

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОСТОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Дорофеев В.С., *д.т.н., профессор*, Заволока Ю.В., *доцент*,
Заволока М.В., *к.т.н., профессор*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Деформационная модель в качестве основного метода расчета бетонных и железобетонных конструкций принята в Украине 01.06.2011 г. с введением в действие ДБН В.2.6-98:2009 [25] и ДСТУ В.2.6-156:2006 [26] и связана с реализацией программы перехода на Еврокоды.

Деформационная модель представляет собой развитие «классического» метода расчета железобетонных элементов в упругой постановке, только вместо диаграмм бетона и арматуры, определяемых законом Гука, используются полные диаграммы деформирования бетона и арматуры, охватывающие неупругую работу бетона и арматуры [1].

Нелинейная деформационная модель включает: уравнения равновесия, условие деформирования в виде гипотезы плоских сечений и полные диаграммы деформирования бетона и арматуры, устанавливающие связь между напряжениями и относительными деформациями.

Расчет по новым нормам позволяет проследить процесс последовательного изменения напряжений в бетоне и арматуре по мере изменения деформаций сечения. Отличительная особенность деформационной модели состоит в том, что она позволяет оценить конструктивную пригодность конструкции на всех этапах ее работы по мере возрастания нагрузки от нуля до разрушения [13].

Деформационная модель дает возможность на единой методологической основе вести расчет любых бетонных и железобетонных элементов с различной конфигурацией поперечного сечения, с различным расположением арматуры в сечении, при различном характере внешних нагрузок и воздействий. Такая модель позволяет в полной мере учитывать упругопластические свойства бетона, арматуры и оценивать фактическое напряженно-деформированное состояние железобетонного элемента [1 - 6, 10, 16, 20].

Однако, применение для расчета сечений деформационной модели требует итерационного поиска решения нелинейной системы уравнений, что затрудняет процесс вычислений. Кроме того, такой подход не

всегда может привести к истинному решению задачи вследствие проблемы организации сходящегося итерационного процесса и возможности неединственности решения [8]. Применение деформационных моделей, повышая точность расчета, одновременно резко увеличивает и его трудоемкость [5]. Процедура расчета нормальных сечений стержневых железобетонных элементов с использованием неупругой деформационной модели практически невыполнима «вручную». Поэтому расчет по деформационной модели необходимо производить по специальным программам на персональных компьютерах. Следует отметить, что применение компьютерных программ, увеличивая эффективность работы проектировщика¹, практически отдаляет инженера от физического понимания работы конструктивных систем и отдельных элементов, что может привести к принятию неправильных решений и к ошибкам в результатах. Необходимо разработать такие расчетные модели и методы расчета, которые позволяли бы инженеру понимать и оценивать физический характер работы железобетонных элементов и железобетонных конструктивных систем в целом [5].

В настоящее время используемые программные комплексы для расчета железобетонных конструкций реализуют один и тот же метод – метод конечных элементов. Однако, при этом в разных программах используют различные подходы к моделированию конструктивных решений железобетонных конструкций, что может привести к различным результатам. Доктор технических наук, профессор А.С.Залесов (НИИЖБ им. Гвоздева), кандидат технических наук С.А.Зенин (ОАО «НИЦ «Строительство») предлагают разработать нормативные рекомендации по конечно-элементному моделированию железобетонных конструкций, содержащие унифицированные правила моделирования. Рекомендуют разрабатываемые программные продукты в области проектирования железобетонных конструкций представлять на рассмотрение не только в официальные органы сертификации, но и разработчикам нормативных документов [7].

Для широко распространенных железобетонных элементов с простой формой поперечного сечения (прямоугольной, тавровой, двутавровой) можно разрешить расчет прочности вести по упрощенной методике (как это принято в России), т.е. с применением метода расчета по

¹ 1). Производительность труда проектировщиков в результате применения ЭВМ возрастает на 30 – 50 %;

2. Автоматизированные процессы проектирования ускоряются в 3-4 раза;

3) Основной эффект (50-60 % общего эффекта использования ЭВМ) достигается в строительстве за счет снижения расходов бетона, арматуры, конструкционного металла, что обеспечивается применением расчетов на ЭВМ [22].

предельным усилиям, принятому в СНиП 2.03.01-84*, учитывающему условно пластическую работу бетона и арматуры. Возможность осуществления такого предложения подтверждается сопоставлением результатов автоматизированных расчетов по предельным состояниям нормальных сечений железобетонных конструкций при изгибе и внецентренном сжатии, выполненных в России по новым нормам с использованием неупругой деформационной модели и по СНиП 2.03.01-84*.

Цель таких автоматизированных расчетов и состояла в том, чтобы установить допустимую область применения метода предельных усилий, т.е. положений СНиП 2.01.03-84*. Известно, что отечественная нормативная база (до введения новых норм) в течение длительного срока использования обеспечивала необходимый уровень безопасности и надежности зданий и сооружений.

Автоматизированные расчеты (с использованием программы АРКАН-ПК для IBM-совместимых компьютеров) по предельным состояниям нормальных сечений железобетонных конструкций при изгибе и внецентренном сжатии, выполненные в России по неупругой деформационной модели и по указаниям СНиП 2.03.01-84*, дали близкие результаты. Отклонения не превышали 2 % при оценке прочности и составляли 3-5 % для показателей второй группы предельных состояний [9].

Численные исследования (с использованием программного комплекса STARK ES (ЕВРОСОФТ, Россия) по предельным состояниям нормальных сечений железобетонных конструкций при изгибе таврового сечения, косом изгибе элемента квадратного сечения и внецентренном сжатии элемента асимметричного сечения, выполненные в России по неупругой деформационной модели и по указаниям СНиП 2.03.01-84* дали также близкие результаты. Авторы исследований считают, что область применения предельных усилий для анализа сечений в предельном состоянии и определения количества продольной арматуры из условия прочности сечений может быть более широкой, чем предусмотрено в новых нормах России [8]¹.

В результате, в новых нормах России для расчета железобетонных элементов с простой формой поперечного сечения (прямоугольной, тавровой) с сосредоточенным расположением продольной арматуры на действие изгибающих моментов и продольных сил был принят метод расчета по предельным усилиям, представленный в СНиП 2.03.01-84*,

¹ СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 53с.

но с дополнительными усовершенствованиями в части определения граничного значения высоты сжатой зоны и учета продольного изгиба [3].

Анализ многочисленных новых разработок по расчету прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил и крутящих моментов, проведенный в России, показал, что разработки в этой области еще не достигли такого уровня, чтобы могли быть приняты в качестве нормативных методов расчета. Поэтому такие расчеты в новых нормах России (СНиП и Свод Правил) приняты в качестве нормативных документов, содержащихся в СНиП 2.03.01-84* и предложенные в свое время М.С.Боришанским и Н.Н.Лессиг, но с рядом дополнений и усовершенствований, позволяющих получить более универсальный подход к расчету [4].

Созданный советской инженерной школой под руководством крупного ученого XX века А.А.Гвоздева¹ метод расчета по предельным состояниям, введенный 1 августа 1955 года, широко использовался в практике многие годы и получил признание во всем мире. Вначале он был положен в основу стандарта СЭВ, распространявшегося на страны Восточной Европы. Затем спустя несколько десятилетий этот метод был признан в США и ведущих промышленных странах Европы. В настоящее время метод предельных состояний используется в системе европейских норм (Еврокод 2 (EC2S)), в стандартах ИСО, в нормах США, Канады, где он получил название «метод частных коэффициентов надежности» [11].

Метод предельных состояний является простым и надежным средством анализа при простых геометрических формах сечения и усложняется при сложной конфигурации сечения и при косом изгибе [6].

Отечественные нормы традиционно сопровождалась подготовленными (обычно при участии разработчиков норм) инструкциями, руководствами, пособиями и рекомендациями для проектировщиков с при-

¹ А.А.Гвоздев – профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, Герой Социалистического труда, награжден многими орденами и медалями, действительный член Академии строительства и архитектуры СССР, получил многие международные награды, в том числе медаль Фрейсине – высшую награду Международной федерации по предварительно напряженному железобетону.

За доказательство двух фундаментальных теорем о предельной нагрузке Бельгийским инженерным обществом А.А.Гвоздеву в 1967 г. была присуждена медаль Гюстава Тразенстора, которой награждаются выдающиеся ученые мира.

мерами расчетов и подробными разъяснениями положений СНиП и стандартов.

Достоинство отечественных нормативных документов и, в частности, норм по расчету и конструированию бетонных и железобетонных конструкций [27] – их краткость, ясность и четкость изложения, и они полностью обеспечивали безопасность строительных объектов, а также достаточную юридическую защиту инженеров [17, 21].

При разработке европейских норм проектирования конструкций из бетона (Eurocode for Concrete Structures – Еврокод-2) были учтены научные разработки и опыт ученых различных стран, в том числе советских ученых.

Как уже отмечалось, в Еврокоде 2 (EC2) используется как основной принцип проектирования - метод предельных состояний, а также используется предложенный в конце 40-х г.г. XX века А.А.Гвоздевым и А.Р.Ржаницыным и развитый в трудах многих советских ученых метод расчета по предельному равновесию. Если иметь в виду железобетонные конструкции, то именно два указанных метода и сегодня определяют новизну и глубину подхода к проектированию конструкций [14, 15].

Необходимо также отметить, что диаграммная методика расчета стержневых конструкций была разработана в бывшем Советском Союзе еще в 1987 г. (в работе¹ по расчету деформаций и прочности и в работе² по расчету прочности) [12, 13].

В Еврокоде 2 применена криволинейная (параболическая) эпюра напряжений в бетоне сжатой зоны в момент, непосредственно предшествующий разрушению. Однако, это малосущественно влияет на уточнение расчетной несущей способности. П.Л. Пастернак в 40-е годы прошлого века доказал, что замена криволинейной эпюры на прямоугольную (принятую в отечественных нормах) приводит к незначительной погрешности (не более 2 %) в определении величины предельного момента. Но в то же время, такая замена дает большое преимущество в отношении упрощения расчетных формул и возможности распространения их на любые симметричные сечения.

¹ Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Сапожников М.А. К построению методики расчета стержневых элементов на основе диаграмм деформирования материалов. В сборнике НИИЖБ «Совершенствование методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций». – М., 1987. – С. 5-23.

² Байков В.Н., Додонов М.Н., Расторгуев Б.С. и др. Общий случай расчета прочности элементов по нормальным сечениям // Бетон и железобетон. – 1987. - № 6. – С. 16-18.

Еврокод-2 создан с использованием совместной концепции Performance based design (PBD) – «Концепция проектирования на основе критериев поведения или критериев эксплуатации». Впервые концепция PBD появилась в США в конце 1970-х годов. Затем, в середине 1990 г. ее стала принимать Международная организация по стандартизации ISO. В нормативных документах по проектированию нового типа на основе концепции поведения PBD устанавливаются только параметры поведения строительных сооружений в ходе их эксплуатации или указываются новые цели, которые должны быть удовлетворены или достигнуты, но не должно предписываться, как проектировать, строить и какие материалы применять [19].

Проектировщики привыкли к старой концепции prescriptive (или предписывающего) подхода, когда в нормативных документах приводится описание конструкций, предписываются методы их расчета и свойства используемых материалов.

Комплект Еврокодов включает в себя два базовых основополагающих документа. Первый – определяет общие принципы проектирования (EC0), второй – нагрузки и воздействия на конструкции (EC1). Затем следует восемь стандартов на проектирование: стандарты (EC2) – на проектирование конструкций из бетона; (EC3) – стальных конструкций; (EC4) – композитных стальных и бетонных конструкций; (EC5) – каменных конструкций; (EC6) – деревянных конструкций; (EC7) – геотехническое проектирование; (EC8) – сейсмостойких конструкций; (EC9) – алюминиевых конструкций.

Еврокод-2 (EC2) в пакете с относящимся к нему стандартами на материалы и на методы испытаний, включая национальные приложения (NA), содержит в себе более 5 тыс. страниц текста [18, 19].

27 стран, входящих в Европейский Союз, вот уже почти в течение четырех десятилетий разработок и согласований и тщательной подготовки, до конца 2012 года обязаны полностью отказаться от своих национальных норм и перейти на Еврокоды.

Каждая страна Европейского Союза в процессе перехода на Еврокод-2 (EC2) помимо формирования текста Национального приложения проверяла применимость новых документов к особенностям своих стран, в том числе возможность использования автоматизированных методов проектирования.

Вступление Украины в ВТО вызвало необходимость внедрения европейских норм во всех отраслях экономики и, в частности, в строительной индустрии.

Непосредственное использование комплекта Еврокодов в Украине без определенной корректировки или гармонизации невозможно.

Для адаптации Еврокодов к украинским условиям строительства необходимо создать Национальные приложения, отражающие специфику строительного проектирования в стране с учетом природных условий, сырьевой базы, производственно-технологических и иных условий. При этом следует там, где это возможно, использовать данные и требования отечественных норм и стандартов, также учесть возможности использования автоматизированных методов проектирования.

Например, в Германии была создана специальная комиссия, которая проверяла соответствие нового документа действующему до этих пор документу DIN 1045-1, и авторы действующих компьютерных программ проектирования, например, Dіcad и Starcon, осуществляли опытное проектирование некоторых конструкций и, в результате выполненных проверок, внесли в них соответствующие коррективы [19].

В Украине также необходимо предусмотреть проведение сравнительного проектирования основных типов зданий и сооружений по отечественным нормам и Еврокодам.

В настоящее время в Украине нет необходимого информационного обеспечения по реальному внедрению в проектирование и строительство изданных ДБН [25] и ДСТУ [26].

В России проведена актуализированная редакция СНиП 52-01-2003, которая в достаточной мере гармонизируется с аналогичными международными европейскими стандартами и нормативными документами (ЕС0, ЕС2, ЕС4).

В Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете с 2011 г. начал осуществляться уникальный издательский проект-выпуск серии руководств к европейским строительным стандартам под названием «Издательство в МГСУ: Еврокоды». Проект выполняется в соответствии с лицензионными договорами с британским издательством «Томас Телфорд» и Институтом стандартов Великобритании (BSI).

МГСУ издал в 2011 году на русском языке 719-ти страничное «Пособие для студентов строительных специальностей» - выдержки из строительных Еврокодов, разработанное BSI.

В Пособии изложен материал об особенностях и методах проектирования на основе Еврокодов (ЕС0) – (ЕС9).

Также издано 6 руководств для проектировщиков.

В серию вошли выполненные в НИУ МГСУ переводы с английского языка (с научным редактированием известных ученых не только МГСУ, но и других университетов) изданных в Великобритании посо-

бий, написанных известными английскими учеными, специалистами и авторами из других европейских стран.

Изданная серия руководств по применению Еврокодов представляет всестороннюю поддержку проектировщикам в виде инструментов проектирования, указаний по выбору наиболее подходящих методов расчета и, главное, примеров с решениями¹.

При переходе на Еврокоды было бы логичным содружество украинских специалистов с российскими, поскольку обе страны пользовались общими нормативными документами по проектированию и строительству зданий и сооружений, и проблемы применения Еврокодов – идентичны.

Важно, чтобы Украина занималась не простым копированием Еврокодов, а чтобы украинские специалисты принимали более широкое участие в их разработке и совершенствовании.

Адаптация отечественных норм и Еврокодов потребует нескольких лет кропотливой научной работы по сглаживанию противоречий и обеспечению экономического и безопасного проектирования по канонам европейских норм.

Выводы

1. Анализ проведенного исследования показал, что существующие национальные нормы, которые рекомендуют вести расчет железобетонных конструкций по деформационной модели, необходимо переработать, с тем, чтобы простые железобетонные конструкции можно было считать по предельным состояниям.

2. При существующем положении, когда нет пособий, нет специальных программных комплексов, облегчающих процедуру проектирования и снижающих возможность получения ошибочных результатов, представляется разумным использовать нелинейные расчеты железобетона в ограниченном и упрощенном виде, а также в тех случаях, когда они действительно необходимы, как это принято в России [5].

3. Опыт англичан и финнов показал, что, помимо технических проблем перехода на Еврокоды, важное значение имеет образовательный процесс, требующий немалых средств и времени для того, чтобы практикующие и будущие специалисты могли ориентироваться в этой необычной для них системе нормирования [14].

4. Для качественного осуществления научных разработок в области строительной науки и для развития современной нормативной базы

¹ Журнал «Технологии строительства», Москва, 2013. - № 3. – С. 119.

проектирования железобетонных конструкций в Украине необходима реальная финансовая поддержка государства.

Summary

The article is devoted to problems of application of the Eurocodes in practice of designing of buildings and structures in Ukraine.

Литература

1. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Состояние и перспективы развития нормативных документов в области бетона и железобетона // 1-я Всероссийская конференция по бетону и железобетону. Бетон на рубеже третьего тысячелетия. Москва 9-14 сентября 2001 г. Материалы конференции. В трех книгах. Книга 1-я. Пленарные доклады. М.: 2001 – С. 112-120.
2. Звездов А.И., Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Чистяков Е.А. О новых нормах проектирования железобетонных и бетонных конструкций // Бетон и железобетон, 2002, № 2. – С. 2-6.
3. Звездов А.И., Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Чистяков Е.А. Расчет прочности железобетонных конструкций при действии изгибающих моментов и продольных сил по новым нормативным документам // Бетон и железобетон, 2002, № 2. – С. 21-25.
4. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. Расчет прочности железобетонных конструкций при различных силовых воздействиях по новым нормативным документам // Бетон и железобетон, 2002, № 3 – С. 10-13.
5. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Настоящее и будущее расчета железобетона // Бетон и железобетон, 2005, № 4. – С. 3 – 6.
6. Звездов А.И., Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Чистяков Е.А. 75 лет нормам проектирования бетонных и железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство, 2002, № 9. – С. 10 – 13.
7. Залесов А.С., Зенин С.А. Фактическое состояние и перспективные направления развития нормативной базы железобетона // Промышленное и гражданское строительство, 2013, № 1. – С. 8 - 10.
8. Симбиркин В.Н., Матковский В.В. К расчету напряженно-деформированного состояния и прочности элементов железобетонных конструкций по нормальным сечениям // Строительная механика и расчет сооружений, 2010, № 4. – С. 20 – 26.
9. Паньшин Л.Л., Крашенинников М.В. Оценка эффективности неупругой деформационной модели при расчете нормальных сечений // Бетон и железобетон, 2003, № 3. – С. 19 – 22.
10. Тамразян А.Г. Особенности расчета железобетонных элементов прямоугольного сечения согласно EC2 // Бетон и железобетон, 2012, № 1. – С. 19 – 23.
11. Райзер В.Д. Развитие методов нормирования расчетов конструкций // Строительная механика и расчет сооружений, 2009, № 3. – С. 66 – 73.

12. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. О диаграммной методике расчета деформаций стержневых элементов и ее частных случаях // Бетон и железобетон, 2012, № 6. – С. 20 – 27.
13. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство, 2013, № 1. – С. 28 – 30.
14. Алмазов В.О. Проблемы использования Еврокодов в России // Промышленное и гражданское строительство, 2012, № 7. – С. 36 – 38.
15. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евро-нормам. – М.: Издательство АСВ, 2007. – 215 с.
16. Бамбура А. К оценке прочности железобетонных конструкций на основе деформационного подхода и реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры // 1-я Всероссийская конференция по бетону и железобетону. Бетон на рубеже третьего тысячелетия. Москва 9-14 сентября 2001 г. Материалы конференции в трех книгах. Книга 2-я. Секция 1. Железобетонные конструкции зданий и сооружений. Методы расчета. – М.: 2001. – С. 750-757.
17. Файнер М.Ш. Науково-практичний коментар до нових нормативних документів із проектування та виробництва залізобетонних конструкцій (у порядку обговорення) // Будівництво України, 2011, № 5. – С. 26 – 28.
18. Ведяков И.И. Принципы актуализации строительных норм и правил с учетом европейских стандартов // Промышленное и гражданское строительство, 2012, № 3. – С. 6 – 7.
19. Грамбовецкий В.П. Международные стандарты проектирования в строительстве // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2012, № 10. – С. 48 – 51.
20. Рыбнов Е.И., Санжаровский Р.С., Звездов А.И. О национальных стандартах по железобетону и путях их совершенствования // Бетон и железобетон, 2012, № 2. – С. 19 – 20.
21. Никонов Н.Н., Мельчаков А.П., Рудин Б.Н. О безопасности сооружений // Промышленное и гражданское строительство, 2013, № 3. – С. 49 – 52.
22. Заикин В.Г., Валуйских В.П. Статус, роль и значение компьютерных расчетов строительных конструкций в проектировании // Промышленное и гражданское строительство, 2012, № 5. – С. 42 – 44.
23. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. К.: Минстрой Украины, 2006.
24. ДСТУ БВ.1.2-3:2006. Прогнби и перемещения. Требования проектирования. К.: Минстрой Украины, 2006.
25. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. К.: Минрегионстрой Украины, 2011. – 71 с.
26. ДСТУ БВ.2.6-156:2010. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования. К.: Министерство регионального развития и строительства Украины, 2011. – 118 с.
27. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. М., 1989.