

УДК 624.426.5

**НОВОЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА:
ВТОРОЕ ПОКОЛЕНИЕ ЕВРОКОДОВ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ НОРМЫ***д-р техн. наук, проф. В.В. ТУР**(Брестский государственный технический университет);**д-р техн. наук, проф. Т.М. ПЕЦОЛЬД; канд. техн. наук, доц. Н.А. РАК**(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Представлен краткий анализ опыта применения Европейских норм по проектированию железобетонных конструкций EN 1992-1-1 как в международной, так и в национальной практике. Показаны преимущества и недостатки интернализации в разработке нормативных документов разных стран. Рассмотрены основные принципы, положенные в основу разработки Еврокодов второго поколения, а также основные направления совершенствования нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций. Показано, что одной из основных задач на ближайшую перспективу следует считать сохранение и совершенствование с учетом международных достижений национальных норм.

Ключевые слова: *нормы проектирования, конструкции из бетона, метод частных коэффициентов.*

1 О развитии строительных норм из национальных в международные. Краткая ретроспектива

Появление строительных норм исторически обусловлено как минимум двумя основными причинами:

- *обеспечение безопасности* пользователя возводимых зданий и сооружений^{*)};
- *создание условий и гарантий*, необходимых для равной конкуренции сторон, формирующих предложения по проектированию и строительству. Проектные решения могут справедливо конкурировать только в том случае, если они запроектированы, опираясь на одинаковые принципы (главным образом, концепцию надежности).

Даже при беглом изучении первых норм проектирования железобетонных конструкций обращает на себя внимание тот факт, что они были достаточно просты как в понимании, так и в практическом применении. Как показано, например в [1], первые датские нормы Dutch Code for Reinforced Concrete (1912) состояли всего из 30 страниц, а Технические условия (ТУ) и нормативы для железобетонных конструкций примерно того же периода времени, принятые Российским министерством путей сообщения в 1911 году (вторая версия) – всего из 28 страниц. Следует отметить, что по этим нормам в начале XX века в России было запроектировано и построено 22 железобетонных моста.

Вместе с тем, несмотря на названные выше причины, уже при введении первых норм проектирования специалисты были обеспокоены ограничивающим эффектом, который может влиять на инновации в строительной отрасли.

Как показано в [1], в одном из первых технических журналов по проектированию конструкций (1905) приводится следующее высказывание: «*Необходимо убедиться в том, что предписания строительных норм являются настолько гибкими, что строительная индустрия, в которой каждый день появляются новые идеи, не связана и остается свободной для развития новых способов проектирования и возведения конструкций*». Аналогичные мысли и опасения содержались и в статье профессора Н.А. Белелюбского «К составлению технических условий для железобетонных конструкций» в журнале «Цемент, его производство и применение».

В течение последнего столетия разработка норм проектирования железобетонных конструкций – практически непрерывный процесс. В этот период в большинстве стран были разработаны национальные нормы проектирования железобетонных и предварительно напряженных конструкций, имевшие достаточно высокий уровень (СНиП, СНБ, АСІ, PN, BS, DIN, ASCE, AASHTO и др.).

Следует отметить, что выполненный анализ требований и правил проектирования, включенных в нормы различных стран, позволил констатировать, что все они базируются на довольно схожих концептуальных подходах, имея в основе метод предельных состояний, просто содержание (наполнение) каждой из них соответствует уровню экономического развития, географическому положению страны, а главное – существующей национальной инженерной традиции.

В последние десятилетия были предприняты активные действия, направленные на переход от национальных норм к международным, общим для больших групп стран. Наиболее характерным примером ин-

^{*} Проблема обеспечения безопасности строительных объектов существует с момента, когда человек стал заниматься строительством. Это очевидное социальное требование впервые нашло отражение в так называемом Кодексе Хаммураби (Вавилон, 1760 г. до н. э.), где содержалась следующая запись «Если в результате разрушения дома погибнет его владелец, то строитель должен быть приговорен к смерти» (англ. «If a builder builds a house for someone, and does not construct it properly, and house which he built fall and kill owner, that builder shall be put to death», Code of Hammurabi, Babylon, 1760 BC).

тернационализации строительных норм применительно к европейской практике является внедрение единых европейских норм – Еврокодов (EUROCODES), разработка которых продолжается уже более 30 лет. Как подчеркивается в ряде публикаций [1–3], при всех выявленных недостатках наиболее значимым достижением Еврокодов следует считать их гармонизацию на базе единой концепции надежности, общих символов и обозначений, легальных единиц измерения, применяемых в нормах.

По замыслу их составителей, наличие единых норм проектирования и сопутствующих (связанных) с ними стандартов (таблица 1) должны обеспечить условия для свободного перемещения продуктов строительной отрасли, строительных услуг и научной мысли в области строительства между странами-членами CEN (Директива 106/ЕС).

Таблица 1. – Еврокоды и связанные с ними стандарты

Документ	Предмет	Число сопутствующих стандартов
EN 1990	Основы проектирования	3
EN 1991	Воздействия на конструкции	10
EN 1992	Конструкции из бетона	4
EN 1993	Стальные конструкции	20
EN 1994	Сталебетонные конструкции	3
EN 1995	Конструкции из дерева	3
EN 1996	Каменные конструкции	4
EN 1997	Геотехническое проектирование	2
EN 1998	Сейсмическое проектирование	6
EN 1999	Конструкции из алюминия	5

С другой стороны, невозможность достижения консенсуса при принятии голосованием очередных версий предварительных норм привело к появлению Национальных приложений (National Annex), в которых отражаются так называемые национально устанавливаемые параметры (National Determined Parameters), которые развиваются в Национальных документах по применению (National Application Documents). Анализ национально устанавливаемых параметров (NDP), принятых в Еврокодах первого поколения, приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Количество NDP в действующих Еврокодах

Eurocode	Количество частей	Количество страниц	Количество NDPs
EN 1990	1 + Annex A2	90 + 3	54
EN 1991	10	770	292
EN 1992	4	450	176
EN 1993	20	1250	236
EN 1994	3	330	42
EN 1995	3	225	21
EN 1996	4	300	31
EN 1997	2	340	42
EN 1998	6	600	103
EN 1999	5	500	58

Вместе с тем, по мнению авторов [1], Национальные приложения были введены не столько из-за разногласий и невозможности достижения консенсуса при голосовании по отдельным положениям, сколько для поддержания национальных требований к уровню безопасности (но не ниже, чем EN 1990) и учета национальных аспектов, связанных с традициями проектирования. Некоторые из стран-членов CEN (CEN-MS), кроме того, внедрили (реализовали) дополнительные национальные правила и комментарии в форме NCI (Non-contradictory Complementary Information – Непротиворечащая дополнительная информация) для применения на национальном уровне. Как правило, этими возможностями воспользовались, в первую очередь, ведущие страны-члены CEN.

Следует отметить, что международные стандарты разрабатывает не только CEN, но и параллельно ISO (International Standard Organization). Применительно к тематике бетонных и железобетонных конструкций в составе ISO действует 8 комитетов, разрабатывающих довольно большое количество нормативных документов (таблица 3, в которой приведены стандарты, относящиеся главным образом к проектированию, изготовлению, возведению железобетонных конструкций). Кроме того, действует Азиатский Кодекс – образец для проектирования железобетонных конструкций АСМА (Asian Concrete Model Code). При этом существует довольно тесное взаимодействие между International Committee on Model Code for Asia (ICCMCA) и техническим комитетом ISO/TC 71.

Таблица 3. – Нормы ISO и связанные с ними стандарты [1]

Подкомитет	Название	Стандарты	
		опубликованные	разрабатываемые
ISO/TC 71/SC1	Методы испытаний бетона	17	6
ISO/TC 71/SC3	Производство (изготовление) и возведение конструкций из бетона	8	2
ISO/TC 71/SC4	Требования по изготовлению конструкций из бетона	1	0
ISO/TC 71/SC5	Упрощенные расчетные стандарты для бетонных конструкций	3	3
ISO/TC 71/SC6	Нетрадиционная арматура для бетонных конструкций	5	3
ISO/TC 71/SC7	Обслуживание и ремонт бетонных конструкций	9	3
ISO/TC 71/SC8	Экологический менеджмент для бетона и бетонных конструкций	2	2

Как отмечается в [1], интернационализация норм несет в себе следующие преимущества:

1) существенно облегчает обмен научно-техническими данными и мнениями между учеными и специалистами различных стран. Дискуссия на международном уровне и соответствующая кооперация в проведении исследований повышает уровень знания более существенно, чем это может быть получено специалистами отдельной страны (особенно в тех случаях, когда небольшие страны испытывают дефицит высококвалифицированных специалистов по отдельным направлениям исследований);

2) обсуждение различных точек зрения является намного более рациональной основой для разработки общепринятых логических правил проектирования.

В качестве примера такого международного консенсуса, достигнутого в результате активных дискуссий, в работе [1] приводится разработка EN 1168 [4], содержащего требования к пустотным плитам безопалубочного формования (англ. *Hollow Core Slabs – HCS*). В действующей редакции стандарта EN 1168 [4], который ранее не предполагал разработку Национального приложения, содержатся пункты, относящиеся к национальному применению (*National Application Document*). Как показано в [1], ранее наблюдали существенные различия в требованиях к плитам, изготавливаемым в Германии и Франции. В германской практике допускали изготовление плит безопалубочного формования длиной не более 6 м. Причиной ограничения длины пролета плиты было то, что существенную роль в сопротивлении срезу играет прочность бетона при растяжении (при отсутствии поперечного армирования). В связи с этим немецкие инженеры не хотели полагаться на столь «ненадежный» параметр, как прочность при растяжении.

Вместе с тем в соответствии с требованиями стандарта Франции плиты изготавливали длиной не менее 6 м. Основным аргументом было то, что длина зоны передачи напряжений и длина анкерки для напрягающих канатов (номинальным диаметром 9 и 12 мм) в плитах безопалубочного формирования может быть относительно большой (эта проблема достаточно подробно рассмотрена, в частности в [5]). Увеличенная длина зоны передачи напряжений, когда проскальзывание напрягающего каната наблюдается на значительной части длины пролета плиты, оказывает существенное влияние на сопротивление коротких плит при изгибе и срезе.

Важными документами, составляющими основу для подготовки новых поколений Еврокодов по железобетонным конструкциям, являются очередные версии так называемых кодексов-образцов (*fib Model Code*), подготовленных *fib*, внесших значительный вклад в развитие как национальных, так и международных норм проектирования. Так, большинство национальных норм и первое поколение Еврокодов опирались на МС 90. Главным назначением МС (*Model Codes*), которые по своей сути не являются обязательной нормой, а содержат скорее некую передовую реферативную техническую информацию, является формирование предложений по совершенствованию действующих норм на основе обобщенного передового знания, накопленного мировой научной общественностью за некоторый оценочный период до очередного пересмотра норм.

Как утверждается в [3], разработанный и опубликованный в 2013 году *fib* МС 2010 [6] признан наиболее значимым, хотя в ряде положений и небезошибочным, шагом вперед в теории и практике железобетона. При этом сам документ видится как основа для пересмотра EN 1992.

2 Особенности проектирования конструкций в условиях перехода на европейские стандарты

Внедрение в практику проектирования Республики Беларусь принципов и правил проектирования, изложенных в Еврокодах, началось с 2003 года, когда был введен в действие СНБ 5.03.01-02 [7], посвященный проектированию железобетонных конструкций из бетона.

За время применения СНБ 5.03.01-02 (начиная с 2003 года) проектирование железобетонных конструкций из тяжелого бетона в Республике Беларусь выполняли в полном соответствии с концепцией надежности европейских нормативных документов. Наряду с методами расчета, регламентированными Еврокодом EN 1992-1-1:2004 [2], в СНБ 5.03.01-02 [7] внесены и альтернативные методы расчета железобетонных конструкций, применение которых позволяет обеспечить их надежность, установленную EN 1990:2002 для класса надежности не ниже RC2 [8].

Такой подход задолго до провозглашенного TC250 при разработке нового поколения Еврокодов принципа «Evolution, not Revolution» обеспечивал плавный переход к новым методам проектирования, сохраняя на определенный период некоторые базовые требования и расчетные методы СНиП 2.03.01-84.

Начиная с 2004 года преподавание в вузах Республики Беларусь дисциплины «Железобетонные и каменные конструкции» ведется на основе положений по расчету и конструированию, регламентированных СНБ 5.03.01-02, в максимальной степени гармонизированных с положениями EN 1992-1-1:2004. Были изданы учебник для вузов [9] и монография [10], разъясняющие применение деформационных методов расчета железобетонных конструкций, ряд учебно-методических пособий.

Начиная с 2010 года общие проблемы перехода Республики Беларусь на европейские нормы проектирования строительных конструкций, в том числе проблемы методики преподавания, обсуждаются в рамках семинаров, симпозиумов и конференций. В научно-технических журналах, издаваемых в Республике Беларусь, опубликован ряд статей, касающихся этих вопросов.

Накопленный в Республике Беларусь опыт внедрения принципов и правил проектирования железобетонных конструкций, содержащихся в Еврокодах, требует определенного осмысления, которое, на наш взгляд, будет представлять определенный интерес для широкого круга научной и инженерной общественности, профессорско-преподавательского состава вузов других стран СНГ и сопредельных государств.

Необходимо отметить, что при всех преимуществах и недостатках Еврокодов они представляют собой систему взаимосвязанных документов, основанных на общей концепции надежности, изложенной в ISO 2394 и EN 1990, содержащих нормируемые значения условных вероятностей отказа и соответствующих им индексов надежности. В связи этим в СНБ 5.03.01-02 [7] было включено специальное приложение, определяющее, например, правила составления сочетаний для характеристических и репрезентативных значений воздействий в рамках метода частных коэффициентов (как разновидности общего метода предельных состояний).

Среди введенных с января 2010 года в действие в Республике Беларусь европейских норм по проектированию особое положение занимает ТКП EN 1992-1-1-2009 [11]. С одной стороны, это обусловлено масштабами строительства в Республике Беларусь зданий и сооружений из железобетона, а с другой – связано с тем, что действующие отечественные нормы по проектированию железобетонных конструкций [7] были разработаны в 1998–2002 годах с максимальным учетом основных положений разрабатываемых одновременно редакций европейского стандарта EN 1992-1-1 [2]. Окончательный вариант европейского стандарта EN 1992-1-1:2004 [2] был принят в 2004 году после издания СНБ 5.03.01-02 и по некоторым положениям отличался от тех редакций, которые учитывались при его разработке. В дальнейшем (в 2004–2008 гг.) большинство этих отличий были учтены при внесении изменений в СНБ 5.03.01.

При разработке в 2009 году Технического кодекса ТКП EN 1992-1-1-2009 [11] был выполнен идентичный перевод английской версии EN 1992-1-1:2004 [2] на русский язык и разработано Национальное приложение к нему. В этом приложении дано свыше 120 ответов (на русском и английском языках) на вопросы, решение которых отнесено к прерогативе национальных органов по стандартизации (так называемые NDP – Национально устанавливаемые параметры). Наличие Национального приложения является обязательным атрибутом полного введения европейского стандарта на территории государства.

В ряде европейских стран при принятии Национальных приложений отдельные разделы основного нормативного документа были объявлены недействующими в данной стране и даны указания, по какому национальному нормативному документу следует выполнять расчеты. Кроме того, в текст основного документа были дополнительно добавлены некоторые положения (применены так называемые Национальные дополнения, что рассматривалось ранее на примере EN 1168). Фактически была начата ревизия EN 1992-1-1, который только недавно был введен. Более того, уже после принятия в 2004 году EN 1992-1-1 только в двух документах (EN 1992-1-1:2004/AC:2008 и EN 1992-1-1:2004/AC:2010) были внесены 120 изменений в основной текст EN 1992-1-1, которые имеют как редакционный, так и смысловой характер.

Следует отметить, что поправки, внесенные в EN 1992-1-1:2004 документом EN 1992-1-1:2004/AC:2008, были учтены при разработке ТКП EN 1992-1-1-2009 [11]. Остальные поправки были внесены в новый текст ТКП EN 1992-1-1-2009*, переизданный в июне 2015 года [12]. При этом были устранены замеченные в [11] опечатки и внесены отдельные терминологические уточнения. Однако уже после переиздания были обнаружены неточности и в тексте, и в рисунках, что потребовало дополнительных корректировок.

Новым шагом по внедрению в практику проектирования Европейских норм проектирования явилось принятие Минстройархитектуры приказа № 340 от 10.12.2014 «О переходе на Еврокоды». Цель издания приказа – обеспечение условий для массового внедрения в практику проектирования зданий и сооружений европейских стандартов по расчету строительных конструкций (Еврокодов). Согласно пункту 1 этого приказа с 1 января 2015 года проектирование монолитных конструкций на возведение зданий и сооружений следовало выполнять по ТКП EN 1992 «Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций», разработанное на основе идентичного европейского стандарта. Кроме того, согласно пункту 2 этого приказа с 1 июля 2015 года проектирование на возведение зданий и сооружений следует осуществлять

по ТКП EN, разработанному на основе европейских стандартов (Еврокодов): ТКП EN 1990 «Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций»; ТКП EN 1991 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции».

Стоит отметить, что процесс внедрения Еврокодов в практику проектирования строительных конструкций происходит в непростых экономических условиях и сопряжен с наличием ряда усложняющих факторов, как внешних, так и внутренних.

К числу **внешних усложняющих факторов** следует отнести:

- непрерывность и незавершенность процесса создания евроном на базе новых экспериментальных данных и теоретических моделей, разработки новых материалов и технологий;
- неопределенность прогнозирования дальнейшего развития строительных норм в рамках МНТКС СНГ, ЕЭП, ЕврАЗЭС и т.д.;
- появление новых международных нормативных документов.

К числу **внутренних усложняющих факторов** относятся:

- многоступенчатость и отсутствие комплексности во внедрении европейских стандартов в Республике Беларусь;
- неадекватность государственных органов при формировании структуры ТНПА в области строительства.

Следует отметить, что представленные выше перечни не исчерпывают полностью все реально имеющиеся усложняющие факторы. Кроме того из сопоставления перечней неизбежно вытекает вывод о большой взаимосвязи внешних и внутренних факторов друг с другом.

Достаточно подробный анализ перечисленных выше и некоторых других факторов был представлен в публикациях [3; 13].

О необходимости сохранения системы национальных ТНПА по проектированию строительных конструкций. Согласно сложившейся практике разработки и принятия европейских нормативных документов, в этом процессе участие могут принимать только страны-члены ЕС. В таких условиях другие страны могут только выражать свой собственный взгляд и понимание принципов и правил проектирования исключительно при разработке своих отечественных нормативных документов. Таким образом, вопрос сохранения и постоянного совершенствования своей национальной нормативной системы, построенной на принципах общей с Еврокодами концепции надежности [8], приобретает принципиальное значение.

Рассмотрим вопрос о необходимости сохранения системы национальных ТНПА по проектированию железобетонных конструкций. Аналогичное обоснование можно сделать, на наш взгляд, и по ТНПА на проектирование конструкций, выполняемых из других материалов.

По своему содержанию EN 1992-1-1:2004 [2] не является документом прямого действия, а устанавливает только основные (базовые) требования по проектированию конструкций (следует отметить, что среди большой группы разработчиков Евроном существует мнение о том, что эти нормы должны содержать главным образом философию проектирования, а детальные правила должны быть включены в национальные нормы). Для детального проектирования в практике европейских стран разработаны или разрабатываются дополнительные документы (пособия, руководства, рекомендации, учебники, программное обеспечение и т.п.), в которых содержатся в том числе и альтернативные расчетные модели, применение которых обеспечивает устанавливаемую ТКП EN 1990-2011 [14] надежность железобетонных конструкций, но учитывающие отечественные инженерные традиции.

В настоящее время в качестве такого документа в национальной практике нормирования и стандартизации взамен СНБ 5.03.01.02 разработано Национальное дополнение к ТКП EN 1992-1-1-2009, в котором приведены дополняющие ТКП EN 1992-1-1-2009 сведения в виде схем усилий, уравнений равновесия, относительных параметров напряженного состояния, алгоритмов решения прямой и обратной задач расчета, а также вспомогательных таблиц, значительно облегчающих проектировщику выполнение расчетов сопротивления железобетонных и предварительно напряженных элементов. Но главное заключается в том, что в разработанном Национальном дополнении представлены также методы расчета, альтернативные приведенным в ТКП EN 1992-1-1-2009, но обеспечивающие надежность конструкций не ниже расчетных моделей ТКП EN 1992-1-1-2009.

Вместе с тем разработанное Национальное дополнение не позволяет произвести включение всех изменений, которые накоплены за время действия прежней версии СНБ 5.03.01, в частности связанных как с применением новых материалов, так и разработкой новых методов расчета сопротивлений. Поэтому разработка национальных норм, опирающихся на последние достижения как национальной, так и международной строительной науки при сохранении национальных традиций, является актуальной задачей.

3 Еврокоды второго поколения (EN-G2)

В настоящее время Еврокоды принято рассматривать как наиболее передовые комплексные нормы проектирования. Как утверждают разработчики Еврокодов [1–3], их применение позволяет выработать общее понимание проблемы проектирования и обеспечивает, с одной стороны, разработку гармонизированных проектных стратегий для стран Европы, а с другой – открывает широкие возможности для международного сотрудничества. Необходимо иметь в виду, что реальное отношение к Еврокодам самое

разное в странах-членах Европейского Комитета нормирования (CEN). Несмотря на взятые обязательства, касающиеся отмены с марта 2010 года национальных стандартов, входящие в противоречие с Еврокодами, большинство стран, в первую очередь Германия (DIN) и Великобритания (BS), инициировавших применение Евростандартов, не только сохранили национальные нормы, но и продолжают их активно развивать и настойчиво предлагать в качестве международных. Это состояние (возможно, неосознанно) было описано в 2017 году в статье С.Н. Goodchild (*MPA Concrete Centre*) [3] следующим образом: «Хотя их (Еврокодов) применение по-прежнему не является обязательным в Великобритании, Еврокоды находят всё более широкое применение как наиболее подходящие стандарты для конструкционного проектирования...» (англ. «Although their use is still not obligatory in the UK, the Eurocodes are increasing being accepted as the most appropriate structural design standards...»).

С приходом нового поколения инженеров в странах Европы и с учетом того, что в ряде стран национальные стандарты не получают дальнейшего развития, а в других прекращено финансирование разработок нормативных документов национального уровня, в проектной практике Европы для Еврокодов практически не остается альтернативы. (В данном случае является показательным пример Польша. Так, в настоящем году одна из самых престижных конференций *Krynica 2018* в секции Бетонные конструкции едва собрала всего 10 докладов с довольно разрозненной тематикой, результаты которой, очевидно, не могут претендовать на внесение в Евроноормы).

Таким образом, при всех декларированных ранее преимуществах интернализации выделяется группа так называемых «ведущих» стран, имеющих возможности выполнения исследований и возлагающих на себя право внесения изменений в нормы.

В настоящее время наблюдается пересмотр и корректировка действующих Еврокодов с целью их совершенствования и улучшения. Одновременно Национальные комитеты должны пересмотреть содержание Национальных приложений в условиях дальнейшей гармонизации документов.

Работы по корректировке конструкционных Еврокодов выполняет Технический комитет TC 250 в соответствии с Мандатом M/515 EN, выданным для «внесения поправок в существующие Еврокоды и расширения области применения Еврокодов». Программа включает как разработку новых конструкционных Еврокодов, например, конструкции из стекла (рисунок 1), так и пересмотр существующих норм с дополнением разделов, относящихся к проверкам живучести конструктивных систем в особых расчетных ситуациях и оценкам существующих конструкций (рисунок 1).

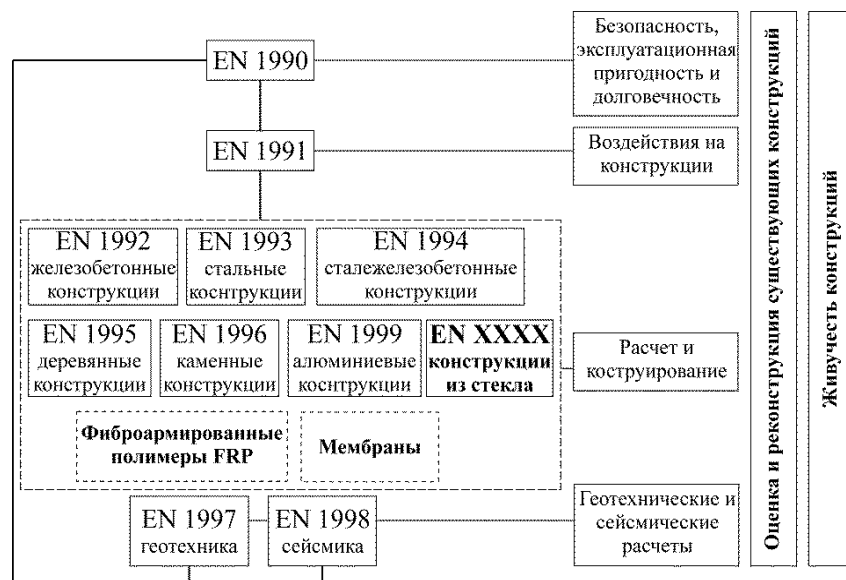


Рисунок 1. – Новые элементы в системе Еврокодов второго поколения (EN-G2)

Следует отметить, что в течение всего периода, предшествующего началу пересмотра Еврокодов, выполнялся мониторинг их внедрения в практику проектирования. По данным [2], только для четырех частей EN 1992 (EC-2) было собрано 1168 замечаний и комментариев из стран-членов CEN. При этом большинство комментариев относится к части 1-1 (General Rules and Rules for Buildings), особенно части 6 (Ultimate Limit States), и разделам, связанным со срезом и местным срезом (продавливанием).

Концепция совершенствования Еврокодов второго поколения (G-2), сформулированная TC 250, базируется на двух основных подходах: 1) дальнейшая гармонизация норм проектирования через уменьшение количества NDPs (Национально-устанавливаемых параметров); 2) реализация принципа «Easy-for-Use».

В рамках подхода «дальнейшей гармонизации требований EN 1992-1-1 предполагается сокращение главным образом количества NDPs (Национально-устанавливаемых параметров) без существенных изменений основной структуры и содержания нормативного документа. Вместе с тем, как уже подчеркивалось, не определен механизм, по которому будет проведена такая гармонизация. После введения Еврокодов ряд Европейских стран заморозили собственные программы разработки национальных документов, а соответственно и исследования для целей стандартизации. В то же время Германия довольно интенсивно проводила исследования в рамках различных программ, поэтому следует ожидать, что большинство из сокращаемых NDPs будут опираться на результаты немецких исследований. Учитывая то обстоятельство, что рабочие группы по отдельным разделам Еврокодов представляют собой некоторые довольно закрытые сообщества, маловероятно, что ими будут услышаны, а тем более приняты предложения других стран, даже если вносимые изменения являются более рациональными, чем немецкие, швейцарские или британские предложения.

Таким образом, совершенно ясно, что полная гармонизация Еврокодов (при полном исключении NDPs) является в настоящее время пока практически невозможной, но станет возможной, когда отдельным странам будет нечего сказать в дискуссии при голосовании очередного проекта ЕС2. Таким образом, если некоторые из NDPs могут быть исключены либо гармонизированы, то основная их часть потребует дальнейшего обсуждения, проведения дополнительных национальных исследований для их обоснования, а затем сравнительного анализа.

Отдельно следует остановиться на реализации подхода «простота применения» («*Easy-for-Use*»).

Как показывает опыт внедрения, практически всегда при введении новой версии норм возникает неприятие в основном со стороны практикующих инженеров, которым, однако, необходимо совершенствовать профессиональные знания. По их мнению, увеличивающееся количество норм (таблица 4) становится всё более насыщено информацией и предлагает всё более сложные расчетные модели. Кроме того, как считают практикующие инженеры, нормативные документы становятся всё более сложными с точки зрения науки и теряют связь с инженерной практикой [1].

Таблица 4. – Объем действующих Еврокодов (без Национальных приложений)

Еврокоды	Part	Pages
EN 1990	1 part	76 pages
EN 1991	10 parts	779 pages
EN 1992	4 parts	477 pages
EN 1993	20 parts	1471 pages
EN 1994	3 parts	339 pages
EN 1995	3 parts	247 pages
EN 1996	4 parts	276 pages
EN 1997	2 parts	374 pages
EN 1998	6 parts	595 pages
EN 1999	5 parts	585 pages
Σ	58 parts	5219 pages

Следует отметить, что усложнение расчетных моделей, вносимых в нормы при попытках проникнуть более глубоко в физические (а порой и физико-химические) аспекты сопротивления армированного бетонного композита, может привести к простому непониманию и, как следствие, к большим ошибкам при проектировании, повышает риски отказа конструкций. Кроме того, усложнение моделей ведет к увеличению неопределенностей (ошибок моделирования).

В качестве примера образцовых норм по проектированию железобетонных конструкций часто приводят швейцарские нормы Swiss Code SIA 262: 2003 [15], которые состоят всего лишь из 90 страниц, включая правила сейсмического проектирования и огнестойкости. В этом документе принципы и правила проектирования являются простыми и ясными, а формулировки – короткими и сжатыми. По этой причине кодекс-образец *fib* MC 2010 [6] рекомендует при составлении норм использовать принцип LOA (сокр. от англ. Level of Approximation – «Уровень аппроксимации»). В соответствии с данным принципом любая расчетная модель сопротивления, вносимая в нормы (если это возможно), может быть представлена на нескольких расчетных уровнях аппроксимации по мере возрастания сложности. Как следует из [1], наименьший уровень I (LOA I), являясь наиболее простым, характеризуется наименьшей трудоемкостью, но дает наиболее консервативный результат. Наиболее высокий уровень (например, LOA IV для местного среза) требует значительных затрат труда и времени выполнения расчетов, высокой квалификации расчетчика, специальных компьютерных программ и т.д., но дает при этом более объективный результат оценивания сопротивления и является менее кон-

сервативным. По замыслу разработчиков норм [1–3] это дает возможность совмещать в одних нормах как простые, так и довольно сложные методы проверок предельных состояний.

Следует отметить, что данный концептуальный подход был применен ещё в начале 2000-х годов при разработке первых национальных норм по проектированию железобетонных конструкций СНБ 5.03.01 [16]. Нормы СНБ 5.03.01 [16] совмещали как новые к тому времени деформационные методы расчетов, включая как модель сопротивления срезу при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил, основанную на положениях модифицированной теории полей сжатия (МСФТ), так и традиционные модели метода предельных усилий, применявшиеся более 50 лет в национальной практике и сохранившиеся в СНиП 2.03.01-84*. Уже тогда был реализован провозглашенный в настоящее время ТС 250 принцип разработки норм нового поколения «Эволюция, а не революция!» («*Evolution, not the Revolution!*»).

По мнению J.C. Walraven [1], эффективные нормы должны объединять и простые, и довольно сложные модели сопротивлений, применяемые как при проектировании новых, так и при проверках предельных состояний существующих конструкций.

Наиболее простые (упрощенные) расчетные модели LOA I могут применяться на стадии предварительного проектирования (англ., *pre-design of a structure*), тогда как более сложные LOA IV и нелинейные модели – в случае проектирования или оценивания ответственных или существующих конструкций, когда встает вопрос о необходимости выполнения усиления [1].

Следует отметить, что термин «простота» определяется не только уровнем сложности принятых моделей, включающих наборы расчетных формул как расшифровку, сформулированную в принципах проектирования философии, но и согласованность как собственно положений нормы, так и различных взаимосвязанных норм.

Таким образом, реализация принципа «*Easy-of-Use*» предполагает:

- простоту и ясность изложения; короткие сжатые формулировки;
 - взаимосвязь как отдельных положений норм, так и норм между собой, в частности, со стандартами на материалы и изделия, а также нормами на возведение;
 - ограничение, где это возможно, альтернативных правил и расчетных моделей, применяемых для одной расчетной ситуации;
 - исключение правил, имеющих очень редкое практическое применение;
 - обеспечение определенной преемственности нормативных документов (*Evolution, not Revolution*).
- При разработке нового поколения норм ЕС следует избегать внесения фундаментальных изменений в методы проектирования;
- поощрение инновационных подходов;
 - учет новых социальных потребностей общества;
 - содействие гармонизации национальных технических инициатив по новым тематикам, представляющим интерес для строительной отрасли различных стран;
 - включение в нормы только таких материалов, которые получены на основе общепризнанных результатов исследований и подтверждены опытом практического применения.

Несомненно, что данные положения следует принимать во внимание при разработке не только международных, но и национальных норм любого уровня.

Основные тематические направления разработки EN 1992 нового поколения достаточно четко просматриваются в названиях сформированных целевых групп (*target group – TG*) в рамках рабочей группы ТС 250/SC2/WG1. Несмотря на то, что в Мандате M/515EN декларировано требование сохранения структуры и основного содержания действующих норм, проект части 1-1 prEN1992-1-1 объединил в одном документе требования, касающиеся проектирования не только зданий (как в действующем документе), но и требования к проектированию мостов и инженерных сооружений. Поэтому в рамках новой концепции Еврокод 2 (EC2), относящийся к проектированию конструкций из бетона, включает следующие части: Часть 1-1 – Общие правила, правила для зданий, мостов и инженерных сооружений (*Part 1-1: General Rules, Rules for buildings, bridges and Civil Engineering structures*); Часть 1-2 – Огнестойкость (*Part 1-2: Structural fire design*); Часть 4 – Проектирование крепежных элементов для применения в конструкциях из бетона (*Part 4: Design of fastening for use in concrete*). Следует отметить, что подобная попытка разработки объединенного нормативного документа по проектированию железобетонных конструкций различного назначения взамен разрозненных документов, применявшихся в различных тематических группах строительных норм, была предпринята в национальной практике несколько лет назад, но не была завершена. Это было обусловлено, с одной стороны, межведомственными противоречиями, а с другой – в связи с введением Еврокодов, что повлекло за собой пересмотр планов технического нормирования. Новая версия prEN 1992-1-1 (апрель 2018 г.) имеет существенно расширенный раздел «Термины, определения, символы», объединивший как ранее содержавшиеся в отдельных документах, так и новые определения терминов.

Рассматривая общее построение документа, следует обратить специальное внимание на новый раздел, включенный во все Еврокоды и содержащий определения применяемых форм глаголов (*Verb forms used in the Eurocodes*). Можно привести многочисленные примеры, когда неверная трактовка формы глагола приводила либо к ненужным дискуссиям, либо к субъективным изложениям требований нормы.

В Еврокодах нового поколения даны следующие определения применительно к используемым формам глаголов:

- глагол “*shall*” отражает безальтернативные требования, которых следует строго придерживаться. Для обеспечения соответствия требованиям Еврокодов отклонения от данного положения не допускаются;

- глагол “*should*” отражает настоятельно рекомендуемый выбор (нормативную рекомендацию) или предпочтительное направление действия. С учетом требований национального технического регулирования и/или любых соответствующих соглашений допускается применение альтернативных подходов (положений), если они технически обоснованы;

- глагол “*may*” показывает направление допустимого действия в пределах ограничений, установленных Еврокодами;

- глагол “*can*” используется для обозначения возможности и способности.

Кратко рассмотрим некоторые из выделенных тематических разделов pr EN 1992-1-1, которые, с одной стороны, являются новыми как для нормы EC2, так и национальных стандартов, а с другой – остаются, по-прежнему, наиболее дискуссионными с точки зрения применяемых моделей сопротивлений, а также обеспечения требуемого формата безопасности.

3.1 Неметаллическая арматура или фиброармированные полимеры (TG1: Fiber-reinforced polymers – FRP)

Этот раздел применительно к действующему EN 1992-1-1 является новым и вносится впервые. Предполагается, что в раздел будут включены: требования к характеристикам поверхности (шероховатости); нормируемые значения прочностных и деформационных характеристик FRP; законы, описывающие сцепление FRP с бетоном; и т.д. Следует отметить, что практически все предложения, относящиеся к проектированию конструкций, армированных FRP, базируются на немецких исследованиях [17], внесенных в *fib* MC 2010 [6]. При этом, как отмечается в [3], нет окончательного решения о том, в каком виде этот раздел будет внесен в нормативный документ и будет ли он внесен вообще. На принятие решения влияет, в том числе, и выбор модели сопротивления срезу, над которой в рамках гармонизированных подходов работают специалисты тематической группы TG4 (Срез).

Следует отметить, что несмотря на увеличение производства отечественных фиброармированных полимеров, их практическое применение ограничено как в силу значительной изменчивости их свойств, так и расчетных моделей, внесенных в нормы. Очевидно, что внесение данных разделов требует дополнительного обсуждения.

3.2 Сталефибробетон (TG2: steel fibers)

Согласно [3], сталефибробетон может применяться как конструкционный материал. В связи с тем, что к настоящему времени накоплены довольно обширные результаты экспериментальных исследований и опыт практического применения, рассматривается возможность внесения в новую версию EN 1992 требований и правил проектирования конструкций из сталефибробетона, которые в настоящее время содержатся в отдельных документах различных стран, включая и национальные. При этом, как показано в [6; 3], промышленные полы из сталефибробетона не входят в область применения новой версии норм и их проектирование предполагается производить, пользуясь некоторыми локальными нормативно-правовыми актами, разрабатываемыми зачастую крупными фирмами-производителями. Версия, вносимая в проект EN 1992, базируется в основном на положениях, изложенных в *fib* MC 2010 [6]. На наш взгляд, одним из основных вопросов, относящихся к практическому применению конструкций из сталефибробетона, является контроль физико-механических характеристик, опираясь на методы механики разрушения, изложенные в EN 14651.

Нормирование характеристик сталефибробетона (основной характеристикой механических свойств является диаграмма деформирования « $\sigma - \epsilon$ »), равно как и рекомендованные модели сопротивления (жестко-пластическая модель, линейно-упругая модель), требуют отдельного обсуждения, главным образом на национальном уровне. Заметим, что применительно к сталефибробетону нельзя не обратить внимания еще на одну важную проблему – проблему долговечности.

Анализ научно-технических публикаций, посвященных изучению долговечности и коррозионной стойкости сталефибробетона, показывает, что существуют различные, а в некоторых случаях диаметрально противоположные взгляды на данную проблему.

В целом считается, что между учеными и специалистами достигнут консенсус в отношении более высокой долговечности сталефибробетона, работающего без трещин, по сравнению с бетонными элементами, армированными традиционными стержнями. Тем не менее утверждается, что долговечность сталефибробетона (SFRC), работающего с трещинами, должна являться предметом дальнейшего изучения.

Включение в нормы проектирования железобетонных конструкций новых материалов, в частности неметаллической арматуры (фиброармированных полимеров) (FRP), сталефибробетона (SFRC), является выражением нового взгляда на так называемые конструкционные бетоны (“*Structural Concrete*”), впервые внедренные при разработке первого поколения Еврокодов.

Как отмечается в [1], в национальных системах стандартизации ряда стран нормы по проектированию конструкций из различных видов бетона разделяли на отдельные главы (части), сфокусированные на некоторых локальных свойствах материалов, конструкций, областях их применения (например, конструкции из легких бетонов, постнапряженные конструкции, конструкции, армированные FRP, конструкции, эксплуатирующиеся в условиях высоких температур и т.д.).

По мнению разработчиков *fib* MC 2010 и новой нормы EN 1992 [8], большой шаг вперед в вопросе гармонизации и упрощения Норм – достижение консенсуса под общим названием “Конструкционный бетон” (англ. “*Structural Concrete*”). Это дало возможность сформулировать в рамках одной нормы общие расчетные модели сопротивления, а в отдельных разделах привести особенности, присущие данному типу конструкций, и нормировать значения базисных переменных, используемых в расчетных моделях сопротивлений (например, в действующих EN 1992-1-1 – дополнительные требования при проектировании конструкций из легкого бетона). Предполагается, что этот подход будет продолжен и развит в EN 1992 (G2) второго поколения путем добавления соответствующих разделов, относящихся к проектированию из новых материалов, примерный перечень которых приведен выше.

3.3 Оценивание существующих конструкций (TG 3: Assessment of existing structures)

Одной из важнейших задач, сформулированных при составлении норм нового поколения, является разработка адекватных методов оценивания существующих конструкций. При этом, как отмечается в [1; 3], в распоряжение инженеров должны быть предоставлены как научно обоснованные модели, так и критерии, позволяющие принимать адекватные решения о необходимости усиления больших групп конструкций и брать на себя ответственность за то, чтобы воздержаться от вмешательства в существующее техническое состояние несущей конструкции.

В настоящее время в качестве передового подхода при оценивании технического состояния существующих конструкций рекомендовано применять преимущественно полностью вероятностные методы расчета в сочетании с нелинейными конечно-элементными моделями.

При этом внесение в проект новой редакции prEN 1992 правил и требований, относящихся к оцениванию технического состояния существующих конструкций, является новым, ранее не применявшимся разделом норм по проектированию конструкций из бетона.

Анализ показывает, что по существу вносимые предложения довольно плотно связаны с положениями, содержащимися в ISO 13822 [18], и во многом их просто повторяют (это, очевидно, связано с тем, что в разработке этих двух документов принимали участие одни и те же специалисты).

При разработке новой редакции нормы проектирования EN 1992 для оценивания существующих конструкций рабочая группа TC 250/WG2 (*Existing Structures*) должна дать ответы на основные вопросы.

1. Следует ли включать правила для оценивания существующих конструкций как дополнительные части (отдельные издания) Еврокодов (например, EN 1992-5) или включать их в виде разделов, приложений к соответствующему Еврокоду?

2. Уместно ли вносить значения целевых индексов надежности для оценивания существующих конструкций, отличных от индексов надежности, принятые при проектировании новых конструкций? Если да, то должен ли целевой уровень надежности назначаться с учетом остаточного срока службы объекта, требований безопасности пользователя, последствий отказа и т.д.;

3. Допустима ли калибровка значения частных коэффициентов метода (т.е. метода частных коэффициентов), опираясь на полученную в процессе обследования фактическую информацию о конструкции (свойствах материалов, геометрических характеристиках и т.д.) и условиях её эксплуатации, включая воздействия, а также неопределенности оценивания.

4. Как обеспечить формат безопасности при выполнении нелинейных расчетов конструктивных систем с учетом неопределенностей расчетных моделей и неопределенностей определения свойств материалов? Следует отметить, что характеристики свойств материалов, включая показатели изменчивости, определяют по результатам испытаний. При этом результаты могут быть получены прямыми испытаниями выпиленных кернов, так и непрямыми испытаниями неразрушающими методами. Как отмечается в [18], результаты испытаний неразрушающими методами обязательно калибруют на результатах испытаний кернов. Характеристические значения прочности материалов определяют согласно приложению Д EN 1990 при уровне обеспеченности 0,75.

Вопросы, связанные с установлением формата безопасности при выполнении нелинейных расчетов, подробно рассмотрены в работах [19].

5. При каких обстоятельствах было бы целесообразно выполнять оценку существующих конструкций, основываясь на опыте прошлой работы этой конструкции?

Вопросы калибровки значений частных коэффициентов γ_i на протяжении длительного периода времени дискутируются и вызывают интерес у практикующих инженеров, занимающихся оценкой технического состояния существующих конструкций. Это связано с тем, что применение частных коэффициентов γ_i откалиброванных для проектирования нового строительства (при некоторых усредненных показателях изменчивости базисных переменных и для периода повторяемости $t_{ref} = 50$ лет) дает практически всегда консервативный результат при оценивании существующих конструкций. При проектировании нового строительства проектировщик оперирует абстракциями, а при оценивании технического состояния эксперт имеет дело с реальной конструкцией, наделенной свойствами, параметры которых можно измерять известными способами. При отсутствии достаточного опыта, опираясь на результаты такого оценивания, эксперт может принять необоснованное решение о необходимости усиления или вообще сноса конструкции.

Опираясь на положения теории надежности первого рода (FORM), для внесения в нормы предложены зависимости для вычисления частных коэффициентов, основываясь на информации, собранной в процессе выполнения детального обследования технического состояния.

В соответствии с вносимыми предложениями [20] конструкции, запроектированные и возведенные по ранее действующим нормам или даже без норм (опираясь на положительный опыт эксплуатации), могут рассматриваться как безопасные для дальнейшего применения, при одновременном выполнении следующих условий:

- тщательное обследование не выявило каких-либо существенных признаков повреждений, ущерба, деструкции или ухудшения состояния конструкции;
- конструкция регулярно обследуется, проверяются ответственные узлы и детали, отвечающие за передачу напряжений;
- конструкция продемонстрировала удовлетворительное техническое состояние в течение длительного периода эксплуатации, в течение которого могли появиться экстремальные значения воздействий и влияния окружающей среды;
- прогнозируемое неблагоприятное изменение технического состояния с учетом выявленного текущего состояния и планируемого обслуживания гарантирует в дальнейшем достаточную долговечность;
- не было выявлено никаких изменений в течение достаточно долго периода времени, которые могли привести к существенному возрастанию уровня воздействий или повлиять на долговечность конструкции и такие изменения не предполагаются.

В тех случаях, когда для проверок предельных состояний применяются конечно-элементные комплексы, декларирующие способность выполнения нелинейных расчетов, необходимо предварительно получить ряд исходных данных о характеристиках конструкции (основных базисных переменных) и обеспечить достижение требуемого уровня надежности (формата безопасности).

Очевидно, что новые нормы должны содержать правила или формулировать, как минимум, основные принципы оценивания и обеспечения надежности нелинейных расчетов.

Безусловно, конечно-элементные комплексы, декларирующие возможность выполнения нелинейных расчетов всегда были популярны в исследовательской среде.

При этом испытания в лабораторных условиях в ряде случаев позволяют получать достаточно обоснованные результаты, применяемые в качестве исходных данных для нелинейного расчета. По-иному складывается ситуация с определением характеристик материалов, геометрических параметров при выполнении обследований существующих конструкций, особенно при использовании полностью вероятностных методов расчета, когда необходимо восстановить статистические параметры функций распределения базисных переменных.

Следует отметить, что в столь широкой постановке вопрос не только оценивания, но и разработки методов усиления в европейской практике поднимается впервые. Вместе с тем в национальной практике разработки нормативных документов вопросам оценивания технического состояния существующих конструкций, включая разработку адекватных расчетных моделей сопротивления (как существующих, так и усиливаемых конструкций), всегда уделяли должное внимание. Так, при разработке СНБ 5.03.01 был внесен раздел, посвященный проверке предельных состояний существующих конструкций, разработаны соответствующие пособия.

3.4 Сопротивление срезу и местному срезу (продавливанию) (TG 4: Shear + Punching Shear)

Сопротивление срезу, в том числе местному (продавливанию), по-прежнему остается одним из наиболее дискуссионных вопросов современной теории железобетона. Как показали результаты мониторинга действующего EN 1992, основная доля вопросов и замечаний, поступивших из стран-членов CEN, относится к расчетным моделям среза и местного среза (продавливания). Так, например, согласно информации, содержащейся в сообщении [3], до настоящего времени тематическая группа TG 4 не может остано-

вить свой выбор на одном из трех рассматриваемых вариантов модели сопротивления местному срезу (продавливанию):

1) оставить модель сопротивления местному срезу (продавливанию) такой, как она приведена в действующих нормах, внося корректировки для улучшения и устранить недостатки, если это требуется (например, в назначении критического периметра u_{crit});

2) принять «швейцарскую модель» А. Muttoni (*Model of Critical Crack*), включенную в *fib* MC 2010 [6] (*Swiss Federal Institute of Technology Lausanne*), принимая базовый периметр $u_b = 0,5d$;

3) принять модель в соответствии с немецкими предложениями (*Aachen University*), принимая базовый периметр $u_{basic} = 0,5d$.

Обращает на себя внимание тот факт, что среди перечисленных моделей отсутствуют другие («словацкая», «польская», «молдавская»), хотя среди европейских моделей заслуживает внимания, например, «испанская модель» А. Mari и др.).

Предложения в *fib* MC 2010 [6] модель («швейцарская модель») сопротивления местному срезу (продавливанию) базируется на исследованиях А. Muttoni и др., а её научное обоснование, выполненное перед внесением в проект норм, содержится в отчете [21]. Немецкое предложение (*German Approach*) базируется на работах [16; 22], в рамках которых основные формулировки сделаны при обработке результатов более чем 500 экспериментов на продавливание плит, выполненных различными исследователями. Аналогично складывается ситуация и относительно общей проблемы среза в балочных элементах.

Согласно швейцарскому подходу (*Swiss Approach*) сопротивление срезу стенки балки или плиты в общем случае определяется из неравенства детерминированного метода частных коэффициентов:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} \geq V_{Ed},$$

где V_{Rd} – расчетное сопротивление срезу; $V_{Rd,c}$ – расчетное сопротивление срезу бетонного сечения; $V_{Rd,s}$ – составляющая расчетного сопротивления срезу за счет поперечного стального армирования; V_{Ed} – расчетное значение поперечной силы.

При расчете сопротивления срезу элементов с поперечной арматурой изменение угла наклона сжатого подкоса к продольной оси элемента рекомендовано выбирать в интервале: $\theta_{min} \leq \theta \leq 45^\circ$.

Как уже было показано выше, *fib* MC 2010 [6], а вслед за ним и новый prEN 1992-1-1 предлагают производить расчет сопротивления срезу на IV уровнях аппроксимации (LoAI-IV).

Результаты выполненного анализа свидетельствуют, что, модели, применяющиеся для проверок предельных состояний среза, вносимые в нормы проектирования, продолжают носить эмпирический или полуэмпирический характер. Они базируются на различных типах испытаний, выполненных при различных условиях.

На конференциях и семинарах различного уровня среди ученых имели место острые дискуссии, в рамках которых рассматривались следующие вопросы: например, какая модель сопротивления при изгибе, срезе, продавливании является адекватной, позволяет лучше описать физическое поведение конструкции под нагрузкой, рассчитать ширину раскрытия трещины и т.д.

Как, правило, в процессе дебатов в качестве аргумента приводят результаты верификации предлагаемой модели на фоне опытных параметров, получаемых как в собственных исследованиях, так и взятых из так называемых банков данных, содержащих обобщенные выборки результатов испытаний, полученных различными исследователями. (В качестве характерных примеров могут быть приведены банки данных по срезу, собранные Д. Кучмой и другими).

Традиционно принято считать, что качество модели определяется оценочными статистическими параметрами (оценочным средним и стандартным отклонением (коэффициентом вариаций)) отношения опытного и рассчитанного значения анализируемого сопротивления. При этом считается, что среднее отношение должно быть близко к единице при минимальном значении коэффициента вариаций. Так, Приложение Д к ТКП EN 1990 содержит описание процедуры для определения статистических параметров ошибки моделирования, применяемой в функции состояния при калибровке значений частных коэффициентов для моделей сопротивления. Коэффициенты, входящие в расчетные модели, калибруют, опираясь, как правило, на заданную квантиль распределения отношения V_{test} / V_{theo} .

Несомненно, представленный подход не лишен определенных недостатков. Во-первых, используемые для статического оценивания результаты испытаний, содержащиеся в так называемых банках данных, не всегда однородны и представляют полные наборы входных характеристик, необходимых для выполнения расчетов с применением теоретических моделей. Так, например, в настоящее время собраны обширные банки данных, содержащие результаты испытаний сопротивления срезу железобетонных балок. При этом в основном собраны результаты испытаний балок прямоугольного сечения малой высоты, испытанные сосре-

доточенными силами, приложенными в пролете (только около 8% всех данных, относящихся к испытанию на срез, составляют балки, испытанные равномерно распределенной нагрузкой). Для исключения разрушения по сечениям, нормальным к продольной оси элемента (в зоне чистого изгиба), большинство балок имели, как правило, нереально высокие для практики значения коэффициента продольного армирования ρ_l .

Безусловно, методики испытаний не в полной мере моделируют физическое поведение элемента при срезе (в частности, плоское напряженно-деформированное состояние).

Другая, более серьезная, проблема связана с выводом эмпирических зависимостей (моделей) на фоне, полученных результатов испытаний. При этом следует иметь в виду, что большинство результатов испытаний, включенных в банки данных, получены на образцах, которые не являются репрезентативными для реальных конструкций, применяемых в инженерной практике, поведение которых они должны описывать. Характерным примером являются зависимости для расчета сопротивления срезу больших элементов без поперечного армирования, включенные в действующие нормы EN 1992-1-1 [8] и предлагаемые для внесения в новое поколение норм в рамках так называемого “немецкого” подхода для проверок сопротивления продавливанию. Очевидно, что предложенная зависимость действительно может быть более всего пригодна для проверок предельных состояний несущей способности при локальном срезе (продавливании) сплошных плит, которые по практическим и экономическим причинам не имеют поперечного армирования. Вместе с тем балки без поперечного армирования фактически запрещены к применению на практике. В балочных элементах, подвергнутых действию изгибающих моментов и поперечных сил по требованию норм [7; 8], должно быть установлено минимальное количество поперечной арматуры, даже в случае, когда выполняется условие $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$.

Как отмечается в [1], чувствительность плит к локальным дефектам и повреждениям (например, каверны, неуплотненные места и т.д.) значительно более низкая, чем у балок. Кроме того, испытания балок практически всегда выполняются сосредоточенными силами, приложенными в непосредственной близости к опоре (как правило, пролет среза a/d составляет от 2,0 до 6,0). При такой схеме испытаний максимальная поперечная сила совпадает с максимальным моментом, а фактически в плитах на опорах действует максимальная поперечная сила V_{Ed} , которая уменьшается до нуля в сечении с максимальным изгибающим моментом M_{Ed} при действии равномерно-распределенной нагрузки.

Характерным примером отсутствия репрезентативности, являются результаты испытаний сосредоточенной силой плит, применяемые для верификации модели местного среза (продавливания). Применяемые в EN 1992 [8] эмпирические модели и предлагаемые полуэмпирические модели *fib* MC 2010 [6] опираются на результаты лабораторных испытаний фрагментов плоских плит. Анализ показывает, что практически все испытания плоских плит выполнены без ограничения их перемещений на внешнем контуре. Однако в реальных условиях существует довольно мощное ограничение со стороны оставшейся части плиты, располагаемой вне критического периметра (как горизонтальных перемещений, так и углов поворота на опорах фрагмента). Это особенно ощутимо в пост-напряженных плитах, в которых поперечное обжатие (эквивалентная нагрузка) оказывает существенное влияние на сопротивление местному срезу (продавливанию).

3.5 Нелинейный анализ конструкций (TG 6: Analysis)

Одной из наиболее актуальных проблем при разработке нового поколения норм является применение нелинейных конечно-элементных методов расчета (FEM-analysis). При этом помимо реализации собственно расчетных процедур по-новому встает вопрос об обеспечении требуемого формата безопасности при выполнении нелинейных расчетов.

Вопрос о готовности к применению нелинейных расчетов в практике проектирования уже обсуждался в публикациях [23; 14], а проблеме обеспечения формата безопасности посвящено в последние годы довольно большое количество работ [23–26]. Применение нелинейных расчетов в практике проектирования стало возможным, с одной стороны, благодаря интенсивному развитию компьютерной техники, а с другой – в результате разработки программных комплексов, реализующих нелинейные расчетные процедуры. В настоящее время вычислительные комплексы, основанные на применении метода конечных элементов (FEM-method) и декларирующие возможности нелинейного анализа, реализуют, как правило, упрощенную процедуру так называемой модифицированной или адаптивной жесткости и полностью нелинейную модель, основанную на применении сложных (деформационных) моделей с учетом перераспределения усилий при образовании и раскрытии трещин. Подробно нелинейные модели рассмотрены в работах [23; 27].

Как показано в [14], нелинейный анализ по своей природе всегда является оценкой глобального типа, при котором все конструктивные элементы системы и их сечения находятся во взаимодействии.

Следует отметить, что как международные, так и некоторые национальные нормы проектирования содержат предложения по регулированию уровня надежности при выполнении нелинейных расчетов с помощью так называемого *глобального коэффициента безопасности* (англ. «*global resistance factor*»). При этом практически во всех случаях проблема сводится к одностороннему оцениванию надежности (расчетные значения сопротивлений устанавливаются без учета изменчивости воздействий).

В соответствии с [6] термин *глобальное сопротивление* (англ. «*global resistance*») используется для оценивания конструктивной системы на уровне более высоком, чем это позволяет оценка отдельных критических сечений. Следует сделать еще одну ремарку, прежде чем говорить о применении нелинейного анализа. Это связано с тем, что при применении данной процедуры предполагается рассматривать *две группы задач*:

1. Нелинейный конечно-элементный анализ отдельных конструктивных элементов или простейших систем (неразрезных балок, плоских рам и т.д.), когда предпринимают попытку физического моделирования поведения конструкции под нагрузкой с учетом трещинообразования, совместной работы арматуры с бетоном и т.д. Для этих целей применяют современные довольно мощные вычислительные комплексы (DIANA, ANSYS, ABAQUS, NASTRAN и т.д.), использующие для описания задачи объемные конечные элементы (solid).

Безусловно, в такой постановке крайне трудоемко моделировать поведение реальных конструктивных систем со сложными сопряжениями отдельных конструктивных элементов и фактическими схемами армирования. Очевидно, что в настоящее время к такому анализу можно относиться скептически, но принимать во внимание перспективы его развития в будущем. При этом такой нелинейный анализ чрезвычайно полезен, в частности, при решении задач локального сопротивления в узлах, контактных задач и т.д. при отсутствии обоснованных аналитических моделей, а также при проведении научных исследований численными методами.

Опираясь на довольно оптимистичные рассуждения о том, что нелинейные конечно-элементные модели в ближайшем будущем позволят решать сложные задачи теории железобетона, разработчики *fib Model Code* [6] соответствующим образом предлагают организовать и новые нормы, что прослеживается уже при построении как *fib* MC 2010, так и EN 1992 (G2). Таким образом, в кодексе-образце [6] довольно большой объем занимают описания свойств материалов (преимущественно основной механической характеристики – диаграмм деформирования « $\sigma - \epsilon$ »), характеристик и законов сцепления « $\tau - \delta$ » арматуры (в том числе неметаллической) с бетоном, численные методы моделирования. В то же время проверкам предельных состояний несущей способности при действии изгибающих моментов и продольных сил посвящено чуть более половины страницы (допущения метода и схемы распределения по высоте сечения относительных деформаций).

Очевидно, внесение в нормы перечисленных разделов, содержащих информацию, необходимую в качестве исходных данных для выполнения нелинейных расчетов, в частности задач первого типа, не позволяет в настоящее время обоснованно выполнять проектирование даже отдельных довольно простых элементов. Это обусловлено в первую очередь тем, что с учетом специфики железобетона, пожалуй, основным вопросом остается моделирование трещинообразования бетона в нелинейных конечно-элементных моделях, применяемых для решения задач первой группы.

Разработке и совершенствованию нелинейных конечно-элементных моделей для конструкций из бетона, работающих с трещинами в последние годы посвящено довольно много исследовательских работ различного уровня. Реализация процедуры нелинейных расчетов с учетом генерации трещин в бетоне заслуживает отдельного рассмотрения и глубокого анализа, и не только со стороны специалистов этого направления, но и практикующих инженеров, а также экспериментаторов.

2. При выполнении нелинейного конечно-элементного анализа идеализированных конструктивных систем, когда моделирование выполняют, как правило, на уровне стержневой аппроксимации. Такие расчеты являются более приближенными к практическому проектированию и позволяют находить с определенной точностью решения для реальных сложных конструктивных систем. Для железобетонных конструкций проблема решается, например, врезкой пластических шарниров (как в случае балок или рам) с применением сеточных моделей или методов модифицированной жесткости (как это рассмотрено в случае плит).

Следует отметить, что формат безопасности при выполнении нелинейных расчетов по-прежнему остается одной из наиболее обсуждаемых и противоречивых проблем теории надежности, а предлагаемые методы подвергаются постоянной модификации.

Вопросы, связанные с обеспечением требуемого формата безопасности при выполнении нелинейных расчетов для задач как первой, так и второй группы, достаточно подробно рассмотрены в [19].

Другие тематические разделы, например, **Эффекты, зависящие от времени (TG-7: Time-dependent effects)**, помимо некоторых незначительных поправок редакционного характера (например, новые определения для части усадки и ползучести) не претерпели глобальных изменений.

Следует отметить, что реологические деформации относятся к достаточно консервативным разделам теории железобетона. Изменения здесь вносятся крайне нечасто, несмотря на непрерывающиеся исследования, в частности, для нормирования деформаций, развивающихся в раннем возрасте. Предстоит проанализировать и верифицировать их на фоне опытных данных и с применением структурно-механических моделей для национальных условий (сырьевые материалы, технологии и т.д.).

Одним из важнейших направлений развития норм нового поколения считается развитие методов проектирования конструкций с учетом **долговечности (TG-10: Durability)**, нормируемого срока службы. Так, разделы *fib* MC 2010, “*Service Life Design*” содержат подобные предложения по вероятностному проектированию конструкций. Однако эти предложения имеют скорее теоретическую ценность, требуют дальнейшей верификации и доведения до практического применения.

Заключение

Анализ опыта применения EN 1992-1-1 и положений, вносимых при разработке Еврокодов второго поколения (EN-G2), позволяют сделать следующие *выводы*:

1. Опыт применения Еврокодов как единых норм для большой группы стран имеет как преимущества, так и недостатки. С одной стороны, интернационализация норм создает условия для широкого обсуждения вносимых положений, опирающихся на результаты, получаемые различными исследователями. Возможность дискуссии создает условия для принятия наиболее рационального решения, если не на международном, то, как минимум, национальном уровне. С другой стороны, применение единых норм создает условия, при которых целый ряд стран практически свернули разработку национальных стандартов, а далее и исследования для целей нормализации. При этом лишь некоторые из стран (например, Германия и Великобритания) получают дополнительные возможности не только для проведения исследований, разработки национальных норм и внесения их в качестве международных.

2. Наиболее рациональным подходом следует считать разработку усовершенствованных национальных норм по проектированию железобетонных конструкций (взамен СНБ 5.03.01), не входящих в противоречие с европейскими нормами, с учетом достигнутых новых результатов как национальных, так и международных исследований новых материалов и технологий, нелинейной механики железобетона.

3. При составлении новой версии национальных норм следует опираться на концепцию надежности, принятую в ISO 2394 и EN 1990, положения, сформулированные в кодексе-образце *fib* MC 2010, сохраняя при этом ряд положений СНБ 5.03.01, получивших позитивную оценку специалистов; при разработке положений норм следует основываться на принятый TC 250 принцип «*Easy-of-Use*» («Легкие в применении»), положения которого приведены в настоящей статье.

4. При планировании научных исследований в области конструкций из бетона следует ориентироваться главным образом на разработку положений, вносимых в нормы проектирования, и их экспериментальную проверку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Warlaven, J. Codes of Practice: Burden or Inspiration? / J. Warlaven «High Tech concrete : Where technology and Engineering meet» : *fib* Symposium in Maastricht, June 2017. – P. XIII–XXIV.
2. Eurocode 2 – analysis of National Annex / A. Ignatiadis [et al.] // *Structural Concrete*. – 2015. – № 1.
3. Пецольд, Т.М. Особенности перехода в Республике Беларусь на проектирование железобетонных конструкций по европейским нормативным документам / Т.М. Пецольд, Н.А. Рак, В.В. Тур // Техническое регулирование в строительной отрасли в современных условиях : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21 мая 2015 г. – Минск : СтройМедиаПроект, 2015. – С. 18–25.
4. Goodchild, Ch. Eurocodes revision – an update / Ch. Goodchild // *Concrete*. – 2016. – April. – P. 53–54.
5. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность : техн. регламент Респ. Беларусь (ТР 2009/013/BY). – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2012. – 26 с.
6. Walraven, J. (Ed.) «*fib* Model Code for Concrete Structures 2010», September 2013 (*fib* Bulletin 65 and 66).
7. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02, 2003. – Минск : Изд. офиц. ; М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2003. – 139 с.
8. Проектирование конструкций из бетона. Общие правила для зданий : ТКП EN 1992-1-1 (EC2) (IDT: EN 1992-1-1:2004: Design of Concrete Structures. General rules and rules for buildings). – 276 p.
9. Железобетонные конструкции. Основы теории расчета и конструирования : учеб. пособие ; под ред. Т.М. Пецольда и В.В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003. – 380 с.
10. Тур, В.В. Прочность и деформации бетона в расчетных конструкциях / В.В. Тур, Н.А. Рак. – Брест : БрГТУ, 2003. – 252 с.
11. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990 (IDT: EN 1990: 2002 Basis of Structural Design). – Минск : ЦИТП, 2012 – 126 с.
12. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02. – Введ. 01.07.2003. – Минск : М-во стр-ва и архитектуры Респ. Беларусь, 2003. – 144 с.
13. Пецольд, Т.М. Опыт внедрения в Республике Беларусь европейских нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций / Т.М. Пецольд, Н.А. Рак, В.В. Тур // *Строительная наука и техника*. – 2012. – № 2 – С. 94–96.

14. Перельмутер, В.А. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? / В.А. Перельмутер, В.В. Тур // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017. – № 13(3). – P. 86–102.
15. Tur, V. Control of the transmission length in the prestressed hollow-core slabs using values of the strand end slip / V. Tur, S. Fic // Budownictwo i Architektura. – 2013. – № 12 (1). – P. 171–178.
16. Einheitliches Bemessungsmodell gegen Durchstanzen in Flachdecken und Fundamenten / D. Kueres [u. a.] // Beton und Stahlbeton. – 2016. – H. 1.
17. EN 1168-2005+A2:2009 Precast concrete products – Hollow core slabs.
18. SIA 262:2003, Swiss Standard : Concrete Structures.
19. Tur, V. Safety format for non-linear pseudo-static response of the RC-structural systems in accidental design situations / V. Tur, A. Tur // Modern Engineering. – 2017. – № 1. – P. 3–14.
20. Fibre Reinforced Polymer Reinforcement Enters *fib* Model Code 2010. Structural Concrete, 14.
21. ISO 13822. Basis for design of structures – Assessment of existing structures.
22. Goddyn, M. O propozycji zmian dotyczących cych obcych ienia fundamentyw na przebicie, wynikajcej z prac nad drugą generacją norm europejskich / M. Goddyn // Inżynierija i Budownictwo. – 2018. – № 25. – S. 237–243.
23. Cervenka, V. Global safety formats in *fib* Model Code 2010 for design of Concrete Structures / V. Cervenka // Proceeding of the 11th International Probabilistic Workshop, Brno, 2013. – P. 27–31.
24. Cervenka, V. Reliability – based non-linear analysis according to *fib* Model Code 2010 / V. Cervenka // Structures Concrete, diurnal of fib. – 2013. – Vol. 14, March. – P. 19–28.
25. Safety format for the non-linear analysis of Concrete Structures / G. Bertagnoli [et al.] // Studies and Researches. – 2004. – Vol. 25 ; Polytechnico di Milano, Italy.
26. Cervenka, V. (ed.): SARA – Structural Analysis and Reliability Assessment : User’s manual / V. Cervenka consulting, Prague, 2003. – 128 p.
27. Safety Format for the non-linear analysis of Concrete Structures / H. Schlune [et al.] // Engineering Structures ; Elsevier. – 2011. – Vol. 33, № 8, August.
28. Siburg, C. Zum einheitlichen Bemessung gegen Durchstanzen in Flachdecken und Fundamenten : Dissertation RWTH Aachen / C. Siburg ; Institut für Massivbau, 2014.
29. New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures (Prospect for CEN Guidance) / P. Luechinger, J. Fischer : JRC, 2015. – 137 p.
30. Background of the *fib* Model Code 2010 Shear Provisions. – Part II. Punching Shear. Structural Concrete.

Поступила 04.06.2018

A NEW APPROACH TO THE CONCRETE STRUCTURES DESIGN: SECOND GENERATION OF EUROCODES AND NATIONAL CODES

V. TUR, T. PETCOLDT, N. RAK

The article presents a brief analysis of the experience of application of European standards for the design of reinforced concrete structures EN 1992-1 in both international and national practice. The advantages and disadvantages of internalization in the development of normative documents of different countries are shown. The basic principles underlying the development of Eurocodes of the second generation, as well as the main directions of improvement of normative documents on the design of reinforced concrete structures are considered. It is shown that one of the main tasks in the near future should be considered the preservation and improvement, taking into account the international achievements of national standards.

Keywords: design norms, concrete structures, method of partial coefficients.