



УДК 624.012.3/.4

DOI: 10.22227/2949-1622.2023.4.91-103

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

Будущее норм проектирования железобетонных конструкций: проблемы и перспективы

Н.А. Рак^{1*}, В.В. Тур²¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь² Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь[*nrak@bntu.by](mailto:nrak@bntu.by)

Ключевые слова: бетонные и железобетонные конструкции, нормы проектирования

История статьи

Поступила в редакцию: 17.07.2023

Доработана: 29.07.2023

Принята к публикации: 05.08.2023

Для цитирования

Рак Н.А., Тур В.В. Будущее норм проектирования железобетонных конструкций: проблемы и перспективы // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 4. № 4. С. 91–103.

Аннотация. В статье представлен краткий анализ опыта разработки норм проектирования железобетонных конструкций в Республике Беларусь. Рассмотрены принципы, на основе которых разрабатывались эти нормы. Показаны преимущества и недостатки использования европейских норм проектирования EN 1992-1-1 различных поколений, а также fib Кодексов образцов.

Future of Reinforced Concrete Design Codes: Challenges and Perspectives

Mikalai A. Rak^{1*}, Viktor V. Tur²¹ Belarussian National Technical University (BNTU), Minsk, Republic Belarus² Brest State Technical University (BrestGTU), Brest, Republic Belarus[*nrak@bntu.by](mailto:nrak@bntu.by)

Keywords: Concrete and reinforced concrete structures, design standards

Article history

Received: 17.07.2023

Revised: 29.07.2023

Accepted: 05.08.2023

For citation

Rak M.A., Tur V.V. Future of Reinforced Concrete Design Codes: Challenges and Perspectives. *Reinforced concrete structures*. 2023;4(4): 91–103.

Abstract. Annotation: The article presents a brief analysis of the experience of developing standards for the design of reinforced concrete structures in the Republic of Belarus. The principles on the basis of which these norms were developed are considered. The advantages and disadvantages of using European design standards EN 1992-1-1 of various generations, as well as fib Model Codes are shown.

Николай Александрович Рак, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций имени профессора Т.М. Пецольда, Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, 220013, Минск, пр. Независимости, 65 eLIBRARY SPIN-код: 2991-4559, ResearcherID: E-8642-2018, ORCID: 0000-0002-0899-2062, E-mail: nrak@bntu.by.

Виктор Владимирович Тур, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологии бетона, Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь, 224017, Брест, ул. Московская, 267; eLIBRARY SPIN-код: 1741-7652, Scopus: 6507476083, Researcher ID: X-9477-2018, ORCID: 0000-0001-6064-1974 E-mail: profurvic@gmail.com

© Рак Н.А., Тур В.В., 2023



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ВВЕДЕНИЕ

Появление строительных норм было исторически обусловлено, как минимум, двумя главными причинами:

1. Обеспечение безопасности пользователя возводимых зданий и сооружений (см. *Кодекс Хаммурапи (Вавилон, 1760 г. до н.э.)*);
2. 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 предписывающие нормы могут оказывать на инновации в строительной отрасли.

Как показано в [1], в одном из первых технических журналов по проектированию конструкций (1905г.) 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 проф. Н.А. Белелюбского «К составлению технических условий для железобетонных конструкций» в журнале «Цемент, его производство и применение».

В течении последнего столетия разработка норм проектирования железобетонных конструкций является практически непрерывным процессом. В этот период в большинстве стран были разработаны национальные нормы проектирования железобетонных и предварительнонапряженных конструкций, имевшие достаточно высокий уровень (СНиП, СП РФ, СНБ, АСІ, PN, BS, DIN, ASCE, AASHTO и др.). Следует отметить, что все они базируются на довольно схожих концептуальных подходах, имея в основе метод предельных состояний, однако содержание (наполнение) каждой из них соответствует уровню экономического развития, географическому положению страны, а главное – существующей национальной инженерной традиции.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

После ввода в действие в 2003 году первых национальных норм СНБ 5.03.01-02 [2], проектирование железобетонных конструкций из бетона нормального веса в Республике Беларусь в течении более 20 лет выполняли в полном соответствии с концепцией надежности, принятой в EN 1990 [3], гармонизированного с требованиями ISO 2394 [4]. Наряду с методами проверок

Mikalai A. Rak, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Structures named professor T.M. Pecold, Belarussian National Technical University (BNTU), 65 Nezavisimosty av, Minsk, 220013, Republic Belarus, eLIBRARY SPIN-код: 2991-4559, ResearcherID: E-8642-2018, ORCID: 0000-0002-0899-2062, E-mail: nrak@bntu.by.

Viktar V. Tur, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Material and Technology of Concrete, Brest State Technical University (BrGTU), 267 Moscovskaya str., Brest, 224017, Republic Belarus, eLIBRARY SPIN-code: 1741-7652, Scopus: 6507476083, ResearcherID: X-9477-2018, ORCID: 0000-0001-6064-1974, E-mail: profvturvic@gmail.com.

предельных состояний, регламентированных EN 1990 [3] и EN 1992-1-1:2004 [5], в [1] были включены альтернативные методы расчета железобетонных конструкций, применение которых позволило обеспечить уровень надежности элементов конструкций, установленный EN 1990:2002 [3] для класса надежности не ниже RC2.

При всех преимуществах и недостатках Еврокодов, они представляют собой единую систему взаимосвязанных документов, основанных на общей концепции надежности, изложенной в [3,4], содержащих нормируемые значения вероятности отказа и индекса надежности. Поскольку к тому времени (конец 90-х годов) на территории Республики Беларусь не действовали документы, регламентирующие требуемые параметры надёжности, было принято решение о разработке и включении в СНБ 5.03.01 специального приложения, содержащего, например, правила составления сочетаний для характеристических и репрезентативных значений воздействий в рамках метода частных коэффициентов не противоречащие принципам, сформулированным в [3,4].

Среди введенных с января 2010 года в действие в Республике Беларусь европейских норм по проектированию особое положение занимал ТКП EN 1992-1-1-2009 [6, 7].

Начиная с 2010 года общие проблемы перехода Республики Беларусь на европейские нормы проектирования строительных конструкций, в том числе проблемы методики преподавания, постоянно обсуждались в рамках семинаров, симпозиумов и конференций.

Новым шагом по внедрению в практику проектирования Европейских норм проектирования явилось принятие Минстройархитектуры приказа № 340 от 10.12.2014 «О переходе на Еврокоды». Его целью являлось массовое внедрение в практику проектирования и возведения зданий и сооружений европейских стандартов по расчету строительных конструкций (Еврокодов).

Процесс внедрения Еврокодов в практику проектирования строительных конструкций происходил в непростых экономических условиях и был сопряжен с наличием ряда усложняющих факторов – как внешних, так и внутренних.

Достаточно подробный анализ перечисленных выше и некоторых других факторов был представлен в более ранних публикациях, относящихся к этому вопросу [8, 9].

Начиная с 2013 года техническим комитетом CEN TC 250 «Строительные Еврокоды» в соответствии с мандатом M/515EN начата разработка проектов европейских стандартов второго поколения. Планировалось, что до конца 2018 года будут разработаны новые редакции уже существующих стандартов. Однако работа над вторым поколением Еврокодов по большинству направлений пока далека от завершения. В качестве основы для разработки Еврокода prEN1992 второго поколения для проектирования железобетонных конструкций первоначально предполагалось принять *fib* Model Code 2010 [10], однако в дальнейшем это решение подверглось серьезной трансформации.

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 выразить свой собственный взгляд и понимание принципов и правил проектирования исключительно при разработке своих отечественных нормативных документов. Таким образом, практический опыт работы с Еврокодами, накопленный за последнее десятилетие отчётливо показал, что вопрос сохранения и постоянного совершенствования своей национальной нормативной системы, построенной на общих принципах и не противоречащей концепции надежности, принятой в [3], приобретает принципиальное значение.

При этом следует отметить, что по своему содержанию EN 1992-1-1:2004 [5] не является документом прямого действия, а устанавливает только основные требования к проектированию. В связи с этим в ряде европейских стран разработаны или разрабатываются дополнительные документы (пособия, руководства, рекомендации, учебники, программное обеспече-

ние и т. п.), в которых содержатся, в том числе, и альтернативные расчетные модели, применение которых обеспечивает установленный в EN 1990:2002 [3] уровень надежности железобетонных конструкций, но учитывает сформировавшиеся национальные инженерные традиции.

В качестве такого документа в национальной практике нормирования и стандартизации в 2018 году было разработано и с 2019 года введено в действие Национальное дополнение к ТКП EN 1992-1-1-2009 [11], в котором, как дополнение к основному тексту нормы, были приведены практические сведения в виде схем усилий и распределения относительных деформаций, 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 конструкций. Но главное заключается в том, что в разработанном Национальном дополнении были представлены также методы расчета, альтернативные приведенным в [2], но обеспечивающие уровень надежности конструкций не ниже того, что был принят при калибровке системы частных коэффициентов расчетных моделей [3].

Вместе с тем разработанное Национальное дополнение не позволяло внести все изменения, которые были накоплены за время действия [2], в частности связанные как с применением новых материалов, так и разработкой новых методов расчета сопротивлений.

Результатом поиска рационального направления реформирования системы ТНПА в строительстве явился Указ Президента Республики Беларусь 5 июня 2019 г. № 217 «О строительных нормах и правилах», в котором ТНПА, касающиеся проектирования строительных конструкций, разделены на два вида:

–строительные нормы (СН), устанавливаются обязательные для соблюдения требования при проектировании и строительстве зданий и сооружений в целях обеспечения механической прочности и устойчивости зданий и сооружений;

–строительные правила (СП), в которых установлены добровольные для применения правила в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, выполнение которых обеспечивает механическую прочность и устойчивость зданий и сооружений.

В рамках этой новой отечественной системы ТНПА в области строительства были разработаны строительные правила СП 5.03.01-2020 [12], которые были введены взамен СНБ 5.03.01 [2].

Объектом нормирования СП 5.03.01-2020 являлись правила проектирования конструкций зданий и инженерных сооружений с применением бетона нормального веса (средняя плотность в сухом состоянии от 2000 до 2600 кг/м³) и легкого бетона (средняя плотность в сухом состоянии от 1000 до 2000 кг/м³).

СП 5.03.01-2020, разработанные взамен [2] и СНиП 2.03.01-84 устанавливают правила проверок предельных состояний несущей способности, эксплуатационной пригодности и долговечности и живучести бетонных и железобетонных конструкций. Разработанные строительные правила базируются на положениях национального документа СН 2.01.01 «Основы проектирования строительных конструкций» [13] в рамках которого философия проектирования, по-прежнему, базируется на проверках предельных состояний. При этом, для выполнения таких проверок допускается применять три основных метода: (1) полностью вероятностный метод; (2) полувероятностный метод (метод частных коэффициентов); и (3) проектирование с применением результатов испытаний.

Содержание строительных правил [12] представлено следующими разделами и приложениями (новые по сравнению с [2] разделы и приложения выделены курсивом).

1. Область применения
2. Нормативные ссылки

3. Термины и определения
4. Основы проектирования
5. Статический анализ конструкций
6. Материалы и критерии обеспечения долговечности
7. *Характеристики сцепления*
8. Проверки предельных состояний несущей способности (ULS) при статических и квази-статических воздействиях
- 9 Проверки предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS)
10. *Проверка живучести конструктивных систем в особых расчетных ситуациях*
11. Требования к конструированию
12. *Требования к проверкам предельных состояний при оценивании существующих конструкций*

Приложение А. Особенности проектирования пост-напряженных плоских плит

Приложение Б. Формат безопасности при выполнении нелинейного анализа

Приложение В. Расчет параметров ползучести и усадки бетона

Приложение Г. Минимальные классы бетона по прочности на сжатие для обеспечения долговечности конструкции

Приложение Д. Таблицы для расчета сопротивления сечений, нормальных к продольной оси железобетонных элементов прямоугольного сечения

Приложение Е Определение момента инерции для железобетонных элементов

Приложение Ж. Особенности проектирования конструктивных систем из железобетона в особых расчетных ситуациях

Приложение К. Методы расчета вторичных эффектов пост-напряжения при использовании эквивалентных нагрузок

Приложение Л. Правила трассировки напрягающих элементов

При разработке [12] также как и [2] специалисты, входившие в рабочую группу, руководствовались принципами преемственности и дополнительности, когда прошедшие проверку практикой проектирования положения и методики расчета ранее действовавших норм дополняются новыми положениями и методиками расчета, обеспечивающими выполнение базовых требований к зданиям и сооружениям в соответствии с требованиями СН 2.01.01-2019 «Основы проектирования строительных конструкций» [13]. Подробное рассмотрение отдельных разделов и положений норм является предметом отдельных публикаций и выходит за рамки данной статьи. Здесь приведена общая характеристика документа и его сравнение с требованиями международных норм.

Настоящие строительные правила имеют значительные отличия от [2]:

1. Область применения нормативного акта существенно расширена распространением на проектирование конструкций из легкого бетона (средняя плотность в сухом состоянии от 1000 до 2000 кг/м³).

2. Структура и содержание настоящего технического кодекса существенно переработаны по сравнению [2], появились 3 новых раздела и 7 приложений, содержащих важную информацию, в том числе по проектированию конструкций в особых расчетных ситуациях.

3. Часть методов расчета конструкций по [2] были заменены методами, гармонизированными с требованиями [7, 10]. При этом, на переходной период при внесении новых расчетных моделей в ряде случаев сохранены действовавшие ранее модели в качестве альтернативных.

Со времени введения СП 5.03.01-2020 [12] в действие прошло пока менее 2 лет. Введение его в действие сопровождалось проведением семинаров с участием широкого круга работников проектных организаций, органов государственной экспертизы и госстройнадзора, преподавателей вузов и др. Во время этих семинаров разработчикам задавались вопросы, касающи-

еся расчета и конструирования железобетонных конструкций широкого применения, отмечалась необходимость уточнения отдельных положений и исправления обнаруженных опечаток. В целом внедрение [12] не вызвало серьезных проблем поскольку в его основе лежат те же положения, что и в ТНПА, используемых до этого в практике проектирования железобетонных конструкций в Республике Беларусь.

Однако работа над развитием системы отечественных ТНПА по проектированию железобетонных конструкций должна продолжаться, находиться в центре внимания широкого круга проектировщиков, научных работников, научно-педагогических кадров и других специалистов в области строительства.

Выбору направлений развития системы отечественных ТНПА по проектированию железобетонных конструкций должен предшествовать анализ опыта разработки еврокодов второго поколения и *fib Model Code 2020*.

Новый СП 5.03.01 в свете требований *fib model code 2020* и *prEN1992* второго поколения

Результатом многолетней работы подкомитета SC2 комитета CEN TC 250 «Строительные Еврокоды» явился окончательный вариант проекта европейского стандарта второго поколения по проектированию железобетонных конструкций [14].

Область применения нового нормативного акта существенно расширена по сравнению с [2]. Он вводится взамен сразу нескольких существующих нормативных документов [5, 15, 16]. Структура разделов значительно изменена, большинство разделов подверглось существенной переработке, направленной, в том числе, на уменьшение количества пунктов, в которых предусмотрены национально устанавливаемым параметры (NDP). Добавлено большое количество приложений, обусловленных значительным расширением области применения.

В настоящее время в развитие кодекса-образец *fib Model Code 2010* [10], параллельно с разработкой нового поколения Еврокодов, ведутся работы над новым кодексом-образцом *fib Model Code 2020*, на основе которого строят как единые европейские документы (Еврокоды), так и национальные документы, не входящие в общеевропейскую систему нормирования. Кодекс-образец в течение длительного времени было принято рассматривать как наиболее передовые комплексные нормы проектирования. Как утверждают разработчики *fib Model Code 2020* [1, 17, 18], его применение позволяет выработать общее понимание проблемы проектирования и обеспечивает, с одной стороны, разработку гармонизированных проектных стратегий для целого ряда стран Европы и Азии, а с другой – открывает широкие возможности не только для международного сотрудничества в области технического нормирования, но и свободного перемещения продуктов строительной отрасли. Необходимо иметь в виду, что реальное отношение как к МС2020, так и, собственно, к разрабатываемым на его основе 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, а в первую очередь Германия (DIN) и Великобритания (BS), инициировавшие применение Евростандартов, не только сохранили национальные нормы, но и продолжают их активно развивать и настойчиво предлагать в качестве международных, не обращая должного внимания на декларированный тезис о «*международном сотрудничестве в области технического нормирования*». Это состояние, возможно неосознанно, было описано ещё в 2017 году в статье С.Н. Goodchild (MPA Concrete Centre) [18] 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...*». Таким образом, в национальной трактовке единые Европейские нормы имеют статус

документа добровольного применения и его следует рассматривать как некий кодекс-образец локального уровня, не отменяющий национальных документов, созданных на общей платформе надёжности.

С притоком нового поколения инженеров в странах Европы и с учетом того, что в ряде стран Восточной Европы национальные стандарты не получают дальнейшего развития, а в некоторых из них, попросту, прекращено финансирование разработок нормативных документов национального уровня, в проектной практике Европы для Еврокодов практически не остается альтернативы.

Таким образом, при всех декларированных ранее преимуществах интернационализации, выделяется группа т.н. «ведущих» стран, имеющих возможности выполнения исследований, и возлагающих на себя право внесения изменений в нормы. В своё время, это стало предметом беспокойства специалистов Технического комитета ТКС 8, действия которых были направлены на сохранение национальной системы нормирования в строительстве, опирающейся на передовой мировой опыт, общую концепцию надёжности с учётом национальных особенностей строительной отрасли.

В настоящее время проходит пересмотр и корректировка действующих Еврокодов с целью их совершенствования и улучшения на основе *fib Model Code 2020*. Одновременно, Национальные комитеты должны пересмотреть содержание Национальных приложений в условиях дальнейшей гармонизации документов. Очевидно, что разрабатывая новую версию СП 5.03.01 следует ориентироваться на передовые не только национальные, но и международные достижения в области проектирования конструкций из бетона, содержащиеся традиционно в разрабатываемых в разное время кодексах-образцах. В настоящем времени речь идёт о *fib MC 2020*, который должен был появиться в 2020 году, но и к данному моменту не имеет законченной/ окончательной редакции. Однако базовые положения данного кодекса-образца сформулированы и довольно детально обсуждены на научных мероприятиях различного уровня. При разработке кодекса-образца, а далее и национальных норм, стремились к достижению основной цели: разработать единый (объединенный) конструкционный кодекс-образец, основанный на надежных, последовательных и непротиворечивых базовых принципах проектирования, включающий и рационально представляющий современные мировые знания в области материаловедения и поведения конструкций из бетона при различных видах воздействий, ориентированный на практическое применение при составлении национальных норм с учётом признания потребностей инженерных сообществ в различных регионах мира.

Какие же наиболее существенные изменения предполагает *fib MC 2020* и связанные с ним национальные нормы в части проектирования конструкций из бетона? К таким изменениям можно отнести следующие базовые требования (принципы):

- разрабатываемые нормы должны быть применимы для проверок предельных состояний, в основном, как при проектировании новых, так и оценивании существующих (эксплуатируемых) конструкций;

- проектирование новых и оценивание существующих конструкций следует выполнять с учетом срока (остаточного) службы конструкций;

- при калибровке системы частных коэффициентов, применяемых в расчётных моделях сопротивлений и воздействий следует применять усовершенствованные форматы безопасности для новых и существующих конструкций; внедрение фундаментальных принципов и философии безопасности, основанной на принятой единой концепции надёжности. Концепция надёжности расширена и обновлена для охвата новых и существующих конструкций с учетом дифференциации рисков и уровней надёжности. Установлены различия в показателях надёжности между новыми и существующими конструкциями, для которых приняты разные уровни надёжности по экономическим соображениям, но с минимальными уровнями (ограничения целевой функции) из-за требований безопасности жизнедеятельности, специфичных

для страны/региона (Целевые значения индексов надежности (β) могут быть снижены в существующих конструкциях по сравнению с новыми);

- следует применять усовершенствованные конститутивные зависимости (диаграммы деформирования, связывающие напряжения и относительные деформации, в том числе, при сложных нагружениях), применяемые для старых и новых бетонов с должным вниманием к аспектам долговечности;

- допускать устранение ограничений для применения новых материалов, например, стальную фибру и неметаллическую арматуру (FRP)- как новые альтернативы традиционному армированию бетонных конструкций;

- должны содержать модели сопротивления элементов конструкций для широкого спектра типов (видов) воздействий (статические, усталостные, ударные, взрывные, сейсмические, пожарные, криогенные);

- сочетать сложные научно- обоснованные модели, описывающие, по возможности, наиболее полно физический феномен сопротивления железобетона и неопределенности различного происхождения с упрощенными версиями (аппроксимации более низкого уровня), применяемыми в повседневной проектной практике на этапе предварительного проектирования;

- введение концепции надежности в численный (конечно-элементный) анализ, главным образом, при выполнении нелинейного статического и/или динамического анализа;

- реализация концепции устойчивого развития при проектировании конструкций из бетона;

- внедрение подхода, основанного на «концептуальном проектировании» или «проектирования, основанного на характеристиках» (т.н. *performance-based design*) для стимулирования творчества. Новая парадигма проектирования основана не на «входных» параметрах, как этого требуют предписывающие современные нормы (для которых результат проектирования имеет, например, неизвестный уровень надёжности), а на требуемых «выходных» характеристиках свойств, например, допустимой величине риска;

- внедрение стратегии непрерывного мониторинга и технического обслуживания на протяжении всего проектного срока эксплуатации строительного сооружения.

Рассмотрим в краткой форме как данные положения *fib* MC 2020 реализуются при разработке Еврокодов второго поколения и в какой мере они учтены при разработке СП 5.03.01 [12].

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 (см. рис. 1) (например, конструкции из стекла), так и пересмотра существующих норм с дополнением разделов, относящихся к проверкам живучести конструктивных систем в особых расчетных ситуациях и оценкам существующих конструкций (см. рис. 1).

Концепция совершенствования Еврокодов второго поколения (G-2), была сформулирована на TC 250, опираясь на два основанных концептуальных подхода:

- 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 предполагалось сокращение, главным образом, количества NDPs (Национально-устанавливаемых параметров) без существенных изменений основной структуры и содержания нормативного документа. Вместе с тем, приступая к работам не был определен механизм проведения такой гармонизации. Как было отмечено выше, после введения Еврокодов ряд Европейских стран замо-

розили собственные программы разработки национальных документов, а, соответственно, и исследования для целей стандартизации. Вместе с тем, например, Германия довольно интенсивно проводила исследования в рамках различных программ, в силу чего следовало 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.

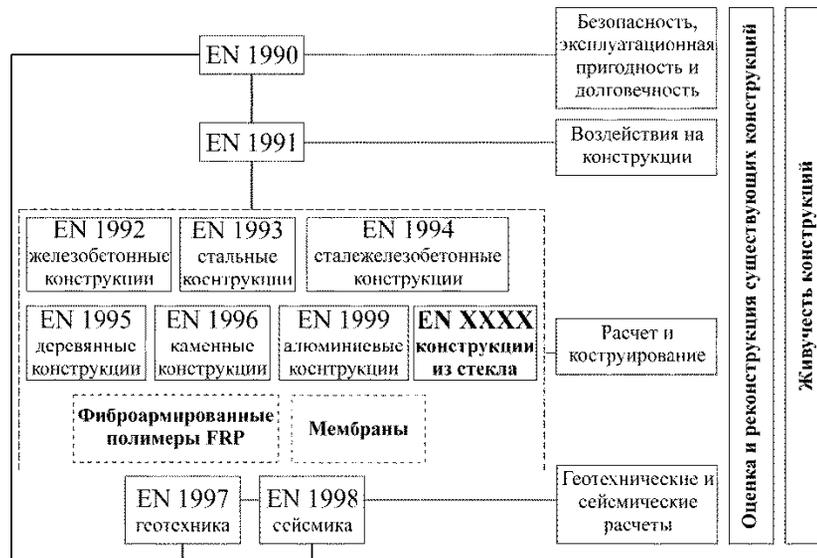


Рисунок 1. Новые элементы в системе Еврокодов второго поколения (EN – G2)
Figure 1. New elements in the second-generation Eurocodes (EN-G2)

Таким образом, совершенно ясно, что полная гармонизация Еврокодов (при полном исключении NDPs) является в настоящее время практически невозможной, но станет возможной тогда, когда отдельным странам, попросту, будет нечего сказать в дискуссии при голосовании очередного проекта EC2. При этом, если некоторые из NDPs могут быть просто исключены либо гармонизированы, то основная их часть потребует дальнейшего обсуждения, проведения дополнительных национальных исследований для их обоснования (например, как в случае со сталефибробетоном или FRP арматурой), 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 серьезное сопротивление со стороны, главным образом, практикующих инженеров, которые должны, как минимум, совершенствовать свои знания. Они утверждают, и не только в национальной практике, что теряют контроль над увеличивающимся количеством норм, которые становятся всё более насыщенными информацией и предлагают всё более сложные расчетные модели. Кроме того, практикующие инженеры (и, не только они) обвиняют Технические комитеты, разрабатывающие нормы в том, что нормативные документы становятся всё более “обнаученными” и теряют связь с инженерной практикой. Например, при разработке национальных строительных правил СП «Обследование и усиление железобетонных конструкций» специалисты, согласующие документ основным и единственным замечанием выявили его сложность, «обнаученность» и непригодность к практическому применению рядовым инженером.

Следует отметить, что усложнение расчетных моделей, вносимых в нормы при, в общем-то, благородных попытках проникнуть всё 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 без необходимости 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 [19], 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 2020 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] наиболее низкий 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 консервативным. По замыслу разработчиков норм [1, 17, 18], как подчёркивалось ранее, это дает возможность совмещать в одних нормах как простых, так и довольно сложных методов проверок предельных состояний.

Следует отметить, что данный концептуальный подход был применен ещё в начале 2000 годов при разработке первых национальных норм по проектированию железобетонных конструкций СНБ 5.03.01 [2]. Нормы СНБ 5.03.01 [2] совмещали как новые к тому времени деформационные методы расчетов, включая 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, содержавшиеся 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!». Необходимо отметить, что данный подход был сохранен и при разработке СП 5.03.01 [12].

Согласно общей концепции *fib* Model Code 2020, эффективные нормы должны объединять как простые, так 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., *predesign of a structure*), тогда как более сложные LOA IV и нелинейные модели – в случае проектирования или оценивания ответственных или существующих конструкций, особенно, когда встает вопрос о необходимости выполнения усиления.

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

Таким образом, реализация принципа “*Easy-of-Use*” в концепции *fib* Model Code предполагает:

- простоту и ясность изложения основных требований (принципов); короткие сжатые формулировки;

- взаимосвязь как отдельных положений нормы, так и норм и стандартов 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 преемственности нормативных документов (*Evolution, not Revolution*). При разработке нового поколения норм 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, главным образом, национальных норм любого уровня, что и было выполнено при разработке новой редакции СП 5.03.01.

После длительного перерыва основной итог современного состояния разработки второго поколения единых европейских норм подвели участники (в основном руководители целевых групп CEN 250) на конференции, которая прошла 25.05.2023 в Берлине. Применительно к ЕС 2 были сформулированы следующие основные изменения и достигнутые эффекты:

1. Внесенные положения основаны на физических моделях, максимально сокращено число эмпирических моделей; расчётные модели не зависят от вида конструктивного элемента, носят наиболее общий характер, включая детализацию для существующих конструкций; упрощены подходы к проектированию новых конструкций.

2. Общие, регулярно применяемые положения приведены в основной части нормы, а положения, касающиеся специальных элементов, материалов и методов - в Приложениях. Например, упрощенные проверки усталости приведены в основной части документа, а детальная верификация - в Приложении.

3. Включены разделы, относящиеся к проектированию мостов, которые ранее были приведены в отдельной части нормы. Теперь специфические требования включены в Приложение.

4. Включены разделы, относящиеся к проверкам трещиностойкости емкостных сооружений от вынужденных деформаций в раннем возрасте, ранее изложенные в отдельной части нормы.

5. Предложена новая концепция обеспечения долговечности (*Exposure Resistance Concept*) с учётом положений стратегии устойчивого развития ("*Green Concrete*")

Следует отметить, что при ближайшем рассмотрении полученный результат в виде нового поколения нормы, в основном, *не соответствует* поставленным целям и ожиданиям. Объединение различных частей в один документ не только не улучшило ситуацию с проектированием, но создало дополнительные неопределенности. Особенно это касается нормирования свойств «зеленого бетона» (для которого предлагается контролировать соответствие в возрасте 91 суток !); новой и совершенно запутанной концепции долговечности (учитывая то, что и предыдущая не была понята до конца...); моделей сопротивления срезу и местному срезу, базирующихся на положениях Теории критической трещины А. Muttoni и имеющих довольно узкие места, особенно в случае проектирования предварительно напряженных эле-

ментов (модель стала сложной в применении, требовать вычисления ряда дополнительных, слабо обоснованных параметров, что уже есть отступлением от принципа “*Easy to Use*”!)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное состояние разработки базовых международных нормативных документов, связанных с проектированием железобетонных конструкций (Кодекс-образец *fib* MC2020, prEN1992) характеризуется незавершенностью и наличием достаточно серьезных противоречий даже среди участников рабочей группы. Поступающие замечания ставят под сомнение возможность принятия, главным образом EC2, даже, как декларировано TC250, к 2028 году. Учитывая данное и ряд других обстоятельств, принятое решение о разработке национальной системы нормирования в строительстве, является верным и актуальным. При разработке национальных норм следует учитывать, при соответствующем анализе, передовой международный опыт, сконцентрированный в Кодексе-образце MC2020.

Разработанные СП 5.03.01 [12] в значительно большей мере соответствуют декларированным принципам *fib* Model Code 2020 и на современном этапе реализуют, в основном, большинство базовых положений кодекса-образца, учитывая, при этом, национальные инженерные традиции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Walraven J.* Codes of Practice: Burden or Inspiration? – “High Tech concrete : Where technology and Engineering meet” // *fib Symposium in Maastricht, June 2017*, p. XIII – XXIV.
2. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. Минск, МАиС РБ, 2003. 139 с.
3. EN 1990:2002. Basis of Structural Design. CEN, Brussels, 2002. 87 p.
4. ISO 2394: General Principles on Reliability for Structures. 1998. 73 p.
5. EN 1992-1-1:2004. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004. 225 p.
6. ТКП EN 1992-1-1-2009 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий. Минск, МАиС РБ, 2010. 191 с.
7. ТКП EN 1992-1-1-2009* Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий. Минск, МАиС РБ, 2015. 207 с.
8. *Пецольд Т. М., Рак Н.А., Тур В.В.* Опыт внедрения в Республике Беларусь европейских нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций // *Строительная наука и техника*. 2012. № 2. С. 94–96.
9. *Рак Н.А., Пецольд Т.М., Тур В.В.* Проектирование конструкций из бетона: Еврокоды и национальные нормы // *Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям Сборник докладов Международной научно-практической конференции (г. Москва, 30 ноября 2018 г.) / МГСУ; Москва: МГСУ, 2018. С. 367-376*
10. *fib Model Code for Concrete Structures 2010*. – Berlin, Ernst&Sohn, 2013. 434 p.
11. Изменение № 2 к ТКП EN 1992-1-1-2009* Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий. Минск, МАиС РБ, 2019. 90 с.
12. СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции / М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 236 с.
13. СН 2.01.01-2022. Основы проектирования строительных конструкций. / М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2022. – 60 с.
14. prEN 1992-1-1:2021 Eurocode 2: Design of concrete structures –Part 1-1: General rules –Rules for buildings, bridges and civil engineering structures. – CEN, Brussels, 2021. 383 p.
15. EN 1992-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 2: Concrete bridges – Design and detailing rules. CEN, Brussels, 2005. 95 p.
16. EN 1992-3:2006 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 3: Liquid retaining and containment structures. CEN, Brussels, 2006. 23 p.
17. *Ignatiadis A., Fingerloos F., Hegger J., Teworte F.* Eurocode 2 – analysis of National Annex – Structural Concrete, № 1, 2015, DOI: 10.1002/suco.201400060
18. *Goodchild Ch.* Eurocodes revision – an update / *Concrete*, April 2016, - p.p. 53-54.
19. SIA 262:2003, Swiss Standard: Concrete Structures – SIA, Zurich, 2004. – 90 p.

REFERENCES

1. Walraven J. Codes of Practice: Burden or Inspiration? – “High Tech concrete: Where technology and Engineering meet”. fib Symposium in Maastricht, June 2017, p. XIII - XXIV.
2. SNB 5.03.01-02. Concrete and reinforced concrete structures. Minsk, MAiS RB, 2003. 139 p.
3. EN 1990:2002. Basis of Structural Design. CEN, Brussels, 2002. 87 p.
4. ISO 2394: General Principles on Reliability for Structures. 1998. 73 p.
5. EN 1992-1-1:2004. Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004. 225 p.
6. TCP EN 1992-1-1-2009 Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1–1. General rules and regulations for buildings. Minsk, MAiS RB, 2010. 191 p.
7. TCP EN 1992-1-1-2009* Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1–1. General rules and regulations for buildings. Minsk, MAiS RB, 2015. 207 p.
8. Petsold T. M., Rak N.A., Tur V.V. Experience of implementation in the Republic of Belarus of European normative documents on the design of reinforced concrete structures. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2012. No. 2. P. 94–96.
9. Rak N.A., Petsold T.M., Tur V.V. Design of concrete structures: Eurocodes and national standards. Modern methods for calculating reinforced concrete and stone structures for limit states Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference (Moscow, November 30, 2018). MGSU; Moscow: MGSU, 2018, pp. 367-376
10. fib Model Code for Concrete Structures 2010. - Berlin, Ernst & Sohn, 2013. 434 p.
11. Amendment No. 2 to TKP EN 1992-1-1-2009* Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1–1. General rules and regulations for buildings. Minsk, MAiS RB, 2019. 90 p.
12. SP 5.03.01-2020. Concrete and reinforced concrete structures. Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus. Minsk, 2020. 236 p.
13. SN 2.01.01-2022. Fundamentals of design of building structures. Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus. Minsk, 2022. 60 p.
14. prEN 1992-1-1:2021 Eurocode 2: Design of concrete structures –Part 1-1: General rules –Rules for buildings, bridges and civil engineering structures. CEN, Brussels, 2021. 383 p.
15. EN 1992-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 2: Concrete bridges - Design and detailing rules. CEN, Brussels, 2005. 95 p.
16. EN 1992-3:2006 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 3: Liquid retaining and containment structures. CEN, Brussels, 2006. 23 p.
17. Ignatiadis A., Fingerloos F., Hegger J., Teworte F. Eurocode 2 - analysis of National Annex - Structural Concrete, No. 1, 2015, DOI: 10.1002/suco.201400060
18. Goodchild Ch. Eurocodes revision – an update. *Concrete*, April 2016. Pp. 53-54.
19. SIA 262:2003, Swiss Standard: Concrete Structures - SIA, Zurich, 2004. 90 p.