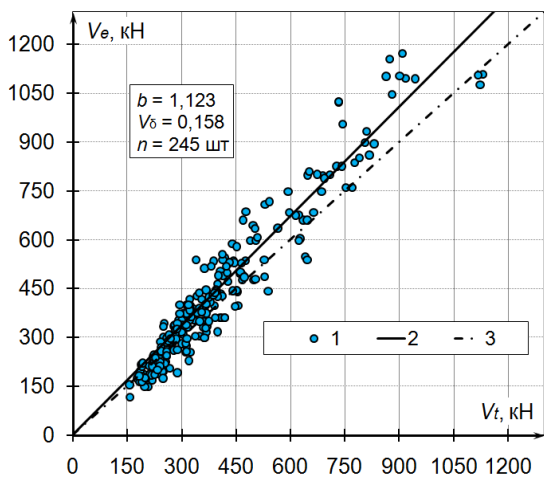
Таблица 2. Основные результаты оценки точности методов расчета

Параметры	Нормы проектирования		
	Gardner [6]	Rankin [8]	Sistonen [7]
Поправка среднего значения b	1,272	0,934	1,123
Коэффициент вариации V_δ величины рассеяния δ	0,148	0,159	0,158



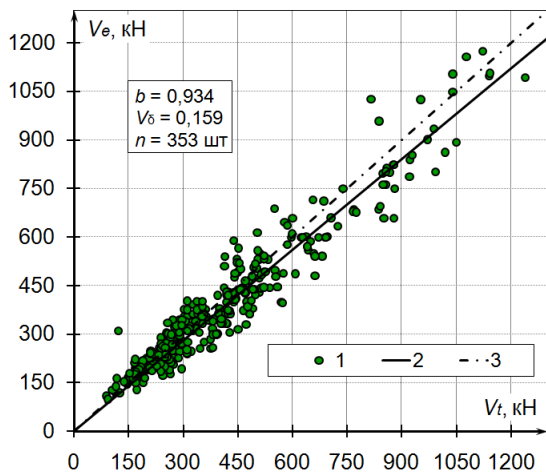
1 — основная выборка базы данных; 2 — линия, соответствующая уравнению $V_e = b \cdot V_t$; 3 — линия, соответствующая равенству $V_e = V_t$.

Рисунок 2. Диаграмма сравнения экспериментальных значений несущей способности образцов V_e с теоретическими по *Gardner* [6] значениями V_t .



1 — основная выборка базы данных; 2 — линия, соответствующая уравнению $V_e = b \cdot V_t$; 3 — линия, соответствующая равенству $V_e = V_t$.

Рисунок 3. Диаграмма сравнения экспериментальных значений несущей способности образцов V_e с теоретическими по *Sistonen* [7] значениями V_t ;



1 — основная выборка базы данных; 2 — линия, соответствующая уравнению $V_e = b \cdot V_t$; 3 — линия, соответствующая равенству $V_e = V_t$.

Рисунок 4. Диаграмма сравнения экспериментальных значений несущей способности образцов V_e с теоретическими по *Rankin* [8] значениями V_t ;

Как видно из диаграмм и таблицы 2 предлагаемые методики дают различные средние значения и коэффициенты вариации. При этом поправки среднего значения находятся в интервале от 0,868 до 1,272, а коэффициенты V_8 от 0,148 до 0,217.

Оценка надежности методов расчета. Оценка надежности методов расчета была выполнена согласно приложения D [5] с учетом изменчивости базисных переменных.

В качестве базисных переменных X , оказывающих воздействие на рассматриваемое предельное состояние, приняты следующие переменные, которые были представлены в таблице 3. Значения производных функции сопротивления из-за громоздкости аналитических выражений определялись численным дифференцированием.

Номинальные (принимаемые для расчета) размеры площадки нагружения l_c , рабочей высоты сечения d , значения погонной площади арматуры A_{s0} и пролетов указываются в проектной документации, а предельные отклонения этих размеров устанавливаются техническими условиями на устройство и изготовление конструкций. При этом среднеквадратические отклонения большинства базисных переменных приняты равными половине предельного отклонения, устанавливаемого соответствующими стандартами на материалы и изготовление конструкций. Для оценки надежности предлагаемых методик, как уже говорилось выше, приняты отклонения, регламентированные отечественными стандартами.

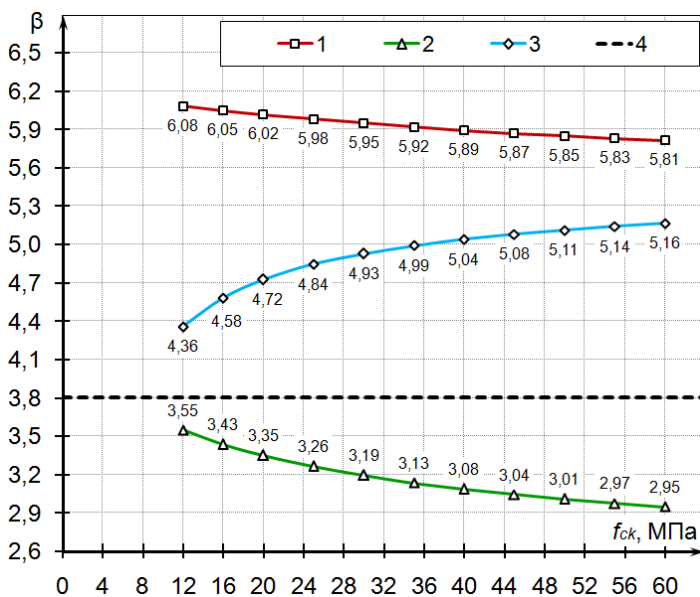
Таблица 3. Базисные переменные

Базисная переменная	Наименование	Обозначение (размерность)
X_1	Прочность бетона при осевом сжатии (растяжении)	$f_c (f_t)$ (МПа)
X_2	Рабочая высота сечения	d (мм)
X_3	Длина (диаметр) площадки нагружения	$l_c (l_{cc})$ (мм)
X_4	Погонная площадь арматуры	A_{s0} (мм)
X_5	Прочность продольной арматуры	f_y (МПа)

Результаты расчетов показали, что различия в индексах надежности при разных исходных данных являются незначительными, поэтому для наглядности показаны только варианты вычислений при следующих исходных данных:

- рабочая высота сечения $d = 150$ мм;
- процент армирования $\rho = 1\%$;
- длина (диаметр) площадки нагружения $l_c = 400$ мм ($l_{cc} = 450$ мм);
- прочность продольной арматуры $f_y = 550$ МПа.

Результаты вычисления значений обеспечиваемого нормами расчета индекса надежности β приведены на рисунке 5. Для получения расчетных значений функций сопротивления использовались коэффициенты надежности по материалам, регламентированные отечественными нормами СНБ 5.03.01–02 [3].



1 — Gardner [45]; 2 — Rankin [75]; 3 — Sistonen [88]; 4 — линия $\beta = 3,8$

Рисунок 5. Зависимость значений индекса надежности β от значений прочности бетона f_{ck}

Как видно из рисунка 5 при расчете для всех методик изменение значений индекса надежности β происходит нелинейно.

При расчете по методикам Gardner [6] и Rankin [8] на всем диапазоне прочностей бетона наблюдается снижение значений индекса надежности. При этом значение индекса надежности для методики

Rankin [8] на всем диапазоне прочностей бетона меньше установленного для конструкций класса надежности RC2 значения $\beta=3,8$, а для методики *Gardner* [6] при всех прочностях бетона значения β находятся в пределах 5,81...6,08, что указывает на чрезмерную надежность конструкций и на наличие запасов несущей способности.

При расчете по методике *Sistonen* [7] значения индекса надежности возрастают на всем диапазоне прочностей и находятся в интервале от 4,36 до 5,16, что также указывает на надежность конструкций и на наличие запасов несущей способности.

Следует отметить, что для методик *Gardner* [6] и *Sistonen* [7] наблюдается превышение значениями индекса надежности значения $\beta=3,8$, что указывает на необходимость выполнения корректировки методик расчета с целью снижения запасов несущей способности, а также на возможность использования данных методик при разработке технических кодексов установившейся практики Республики Беларусь, в то время как для методики *Rankin* [8] вообще необходимо пересмотреть подход к расчету на местный срез.

Заключение. Анализ различных предложений по расчету железобетонных элементов без поперечной арматуры на местный срез показал, что подходы авторов незначительно отличаются от методов, регламентированных нормативными документами. В большинстве методик предельное состояние конструкций характеризуется образованием усеченной пирамиды, основание которого очерчено контуром грузовой площадки, и образующие которой наклонены под углом к горизонтали и используются эмпирические зависимости, близкие по характеру.

Результаты оценки надежности методик расчета, предлагаемых различными авторами показали, что для методик *Gardner* [6] и *Sistonen* [7] наблюдается превышение значениями индекса надежности значения $\beta=3,8$, что указывает на необходимость выполнения корректировки методик расчета с целью снижения запасов несущей способности, а также на возможность использования данных методик при разработке технических кодексов установившейся практики Республики Беларусь, в то время как для методики *Rankin* [8] вообще необходимо пересмотреть подход к расчету на местный срез.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kinnunen, S. Punching of concrete slabs without shear reinforcement / S. Kinnunen, H. Nylander // Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. — No. 158, 1960.
2. Мое, J. Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings under Concentrated Loads // Development Department Bulletin №. D47, Portland Cement Association.— 1961.— 130 p.
3. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции. РУП «Стройтехнорм». — Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2003. — 139 с.
4. Строительные нормы и правила. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01–87 Введен 01.07.1988. — М., АПП ЦИТП Госстроя СССР, 1991.—192 с.
5. ТКП EN 1990–2011 Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. / МАиС РБ. – Минск, 2012.– 74 с.
6. Gardner, N. Relationship of the Punching Shear Capacity of Reinforced Concrete Slabs with Concrete Strength / N. Gardner // ACI Structural Journal.— 1990.— Vol. 87, № 1.— P. 66–71.
7. Sistonen, E. The geometrical model of the calculation formula of the punching shear capacity of the reinforced concrete slab / E. Sistonen, S. Huovinen // Helsinki University of Technology. — 1997. — 132 p. (in Finish).
8. Rankin, G. I. Predicting the enhanced punching strength of interior slab column–connections/ G. I. Rankin, A. E. Long// Proceedings of the institutions of civil engineers. — 1987. — Vol. 82. — P. 327–346.