

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 624.012.45.046

ТАМКОВИЧ
Сергей Юрьевич

**НАДЕЖНОСТЬ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ
ЦЕНТРАЛЬНО-НАГРУЖЕННОЙ КОЛОННОЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции,
здания и сооружения

Минск, 2014

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

**Научный
руководитель**

РАК Николай Александрович,
кандидат технических наук, доцент, профессор
кафедры «Железобетонные и каменные конструк-
ции» Белорусского национального технического
университета

**Официальные
оппоненты:**

ЛАЗОВСКИЙ Дмитрий Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
ректор Учреждения образования «Полоцкий госу-
дарственный университет», г. Новополоцк;

МАРКОВСКИЙ Дмитрий Михайлович,
кандидат технических наук, ведущий инженер-
конструктор Научно-производственного частного
унитарного предприятия «Модостр», г. Минск

**Оппонирующая
организация**

РУП «Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.»,
г. Минск

Защита состоится 22 мая 2014 г. в 16-00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.09 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220114, Минск, пр. Независимости, 150, корп. 15, ауд. 808. E-mail: nrak@bntu.by, тел. / факс 8 (017) 265-96-97.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, следует направлять на имя ученого секретаря совета по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «18» апреля 2014 г.

Заместитель председателя
совета по защите диссертаций
доктор технических наук



Е.М. Сидорович

- © Тамкович С.Ю., 2014
- © Белорусский национальный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

В практике строительства зданий и сооружений, возводимых с применением железобетонных конструкций, широкое распространение получили безбалочные перекрытия, опирающиеся на колонны. В зоне сопряжения плоских плит перекрытия с колонной возникает сложное напряженно-деформированное состояние, характеризующееся значительными по величине напряжениями. Разрушение перекрытия в этой зоне характеризуется образованием усеченной пирамиды, меньшее основание которой совпадает с сечением колонны, а образующие наклонены под углом к горизонтали.

В настоящее время проведено большое количество экспериментальных исследований, посвященных изучению сопротивления плоских железобетонных плит перекрытий продавливанию. На основании этих исследований разработан ряд предложений по расчету таких плит, наиболее обоснованные из которых включены в нормативные документы многих стран. Вместе с тем вопросам надежности плоских железобетонных плит при продавливании, в первую очередь точности расчетных моделей, до настоящего времени должного внимания не уделялось.

В связи с этим выполнение исследований по оценке надежности плоских железобетонных плит перекрытия при продавливании, запроектированных по различным методикам расчета и нормативным документам, является весьма актуальным.

В соответствии с действующими в строительстве техническими нормативно-правовыми актами расчёт сопротивления конструкций производится полувероятностным методом, в рамках которого используют детерминированные функции состояния конструктивных элементов. При этом природную изменчивость свойств материалов и нагрузок, неточности изготовления конструкций, несовершенства расчётных моделей учитывают путём применения системы частных коэффициентов.

Согласно концепции надёжности строительных конструкций, сформулированной в международных нормах ISO 2394, EN 1990, введенных в действие на территории Республики Беларусь, проектирование конструктивных элементов следует выполнять, опираясь на нормируемые целевые показатели надёжности, выраженные в

значениях допустимых вероятностей отказа p_f или индексов надёжности β . До введения указанных норм вероятностный критерий p_f не был определён, поэтому методы оценки надёжности конструкций сводились, как правило, к оценке точности расчётных механических моделей сопротивления, то есть – к оценке ошибки моделирования, которая является лишь элементом надёжности.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

В основу диссертационной работы положены материалы исследований, проведенные на кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» БНТУ в рамках выполнения задания 32 ГПОФИ «Строительство и архитектура» 2006 – 2010 гг. — «Разработать структурно-механические модели бетона и железобетона для применения в деформационных расчетах железобетонных конструкций при сложном напряженном состоянии» (шифр ГБ 06-70 № ГР 20061390) по заказу Министерства образования РБ.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: разработать предложения по обеспечению надежности плоских железобетонных плит перекрытий при продавливании центрально нагруженной колонной в соответствии с концепцией надежности СТБ ISO 2394-2007 и ТКП EN 1990-2011.

Для достижения сформулированной цели необходимо решить следующие основные задачи исследования:

- выполнить анализ методов расчета сопротивления продавливания плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой;
- выполнить обзор методов оценки точности и надежности железобетонных элементов;
- обобщить и систематизировать результаты проведенных ранее экспериментальных исследований сопротивления продавливанию плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой, создать базу экспериментальных данных;

- провести с использованием базы экспериментальных данных анализ влияния геометрических параметров конструкций и свойств материалов на сопротивление продавливанию плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой;
- провести с использованием базы экспериментальных данных оценку надежности плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной арматуры, рассчитанных с использованием различных методик расчета, в том числе представленных в различных нормативных документах;
- провести с использованием базы экспериментальных данных оценку надежности плоских железобетонных плит перекрытий с поперечной арматурой, рассчитанных согласно положениям СНБ 5.03.01-02;
- разработать предложения по уточнению коэффициентов расчетной зависимости СНБ 5.03.01-02 для расчета сопротивления плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой при продавливании из условия обеспечения требуемого индекса надежности конструкций;
- разработать уточненную зависимость для учета влияния продольного армирования при расчете сопротивления железобетонных плит перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой при продавливании из условия обеспечения требуемого индекса надежности конструкций.

Объект исследования: плоские железобетонные плиты перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой в зоне опирания плиты на центрально нагруженную колонну.

Предмет исследования: надежность плоских железобетонных плит перекрытий при продавливании центрально нагруженной колонной, обеспечиваемая при использовании различных методик расчета, в том числе вошедших в нормативные документы по проектированию железобетонных конструкций.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты численных оценок надежности плоских железобетонных плит без поперечной арматуры при продавливании центрально нагруженной колонной, запроектированных с применением

различных моделей сопротивления продавливанию, включая содержащиеся в нормах.

2. Результаты численных оценок надежности плоских железобетонных плит с поперечной арматурой при продавливании центрально нагруженной колонной, запроектированных с применением модели сопротивления продавливанию, внесенной в СНБ 5.03.01-02.

3. Полученные калибровкой с применением метода статистического оценивания при требуемом индексе надежности значения эмпирических коэффициентов в расчетной модели сопротивления продавливанию, внесенной в СНБ 5.03.01-02.

4. Полученную уточненную зависимость, описывающую влияние коэффициента продольного армирования на сопротивление продавливанию плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой.

Личный вклад соискателя

Основные положения диссертации, выносимые на защиту, а также результаты теоретических исследований получены автором самостоятельно. Публикации без соавторов полностью основаны на исследованиях автора и подготовлены к печати лично. В публикациях с соавторами постановка целей и задач, обсуждение результатов исследований, формулирование выводов проводились совместно.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований доложены автором на следующих научных собраниях: «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь» (Брест, 2009 г.); Второй международный симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона» (Минск, 2009 г.); 62-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ (Минск, 2009 г.); «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров» (Гродно, 2010 г.); Восьмая международная научно-технической конференция «Наука — образованию, производству, экономике» (Минск, 2010 г.); «Повышение качества подготовки студентов специальности «Промыш-

ленное и гражданское строительство» (Минск, 2011 г.); Девятая международная научно-техническая конференция «Наука — образованию, производству, экономике», (Минск, 2011 г.); Третий международный симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона», (Минск, 2011 г.); «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь» (Новополоцк, 2012); «Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства» (Минск, 2013).

Опубликованность результатов диссертации

Основные положения работы опубликованы в 13 печатных работах, из них: 4 статьи в научных изданиях, соответствующих перечню ВАК РБ (общий объём 2,95 п.л.); 7 статей в сборниках научных трудов и материалах конференций, 2 тезисов докладов.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и 2-х приложений. Работа содержит всего 158 страниц, из них 94 основного текста, 85 иллюстраций на 59 страницах, 42 таблицы на 27 страницах, 11 страниц библиографического списка (107 наименований использованных источников, включая 76 иностранных, 13 публикаций соискателя), 19 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ различных литературных источников, который показал, что в последнее время большое внимание авторами уделяется приближенным методам оценки вероятности отказа и показателю надежности, с помощью которых рассматриваются сложные функции предельных состояний со многими случайными величинами. Наиболее известны в этой области работы А.С. Лычева, В.Д. Райзера, А.Р. Ржаницына, В.П. Чиркова, Г. Шпете, О. Ditlevsen.

В ходе обзора методов оценки надежности было установлено, что выделяется три класса надежности строительных конструкций (RC1, RC2, RC3), различаемых в зависимости от значимости последствий, которые может вызвать их разрушение. Для конструкции сроком службы 50 лет, предназначенных для зданий и сооружений со средней ответственностью (жилые, офисные здания, а также общественные здания со средним уровнем последствий обрушения) индекс надежности $\beta = 3,8$.

Вопросам надежности железобетонных конструкций уделялось большое внимание, начиная с 1960-х годов. В последние годы вопросами надежности железобетонных конструкций при различных видах воздействий занимались Д.О. Глухов, В.А. Клевцов, Д.В. Кузеванов, Д.М. Марковский, Д.Н. Лазовский, Н.А. Рак, В.В. Тур и др.

Выполнен анализ методов расчета сопротивления плоских железобетонных плит перекрытия при продавливании центрально нагруженной колонной, регламентированных нормативными документами различных стран, а также произведено сопоставление расчетных зависимостей, представленных в нормативных документах Республики Беларусь, Российской Федерации, Европы и США [6, 7, 12, 13]. Также рассмотрены методы расчета таких плит, предложенные N. Gardner, T. Georgopoulos, I.A.E.M. Shehata, E. Sistonen, G.I. Rankin и выполнено их сопоставление [11].

В результате сопоставления расчетных зависимостей было установлено, что имеются различные подходы к механизму разрушения от продавливания и расчету прочности бетона на срез, хотя используются эмпирические зависимости, близкие по характеру. Практически всегда предельное состояние конструкций характеризуется образованием усеченной пирамиды, меньшее основание которой очерчено контуром грузовой площадки, и образующие наклонены под разными углами к горизонтали.

Вопросы надежности железобетонных плит при продавливании изучали R. Beutel и S. Namada. Однако их исследования ограничились определением ошибки моделирования и коэффициентов вариации случайных величин, входящих в сложные функции предельного состояния при продавливании.

На основе проведенного анализа сделаны выводы и сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе выполнен анализ результатов экспериментальных исследований плоских железобетонных плит с поперечной и без поперечной арматуры при продавливании центрально нагруженной колонной.

Рассмотрены результаты зарубежных авторов, выполненных в 50-х 60-х годах 20-го века, среди которых следует выделить работы J.L. Andersson, R.C. Elstner, S. Kinnunen, J. Manterola, J. Moe, D. Yitzhaki. В 70-х годах выполнен ряд исследований японскими учеными, среди которых наиболее представительными (60 образцов с различными размерами и прочностными характеристиками материалов) были исследования Y. Kakuta. В 80-х 90-х годах проблемами продавливания занимались такие ученые как R. Beutel, P.S. Chana, N. Gardner, R.B. Gomes, M. Hussein, G.I.B. Rankin, R.E. Ramdane, P.E. Regan, W. Siao, E. Sistonen, A. Tomaszewich, T. Yamada и другие. В начале 21-го века испытанием железобетонных плит на продавливание также занималось большое количество ученых, среди которых следует выделить G. Birkle, S. Guandalini, S. Hamada, K. Kosa, Y. Mirzaei, D. Sakinis, M. Timm, L.M. Trautwein и многие другие.

Среди экспериментальных исследования железобетонных плит при продавливании, выполненных в бывшем СССР, следует особо выделить работы А.А. Гвоздева, А.Ю. Голубева, К.Е. Ермуханова, А.С. Залесова, С.Г. Качановского, Н.Н. Коровина, А.В. Ступкина и др. В Республике Беларусь исследованиям в данной области проводили А.И. Мордич, В.В. Молош и В.В. Тур.

Анализ показал, что в большинстве экспериментальных исследований опытные образцы уменьшались до размеров, которые позволяли не исказить реальное напряженно-деформированное состояние при продавливании. В общей сложности было изучено более 40 доступных литературных источников, из которых было выбрано более 1000 образцов с различными прочностными и геометрическими характеристиками, в результате чего было решено систематизировать образцы путем занесения их в базы экспериментальных данных.

Сформированная база экспериментальных данных по испытанию образцов без поперечной арматуры содержит 7 групп сведений и после отбора образцов с учетом требуемых критериев содержала 353 образца [2]. Прочность бетона на сжатие изменяется в диапа-

зоне от 10 до 80 МПа, рабочая высота образцов от 80 до 214 мм, а проценты продольного армирования от 0,2 до 3,7 %.

Сформированная база экспериментальных данных по испытанию образцов с поперечной арматурой содержит 8 групп сведений и после отбора образцов с учетом требуемых критериев содержала 153 образца [3]. Прочность бетона на сжатие изменяется в диапазоне от 17 до 78 МПа, рабочая высота образцов от 100 до 670 мм, проценты продольного армирования от 0,33 до 1,77 %, а проценты поперечного армирования от 0,05 до 4,5 %.

Дано описание алгоритма определения значений индексов надежности согласно приложению D ТКП EN 1990.

В третьей главе представлены результаты оценки и сопоставления точности расчета и выполнена оценка надежности плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной арматуры при продавливании центрально нагруженной колонной, рассчитанных по различными нормативными документа.

Расчетные зависимости для определения сопротивления продавливанию плит без поперечной арматуры, содержащихся в рассматриваемых нормативных документах приведены в таблице 1.

По результатам сопоставления значения теоретической разрушающей нагрузки с экспериментальной расчетной для всей совокупности образцов базы экспериментальных данных было установлено, что методики расчета СНБ 5.03.01-02 и EN 1992-1-1-2004 достаточно хорошо учитывают влияние всех факторов, а разброс значений вызван влиянием иных, не учитываемых формулами условий. Методики норм СП 52-101-2003 и ACI 318-08 недостаточно хорошо учитывают влияние всех факторов (в первую очередь коэффициента продольного армирования плит и рабочую высоту плиты) и систематически занижают или завышают сопротивление продавливанию железобетонных плит перекрытия (рисунок 1).

Анализ результатов оценки точности методик расчета [5] (таблица 2) показал, что полученные значения поправочного коэффициента среднего значения b близки к 1, а значение коэффициента вариации V_δ вектора ошибок δ находятся в интервале 0,128...0,351.

Установлено, что принятое в СНБ 5.03.01-02 расстояние для определения критического периметра, равное $1,5d$, позволяет получить значения поправочного коэффициента среднего значения b и

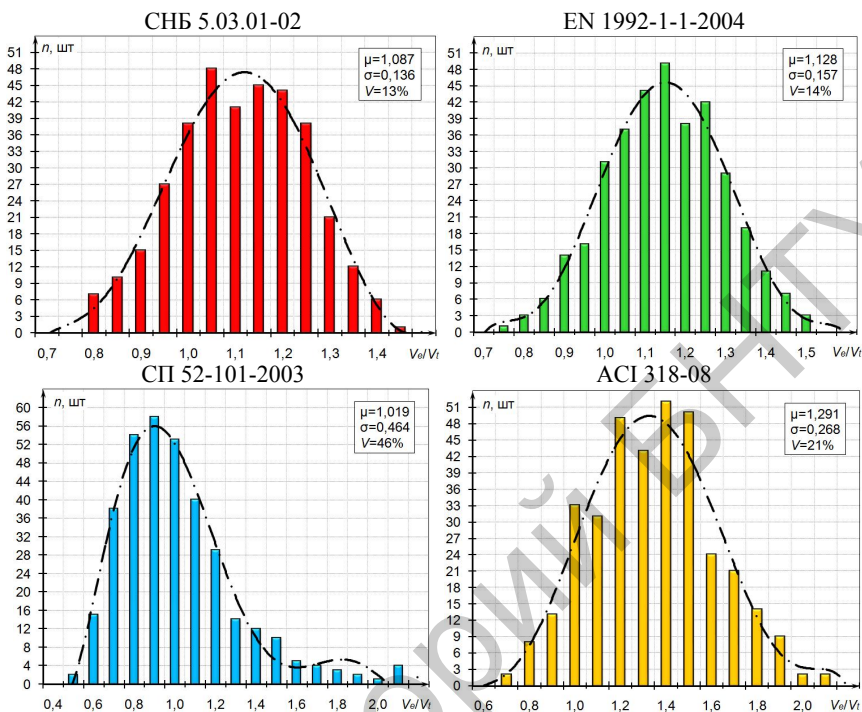
коэффициента вариации V_{δ} вектора ошибок δ несколько меньше, чем расстояние, принятое в EN 1992-1-1-2004 и равное $2d$.

Таблица 1 – Расчетные зависимости для определения сопротивления продавливанию плит без поперечной арматуры

Норм. документ	Расчетная зависимость
СНБ 5.03.01-02	$V_{Rd,c} = \frac{C_{Rd,c}}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot u \cdot d,$ при $C_{Rd,c} = 0,225 \text{ МПа}^{2/3}$
EN 1992-1-1-2004	$V_{Rd,c} = \frac{C_{Rd,c}}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot u \cdot d,$ при $C_{Rd,c} = 0,18 \text{ МПа}^{2/3}$
СП 52-101-2003	$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot u \cdot h_0$
ACI 318-08	$V_c = \phi \cdot 0,33 \sqrt{f'_c} \cdot b_0 \cdot d$
Примечание – В приведенных зависимостях сохранены обозначения нормативных документов: f_{ck} – прочность бетона на осевое сжатие при обеспеченности 0,95 (МПа); γ_c – частный коэффициент по бетону; R_{bt} – прочность бетона осевому растяжению (МПа); f'_c – прочность бетона на осевое сжатие при обеспеченности 0,90 (МПа); ϕ – понижающий коэффициент, равный 0,75; k – масштабный коэффициент; ρ_l – коэффициент продольного армирования; u , b_0 – длина критического периметра (мм); d , h_0 – рабочая высота (мм).	

Таблица 2 – Основные результаты оценки точности методов расчета

Параметры	Нормы проектирования			
	СНБ 5.03.01-02	EN 1992-1-1-2004	СП 52-101-2003	ACI 318-08
Поправочный коэффициент среднего значения b	1,072	1,108	0,854	1,218
Коэффициент вариации V_{δ} вектора ошибок δ .	0,128	0,139	0,351	0,216



V_e – экспериментальное значение разрушающей нагрузки;
 V_t – теоретическое значение разрушающей нагрузки;
 μ – математическое ожидание; σ – среднее квадратическое отклонение;
 V – коэффициент вариации

Рисунок 1 – Гистограммы распределения V_e к V_t для методик, регламентированных нормативными документами, и аппроксимирующие кривые для образцов без поперечной арматуры

Анализ результатов оценки надежности плоских железобетонных плит перекрытия без поперечной арматуры [2] для норм СНБ 5.03.01-02 и EN 1992-1-1-2004, который показал, что наблюдается превышение значений индекса надежности $\beta=3,8$, что указывает на надежность конструкций и на наличие некоторых запасов сопротивления (рисунок 3). В связи с этим необходимо выполнить корректировку представленных в указанных нормах методов расчета с целью снижения запасов сопротивления. При расчете по АСI 318-08 и СП 52-101-2003 значения индекса надежности меньше установ-

ленного для конструкций класса надежности RC2 значения $\beta=3,8$, что указывает на не достаточную надежность рассчитываемых по этим нормам конструкций и на отсутствие запасов сопротивления.

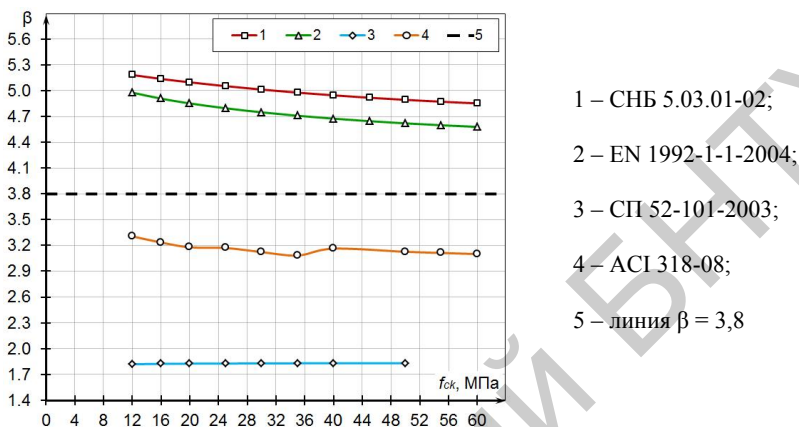


Рисунок 3 – Графики зависимости значений индекса надежности β от значений прочности бетона f_{ck}

Анализ результатов оценки надежности плит перекрытия, рассчитанных по методикам расчета, предложенным N. Gardner, E. Sistonon, G.I. Rankin [11], показал, что для первых двух наблюдается превышение значениями индекса надежности $\beta=3,8$, в то время как методика G.I. Rankin дает значениями индекса надежности значительно ниже $\beta=3,8$.

В четвертой главе представлены результаты оценки точности и выполнена оценка надежности железобетонных плит перекрытия с поперечной арматурой, рассчитанных согласно СНБ 5.03.01-02.

При расчете индексов надежности железобетонных плит перекрытия с поперечной арматурой при продавливании особое внимание было уделено оценке достоверности соответствия принятой для расчета модели форме разрушения плиты в зоне расположения поперечной арматуры. Это обусловлено тем, что при выполнении конструктивных требований СНБ 5.03.01-02 разрушение от раздавливания бетона сжатой зоны по периметру площадки нагружения и продавливания по периметру, расположенному на расстоянии $1,5d$

от крайнего периметра, по которому расположена поперечная арматура практически невозможно. В большинстве опубликованных исследований не приведены сведения о форме разрушения образцов с поперечной арматурой от продавливания. В связи с этим отнесение к той или иной форме разрушения производилось по результатам расчетов.

Принятая в СНБ 5.03.01-02 расчетная модель при продавливании железобетонных плит перекрытий с поперечной арматурой, отвечающая форме разрушения плиты по наклонному сечению, представлена зависимостью:

$$V_{Rd} = \frac{C_{Rd,c}}{\gamma_C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} u_i \cdot d + \frac{A_{sw,i} \cdot f_{ywd} \cdot d}{s_w}, \quad (1)$$

где V_{Rd} – поперечное усилие, воспринимаемое сечением, расположенным по длине периметра u_i (Н);

$C_{Rd,c}$ – коэффициент, равный $0,225 \text{ МПа}^{2/3}$;

γ_C – частный коэффициент по бетону, равный 1,5;

$A_{sw,i}$ – площадь всех вертикальных хомутов, расположенных вдоль периметра u_i (мм^2);

f_{ywd} – расчетное сопротивление поперечной арматуры (МПа);

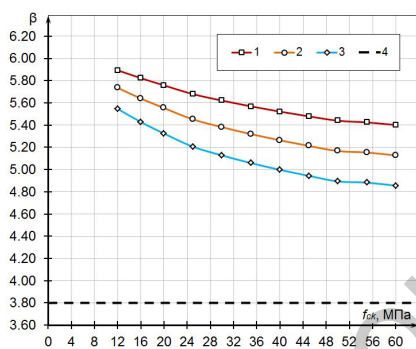
s_w – шаг поперечной арматуры (мм);

остальные обозначения аналогичны обозначениям таблицы 1.

Установлено, что полученные значения поправочного коэффициента среднего значения b и коэффициент вариации V_δ вектора ошибок δ равны соответственно 1,300 и 0,146. Проверка совместности не выявила существенных систематических отклонений, исключение которых позволило бы улучшить сходимость и уточнить функции сопротивления.

Анализ результатов оценки надежности методики расчета плоских железобетонных плит перекрытия с поперечной арматурой [3], показал, что при расчете по нормам СНБ 5.03.01-02 при поперечной арматуре класса S240 и S400 значения индекса надежности находятся выше, чем установленное для конструкций класса надежности RC2 значение $\beta=3,8$, что указывает на наличие запасов сопротивления. Оценка влияния на надежность плоских железобетонных плит

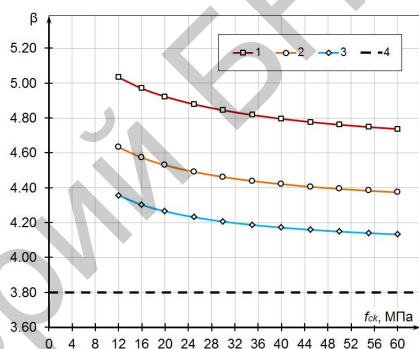
при продавливании значений базисных переменных показала, что такие переменные как коэффициент продольного армирования, длина площадки нагружения и прочность поперечной арматуры, практически не оказывают влияния на значения индекса надежности. В то же время с увеличением рабочей высоты сечения плиты (при сохранении неизменными значений остальных базисных переменных) происходит снижение индексов надежности, что указывает на то, что рабочая высота оказывает существенное влияние на надежность железобетонных плит с поперечной арматурой, продавливаемых центрально нагруженной колонной (рисунки 4 и 5).



1 – при $d=150$ мм; 2 – при $d=250$ мм;
3 – при $d=350$ мм; 4 – линия $\beta=3,8$

Рисунок 4 – Графики зависимости значений индекса надежности β от значений прочности бетона f_{ck}

при $\rho_{sw,min}$



1 – при $d=150$ мм; 2 – при $d=250$ мм;
3 – при $d=350$ мм; 4 – линия $\beta=3,8$

Рисунок 5 – Графики зависимости значений индекса надежности β от значений прочности бетона f_{ck}

при $\rho_{sw,max}$

В пятой главе выполнена корректировка представленной в СНБ 5.03.01-02 расчетной модели сопротивления продавливанию плоских железобетонных плит с целью снижения чрезмерных запасов сопротивления [2, 3, 10],

По результатам калибровки с применением метода статистического оценивания при требуемом индексе надежности для представленной в СНБ 5.03.01-02 расчетной модели сопротивления продавливанию было получено значение эмпирического коэффициента $C_{Rd,c}=0,24 \text{ МПа}^{2/3}$.

В связи с этим рекомендуется применять при расчетах сопротивления продавливанию плит с поперечной и без поперечной арматуры, продавливаемых центрально нагруженной колонной, зависимость

$$V_{Rd,c,MOD} = \frac{C_{Rd,c}}{\gamma_C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot u \cdot d, \quad (2)$$

- где $V_{Rd,c,MOD}$ – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном (Н);
 $C_{Rd,c}$ – коэффициент, равный $0,24 \text{ МПа}^{2/3}$;
 γ_C – частный коэффициент по бетону, равный 1,5;
 k – масштабный коэффициент, $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$ (d – в мм);
 ρ_l – коэффициент продольного армирования, $\rho_l \leq 0,02$;
 f_{ck} – нормативное сопротивление бетона осевому сжатию (МПа);
 u – длина критического периметра (мм);
 d – рабочая высота сечения (мм).

Зависимость отличается от представленной в СНБ 5.03.01-02 значением коэффициента $C_{Rd,c} = 0,24 \text{ МПа}^{2/3}$ вместо $C_{Rd,c} = 0,225 \text{ МПа}^{2/3}$.

Предложена новая линейная функция для учета влияния коэффициента продольного армирования на сопротивление продавливанию плоских железобетонных плит перекрытия при продавливании [1, 8]. С учетом этого зависимость для расчета сопротивления продавливанию плоских железобетонных плит перекрытия приобрела следующий вид:

$$V_{Rd,c,MOD} = \frac{C_{Rd,c}}{\gamma_C} \cdot k \cdot (35\rho_l + 0,65) \cdot (f_{ck})^{1/3} \cdot u \cdot d, \quad (3)$$

где все обозначения аналогичны обозначениям для зависимости (2).

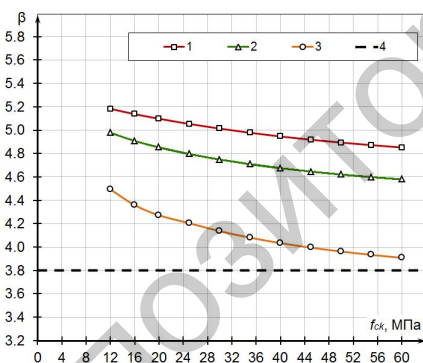
Оценка точности для предлагаемых методик расчета показала, что полученные значения поправочного коэффициента среднего

значения b близки к 1, а значение коэффициента вариации V_δ вектора ошибок δ практически не отличаются, что свидетельствует о том, что зависимости (2) и (3) дают достаточно хорошее совпадение с опытными значениями (таблица 3).

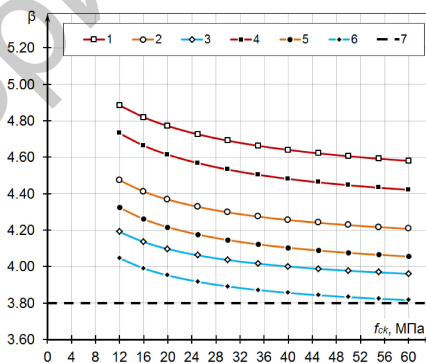
Таблица 3 – Основные результаты оценки точности зависимостей

Параметры	Зависимость		
	СНБ 5.03.01-02	(2)	(3)
Поправочный коэффициент среднего значения b	1,072	1,006	0,982
Коэффициент вариации V_δ вектора ошибок δ	0,128	0,130	0,131

Значения индексов надежности превышают требуемое для конструкций класса надежности RC2 при сроке службы 50 лет значение $\beta=3,8$ (рисунки 6 и 7) и несколько снижаются с ростом прочности бетона [1, 2, 3, 10].



1 – СНБ 5.03.01-02; 2 – (2);
3 – (3); 4 – линия $\beta = 3,8$
Рисунок 6 – Графики зависимости β от значений прочности бетона f_{ck} для плит перекрытия без поперечной арматуры



1 – (2) и $d=150$ мм; 2 – (2) и $d=250$ мм;
3 – (2) и $d=350$ мм; 4 – (3) и $d=150$ мм;
5 – (3) и $d=250$ мм; 6 – (3) и $d=350$ мм;
7 – линия $\beta = 3,8$
Рисунок 7 – Графики зависимости β от значений прочности бетона f_{ck} для плит перекрытия с поперечной арматурой

Установлено, что условие $v_{Sd} \leq 1,5v_{Rd,c}$, ограничивающее возможность установки поперечной арматуры при продавливании, представленное в нормах СНБ 5.03.01-02, является достоверным для железобетонных плит перекрытия, выполненных из тяжелого бетона с поперечной арматурой в виде вертикальных хомутов и продавливаемых центрально нагруженной колонной [4, 9]. При использовании для расчета слагаемого сопротивления продавливанию, обеспечиваемого бетоном плиты, по зависимости (2) следует использовать ограничение $v_{Sd} \leq 1,4v_{Rd,c}$ [4].

Для расчета возможного экономического эффекта при использовании зависимости (2) вместо зависимости СНБ 5.03.01-02 был принят односекционный 18-ти этажный жилой дом с размерами в плане 24х24 м, который запроектирован в монолитном рамно-связевом каркасе. При проектировании каркаса жилого дома, учитывая многообразие объёмно-планировочных решений, была принята сетка колонн размером 6х6 метров, сечение колонн 400х400 мм с плитами перекрытия толщиной 200 мм.

Выполненный расчет экономического эффекта на примере монолитного рамно-связевого каркаса, объем строительства которых в РБ составляет порядка 2 млн. м² в год, показал, что использование зависимости (2) вместо зависимости СНБ 5.03.01-02 позволяет сэкономить при строительстве порядка 25317 белорусских рублей (2,645 долларов США на январь 2014 года) на 1 м² площади здания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Анализ методов расчета сопротивления продавливанию плоских железобетонных плит перекрытия, приведенных в различных нормативных документах и предлагаемых рядом авторов, показал, что методики расчета имеют различные подходы к механизму разрушения от продавливания и расчету прочности бетона на срез, хотя используются эмпирические зависимости, близкие по своему характеру. Практически во всех методах расчета предельное состояние конструкций характеризуется образованием усеченной пирамиды, меньшее основание которой совпадает с сечением колонны, а образующие наклонены под углом к горизонтали от 26,6°

до 45°. Отдельные методики учитывают повышение сопротивления продавливанию в результате стеснения деформаций бетона работой продольной арматуры, а также введением масштабного коэффициента, учитывающего динамику изменения сопротивления продавливанию при увеличении рабочей высоты плиты [6, 7, 11-13].

Анализ результатов исследований надежности железобетонных плит при продавливании показал, что они ограничились определением ошибки моделирования и коэффициентов вариации случайных величин, входящих в сложные функции предельного состояния при продавливании.

2. В результате изучения более 40 публикаций было выбрано более 1000 образцов плоских железобетонных плит, испытанных при продавливании центрально нагруженной колонной. Образцы были систематизированы путем занесения их в базы экспериментальных данных. Сформированная по результатам испытания образцов плоских железобетонных плит без поперечной арматуры база экспериментальных данных после отбора образцов с учетом требуемых критериев содержала 353 образца. Сформированная по результатам испытания образцов с поперечной арматурой база экспериментальных данных после отбора образцов с учетом требуемых критериев содержала 153 образца. [2, 3].

3. Результаты численных оценок надежности плоских железобетонных плит без поперечной арматуры при продавливании центрально-нагруженной колонной, запроектированных с применением методик расчета СНБ 5.03.01-02 и EN 1992-1-1-2004 показали, что полученные значения индекса надежности β превышают значения индекса $\beta=3,8$ установленного для конструкций класса надежности RC2 (при сроке службы 50 лет). Это свидетельствует о надежности конструкций и наличии запасов сопротивления, что указывает на необходимость выполнения корректировки методов расчета. При расчете по нормам СП 52-101-2003 и ACI 318-08 значения индекса надежности оказались меньше установленного для конструкций класса надежности RC2 значения индекса $\beta=3,8$, что говорит о недостаточной надежности конструкций [2, 5, 10].

4. Анализ результатов оценки надежности плоских железобетонных плит перекрытий с поперечной арматурой класса S240 и S400 показал, что при расчете по нормам СНБ 5.03.01-02 значения β находятся выше, чем установленное для конструкций класса

надежности RC2, что указывает на надежность конструкций и на наличие запасов сопротивления. Оценка влияния на надежность плит значений базисных переменных показала, что такие переменные как коэффициент продольного армирования, длина площадки нагружения и прочность поперечной арматуры, не оказывают существенного влияния на значения индекса надежности. В то же время с увеличением рабочей высоты сечения плиты происходит снижение индексов надежности, что указывает на то, что рабочая высота оказывает существенное влияние на надежность железобетонных плит перекрытий с поперечной арматурой, продавливаемых центрально нагруженной колонной [3].

5. Получены калибровкой с применением метода статистического оценивания при требуемом индексе надежности значения эмпирических коэффициентов в расчетной модели сопротивления продавливанию, внесенной в СНБ 5.03.01-02. С целью исключения излишних запасов сопротивления, рекомендуется применить при разработке технических кодексов установившейся практики Республики Беларусь зависимости (2). При этом для плит перекрытий возможность установки поперечной арматуры должна быть ограничена условием $v_{sd} \leq 1,4v_{Rd,c}$ [2-4, 9, 10]

6. Получена уточненная линейная зависимость (3), описывающая влияние коэффициента продольного армирования на прочность железобетонных плит перекрытий при продавливании. Анализ результатов оценки надежности плит, рассчитанных с учетом зависимостей (2) и (3), показал, что обеспечиваемые при этом значения индекса надежности β больше 3,8, что указывает на то, что при этом обеспечивается выполнение требований ТКП EN 1990-2011 к надежности рассчитываемых конструкций [1, 8].

Рекомендации по практическому использованию результатов

При расчете сопротивления плоских железобетонных плит без поперечной арматуры при продавливании центрально нагруженной колонной, изготовленных из тяжелого бетона классов C¹²/₁₅ и выше, рекомендуется применить зависимости (2) и (3) при разработке ТКП Республики Беларусь

При расчете сопротивления плоских железобетонных плит с поперечной арматурой при продавливании центрально нагруженной

колонной, изготовленных из тяжелого бетона классов $C^{12}/_{15}$ и выше, рекомендуется применить для расчета слагаемого сопротивления продавливанию, обеспечиваемого бетоном плиты, зависимость (2) при выполнении ограничения $v_{sd} \leq 1,4v_{Rd,c}$

Расчет возможного экономического эффекта применения зависимость (2) вместо зависимости СНБ 5.03.01-02 на примере монолитного рамно-связевого каркаса, объем строительства которых в РБ составляет примерно 2 млн. м² в год, показал, что при этом достигается снижение стоимости строительстве на 25317 белорусских рублей (2,645 долларов США) в расчете на 1 м² площади здания.

Список публикаций соискателя

В научных изданиях по перечню ВАК

1. Рак, Н.А. Оценка надежности расчета железобетонных элементов при продавливании при использовании линейной зависимости для учета влияния продольного армирования / Н.А. Рак, С.Ю. Тамкович // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1 (73). – С.159 -163.

2. Рак, Н.А. Анализ методов расчета прочности элементов из тяжелого бетона без поперечной арматуры при продавливании на основе расширенного банка экспериментальных данных / Н.А. Рак, С.Ю. Тамкович // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Прикладные науки. Строительство.– 2012. – № 82. – С.25-31.

3. Рак, Н.А. Оценка надежности методов расчета прочности элементов из тяжелого бетона с поперечной арматурой при продавливании на основе расширенного банка экспериментальных данных / Н.А. Рак, С.Ю. Тамкович // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (79). – С.176 -181.

4. Тамкович, С.Ю. Уточнение ограничения по установке поперечной арматуры в железобетонных плитах при местном срезе с использованием расширенного банка экспериментальных данных / С.Ю. Тамкович, Н.А. Рак // Сб. науч. тр. / БелНИИС. – Минск, 2013. – Вып.5: Проблемы современного бетона и железобетона. – С. 325 – 332.



В материалах научных конференций

5. Тамкович, С.Ю. Оценка надежности методов расчета железобетонных элементов при местном срезе по отечественным и европейским нормам / С.Ю. Тамкович, Н.А. Рак // Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы II Международного симпозиума. В 2 т. Т.1 Бетонные и железобетонные конструкции. — Минск: Минсктиппроект, 2009. — С. 409–416.

6. Тамкович, С.Ю. Сопоставление методов расчета железобетонных элементов при местном срезе (продавливании) по отечественным и зарубежным нормам / С.Ю. Тамкович, Н.А. Рак // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сборник трудов XVI Международного научно-методического семинара. — Брест: БрГТУ, 2009. — ч.1. — С. 78 – 83.

7. 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.

8. Тамкович, С.Ю. Влияние процента продольного армирования при расчетах на местный срез железобетонных элементов / С.Ю. Тамкович // Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы III Международного симпозиума (Минск, 9-11 ноября 2011 г.). в 2 т. Т.1 Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – С. 367–374.

9. Тамкович, С.Ю. Влияние ограничения по установке поперечной арматуры на прочность железобетонных элементов с поперечной арматурой при местном срезе / С.Ю. Тамкович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сборник трудов XVIII Международного научно-методического семинара в 2 тт. –Том 1. – / ПГУ; – Новополоцк: ПГУ, 2012. – С. 74 – 78.

10. Тамкович, С.Ю. Уточнение значений индексов надежности элементов из тяжелого бетона без поперечной арматуры при местном срезе с помощью расширенного банка экспериментальных

данных / С.Ю. Тамкович // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства / БНТУ; – Минск: БНТУ, 2012. — ч.1. — С. 117 – 129.

11. Тамкович, С.Ю. Оценка надежности различных предложений для расчета железобетонных элементов при местном срезе / С.Ю. Тамкович // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства / БНТУ; – Минск: БНТУ, 2013. — ч.1. — С. 136 – 144.

Тезисы докладов

12. Тамкович, С.Ю. Анализ методов расчета прочности железобетонных элементов с поперечной арматурой при местном срезе по отечественным и зарубежным нормам / С.Ю. Тамкович // Материалы Восьмой международной научно-технической конференция «Наука — образованию, производству, экономике» в 4 тт. – Том 2. – / БНТУ; – Минск: БНТУ, 2010. – С.206.

13. Тамкович, С.Ю. Анализ методов расчёта прочности элементов из тяжёлого бетона без поперечной арматуры при продавливании по нормам различных стран / С.Ю. Тамкович, Н.А. Рак // Материалы Девятой международной научно-технической конференция «Наука — образованию, производству, экономике» в 4 тт. – Том 2. – / БНТУ; – Минск: БНТУ, 2011. – С.233-234.

РЭЗІЮМЭ

ТАМКОВІЧ Сяргей Юр'евіч

НАДЗЕЙНАСЦЬ ПЛОСКІХ ЖАЛЕЗАБЕТОННЫХ ПЛІТ ПЕРАКРЫЦЦЯЎ ПРЫ ПРАЦІСКАННІ ЦЭНТРАЛЬНА НАГРУЖАНАЙ КАЛОНаЙ

Ключавыя словы: працісканне, пліта перакрыцця, надзейнасць, супраціўленне, індэкс надзейнасці, эксперыментальныя дадзеныя, папярочная арматура.

Мэта працы складаецца ў распрацоўцы прапаноў па забеспячэнню надзейнасці плоскіх жалезабетонных пліт перакрыццяў пры працісканні цэнтральна нагружанай калонай у адпаведнасці з канцэпцыяй надзейнасці СТБ ISO 2394 і ТКП EN 1990.

Сфармаваныя базы эксперыментальных дадзеных па выпрабаваннях плоскіх жалезабетонных пліт з папярочнай і без папярочнай арматуры пры працісканні цэнтральна нагружанай калонай.

Ацэненая надзейнасць плоскіх жалезабетонных пліт без папярочнай арматуры пры працісканні цэнтральна нагружанай калонай, запраектаваных з ужываннем розных мадэляў супраціву працісканню, уключаючы змяшчоныя ў нормах.

Ацэненая надзейнасць плоскіх жалезабетонных пліт з папярочнай арматурай пры працісканні цэнтральна нагружанай калонай, запраектаваных з ужываннем разліковай мадэлі супраціву працісканню СНБ 5.03.01.

З прымяненнем метаду статыстычнага ацэньвання пры патрабаваным індэксе надзейнасці адкалібраваныя значэнні эмпірычных каэфіцыентаў у разліковай мадэлі супраціву працісканню СНБ 5.03.01.

Прапанавана удакладненая залежнасць, якая апісвае ўплыў каэфіцыента падоўжнага армавання на супраціў працісканню плоскіх жалезабетонных пліт перакрыццяў без папярочнай і з папярочнай арматурай.

Атрыманыя вынікі могуць быць ужытыя пры распрацоўцы палажэнняў нарматыўных дакументаў, якія тычацца забеспячэння праектнай надзейнасці плоскіх пліт перакрыццяў.

РЕЗЮМЕ

ТАМКОВИЧ Сергей Юрьевич

НАДЕЖНОСТЬ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ЦЕНТРАЛЬНО НАГРУЖЕННОЙ КОЛОННОЙ

Ключевые слова: продавливание, плита перекрытия, надежность, сопротивление, индекс надежности, экспериментальные данные, поперечная арматура.

Цель работы заключается в разработке предложений по обеспечению надежности плоских железобетонных плит перекрытий при продавливании центрально нагруженной колонной в соответствии с концепцией надежности СТБ ISO 2394 и ТКП EN 1990.

Сформированы базы экспериментальных данных по испытаниям плоских железобетонных плит с поперечной и без поперечной арматуры при продавливании центрально нагруженной колонной.

Оценена надежность плоских железобетонных плит без поперечной арматуры при продавливании центрально нагруженной колонной, запроектированных с применением различных моделей сопротивления продавливанию, включая содержащиеся в нормах.

Оценена надежность плоских железобетонных плит с поперечной арматурой при продавливании центрально нагруженной колонной, запроектированных с применением расчетной модели сопротивления продавливанию СНБ 5.03.01.

С применением метода статистического оценивания при требуемом индексе надежности откалиброваны значения эмпирических коэффициентов в расчетной модели сопротивления продавливанию СНБ 5.03.01.

Предложена уточненная зависимость, описывающая влияние коэффициента продольного армирования на сопротивление продавливанию плоских железобетонных плит перекрытий без поперечной и с поперечной арматурой.

Полученные результаты могут быть применены при разработке положений нормативных документов, касающихся обеспечения проектной надёжности плоских плит перекрытий.

SUMMARY

Tamkovich Sergey

RELIABILITY OF FLAT CONCRETE FLOOR SLAB PUNCHING OF CENTRALLY LOADED COLUMN

Keywords: punching, slab, reliability, resistance, reliability index, experimental data, transverse reinforcement.

Objective is to develop proposals to ensure the reliability of reinforced concrete flat slabs with punching the centrally column loaded in accordance with the concept of reliability of STB ISO 2394 and TCP EN 1990.

Formed experimental database for testing flat reinforced concrete slabs with shear and without shear reinforcement when punching centrally loaded column.

Assessed the reliability of flat concrete slabs without shear reinforcement in centrally loaded column projected using different punching shear models , including those contained in the design codes .

Assessed the reliability of flat concrete slabs with punching shear reinforcement in centrally loaded column projected using punching shear resistance model of SNB 05.03.01 .

With the use of statistical estimation method with the required reliability index calibrated values of the empirical coefficients in the punching shear resistance model of SNB 05.03.01.

Offered to clarify the relationship describing the influence coefficients that longitudinal reinforcement on bursting flat concrete slabs without shear and transverse reinforcement.

The results can be applied in the development of the normative design codes documents relating to the project to ensure the reliability of flat slabs.