

СРАВНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ЕВРОКОДА И ДБН ПО РАСЧЁТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

© Панюков С.С., 2011

Установлено, что рекомендации ДБН с учётом допускаемого Еврокодом национального выбора ряда параметров практически не выходят за рамки EN 1998-1, а в части оценки условий сопротивления конструкций и ограничения этажности железобетонных и стальных зданий они более жестки. Сделаны предложения по корректировке отдельных положений ДБН и СНиП 2.03.01-84, в частности по использованию для расчёта железобетонных элементов трёхмерной области их несущей способности в осях: осевое усилие – изгибающий момент – поперечная сила.

Ключевые слова: железобетон, сейсмика, нормы проектирования.

It is set that recommendations of DBN taking into account the national choice of row of parameters assumed by an Eurocode practically keep in scopes of EN 1998-1, and in the part of estimation of terms of constructions resistance and limitation of storeyedness of reinforced-concrete and steel building they are more hard. Suggestions are done on adjustment of separate positions of DBN and SNiP 2.03.01-84, in particular on the use for the calculation of reinforced concrete elements of three-dimensional area of their bearing strength in axes: axial effort – flexion moment – transversal force.

Key words: reinforced concrete elements, seismic, building standards.

Еврокод 8: Проектирование сейсмостойких конструкций – EN 1998-1: 2004 (E) содержит 220 страниц машинописного текста с немногочисленными иллюстрациями и состоит из 10 разделов с тремя приложениями [1]:

1. Общие сведения – 25 с.
2. Требования для выполнения и соответствующие критерии – 5 с.
3. Грунтовые условия и сейсмические воздействия – 10 с.
4. Проектирование зданий – 32 с.
5. Специальные правила для бетонных зданий – 58 с.
6. Специальные правила для стальных зданий – 24 с.
7. Специальные правила для составных сталебетонных зданий – 28 с.
8. Специальные правила для деревянных зданий – 7 с.
9. Специальные правила для каменных зданий – 9 с.
10. Виброизоляция основания – 10 с.

Приложение А. Спектр реакции упругого перемещения – 1 с.

Приложение В. Определение уровня перемещения для нелинейного статического анализа (анализа предельной прочности) – 5 с.

Приложение С. Проектирование плит из составных сталебетонных балок в узлах соединения балок с колоннами в каркасах, сопротивляющихся изгибающим моментам – 10 с.

Главной особенностью Еврокода является его общий рекомендательный характер, позволяющий разработчикам выбирать способ расчёта и приёмы конструирования, принимая при этом ответственность на себя. Наши нормы [2] более конкретны, лаконичны (содержат 34 с. текста, исключая раздел 4 – транспортные сооружения и раздел 5 – гидротехнические сооружения, и 9 приложений на 28 с.) и, чаще всего, регламентируют те или иные действия расчётчика и конструктора, снимая тем самым с него ответственность, если он соблюдает нормы.

Рекомендации по организации объёмно-планировочных решений идентичны. Предпочтительны простые планы с равномерным распределением изгибных жесткостей и масс в плане и по высоте. При сложных планах устраивают антисейсмические швы шириной не менее суммы прогибов рядом стоящих частей здания при их колебаниях в антифазе в месте возможного соударения.

Как правило, используют пространственные расчётные схемы. Для простых в плане зданий допускается расчёт плоских рам. Консольно-заменяющая расчётная схема, сохранённая в ДБН, не используется.

Как и в ДБН, при разработке железобетонных и стальных конструкций предпочтение отдают разрушению в зонах, где возможны пластические деформации материалов, т. е., как правило, в пролётах, где преобладают изгибающие моменты.

Большое внимание уделено учёту диссипативных свойств конструкции (рассеяние энергии за счёт пластических деформаций), однако, как это сделать конкретно расчётчик решает сам.

Основная цель Еврокода – установить ряд гармонизированных технических правил для проектирования строительных работ, которые на первом этапе будут оставаться в силе альтернативе национальным правилам среди государств-членов Евросоюза, и, в конечном счёте, будут замещать их.

При этом защищается человеческая жизнь, ограничивается опасность, конструкции, важные для обеспечения гражданской защиты, остаются действующими.

Еврокод служит как вспомогательный документ:

- средством для подтверждения соответствия работ по строительству зданий и гражданских сооружений важным требованиям Директивы Совета 89/106/ЕЕС, в частности, Важнейшему Требованию № 1 – Механическое сопротивление и устойчивость и Важнейшему Требованию № 2 – Безопасность при пожаре;

- основой для утверждения контрактов на строительные работы и связанные с этим инженерные услуги;

- рамками для написания гармонизированных технических спецификаций на строительные продукты (ENS и ETAs).

Еврокод даёт общие правила строительного проектирования для повседневного использования при проектировании целых конструкций и их компонентов традиционной и инновационной природы. Необычные формы конструкций или проектных условий конкретно не рассмотрены и дополнительная экспертиза в таких случаях будет необходима для проектанта.

Национальный выбор допускается EN 1998-1 в статьях:

1.1.2.(7). Информативные Приложения А (Спектр реакции упругого перемещения) и В (Определение уровня перемещения для нелинейного статического анализа (анализа предельной прочности)).

2.1(1)P. Период повторяемости сейсмического воздействия.

3.1.1(4); 3.1.2(1); 3.2.1(1),(2),(3); 3.2.1.(4),(5); 3.2.2.1(4); 3.2.2.2(1)P; 3.2.2.3(1)P; 3.2.2.5(4)P. Ряд параметров сейсмического воздействия.

4.2.3.2(8). Определение центра жёсткости и радиуса кручения в многоэтажных зданиях.

4.2.4(2)P. Величина ϕ для зданий. 4.2.5(5)P. Показатель важности (ответственности) γ_I для зданий.

4.3.3.1(4). Решение о применении нелинейных методов расчёта.

4.4.3.2(2). Уменьшение ν для перемещений в предельном состоянии.

5. Частные показатели материала, армирование и размеры поперечных сечений рёбер, балок, фундаментов.

7. То же, для стале-бетонных зданий.

9. Частные показатели материала, размеры поперечных сечений, этажность, максимальная площадь углублений в плане для каменных зданий.

10.3(2)P. Коэффициент увеличения сейсмических перемещений для устройств сейсмоизоляции.

Разделы 6 и 8 опущены, так как не касаются железобетонных конструкций.

1. Общие сведения

К EN 1998-1 имеются дополнения: EN 1998-2 – требования к мостам, EN 1998-3 – требования для сейсмической оценки и реконструкции существующих зданий, EN 1998-4 – требования к силосам, резервуарам и трубопроводам, EN 1998-5 – требования к фундаментам, удерживающим конструкциям и геотехническим аспектам, EN 1998-6 – требования к башням, мачтам и дымовым трубам.

Дополнительные термины в EN 1998-1:

Показатель поведения, используемый при проектировании для уменьшения сил, полученных из линейного расчёта, для оценки нелинейной реакции конструкции. В ДБН эту функцию выполняет коэффициент k_1 , учитывающий неупругие деформации и локальные повреждения элементов здания (табл. 2.3).

Метод проектной нагрузки, при котором элементы системы выбираются для рассеивания энергии при сильных деформациях, другие структурные элементы предусматриваются достаточной прочности, так, чтобы выбранные средства рассеивания энергии могут оставаться в работоспособном состоянии. В ДБН эта идея отражена в п. 1.2.5. ... – создавать возможности развития в определённых элементах конструкций допустимых неупругих деформаций....

Диссипативная конструкция, способна рассеивать энергию путём упругого гистерезисного поведения и/или путём других механизмов (у нас такие механизмы относят к так называемой активной сейсмозащите зданий).

Диссипативные зоны предварительно определённые части диссипативной конструкции, в которой способность к диссипации энергии, главным образом, локализована (например, при образовании пластических шарниров в неразрезных конструкциях).

Динамически независимый элемент непосредственно подвергается движению грунта и его реакция не зависит от реакции смежных элементов или конструкций.

Показатель важности связан с последствиями разрушения конструкции. В ДБН его функцию выполняет коэффициент ответственности сооружений k_2 (табл. 2.4).

Не-диссипативная конструкция спроектирована для особой сейсмической ситуации без учёта нелинейного поведения материала.

Неконструктивный элемент архитектурный, механический или электрический элемент, который из-за недостатка прочности или неприсоединения к конструкции, не рассматривается при сейсмическом проектировании как несущий элемент. Используется и в ДБН.

Основные сейсмические элементы промоделированные в расчёте на сейсмическую проектную ситуацию и запроектированные для сопротивления землетрясению. Используются и в ДБН.

Второстепенные сейсмические элементы, прочностью и жёсткостью которых против сейсмических воздействий пренебрегают. Используются и в ДБН.

По разделу 1 Общие сведения в ДБН нет пунктов, выходящих за рамки EN 1998-1.

2. Требования для выполнения и соответствующие критерии

По разделу 2. Требования для выполнения и соответствующие критерии в ДБН нет пунктов, выходящих за рамки EN 1998-1. Однако, в ДБН отсутствует показатель поведения q и связанная с ним классификация пластичности, характеризующие баланс между сопротивлением системы и её способностью рассеивать энергию.

3. Грунтовые условия и сейсмические воздействия

Принципиально в качественном виде методики оценки грунтовых условий и сейсмических воздействий в обоих документах идентичны, хотя количественные значения ряда параметров могут отличаться, поскольку для них EN 1998-1 допускает национальный выбор.

4. Проектирование зданий

Руководящие принципы следующие:

- структурная простота;
- однородность, симметрия и статическая неопределённость;
- сопротивление и жёсткость в двух направлениях;
- сопротивление и жёсткость кручению;

- поведение диафрагмы в уровне этажа;
- отвечающий требованиям фундамент.

Все эти принципы заложены и в ДБН.

В целом в качественном виде рекомендации большинства пунктов в обоих документах идентичны, хотя количественные значения ряда параметров могут отличаться, поскольку для них EN 1998-1 допускает национальный выбор.

Основные отличия заключаются в следующем:

- в ДБН отсутствует нелинейный статический (слабых толчков) анализ п. 4.3.3.4.2;
- условия сопротивления (несущей способности) в EN 1998-1

$$E_d \leq R_d, \quad (1)$$

такое условие было в наших старых нормах СНиП II-7-81* [3] в ДБН оно изменено введением коэффициента γ

$$\begin{aligned} \Sigma P / R_p &\leq g, \\ \Sigma Q / R_q &\leq g. \end{aligned} \quad (2)$$

Значения γ равны 0,8; 0,7 и 0,6 для сейсмичности площадки 7, 8 и 9 баллов соответственно.

Последние исследования [4, 5] подтверждают правильность введения коэффициента γ с его значениями меньше 1. До настоящего времени нормы [6] допускали расчёт несущей способности элементов методом суперпозиции, т.е. на отдельное воздействие осевого усилия, поперечной силы и изгибающего момента, хотя на реальные элементы сооружений действуют все три усилия одновременно. Ранее использовали область несущей способности только для пары N – M, в работах [4, 5] показано, что такая область существует и для пары N – Q, в работе [5] она определена и для пары M – Q, а также предложена область несущей способности для всех трёх усилий N – M – Q. Анализ области несущей способности для всех трёх усилий N – M – Q показывает, что при наличии усилий M и Q элемент не может воспринимать осевое усилие, равное по значению при его одиночном действии. Иными словами, если имеют место M и(или) Q, то несущую способность по N необходимо уменьшить в соответствии с областью несущей способности для всех трёх усилий N – M – Q. В ДБН эта задача в какой то мере решается введением коэффициента γ . Это обстоятельство следует учитывать и при оценке несущей способности конструкций в сейсмических районах .

5. Специальные правила для бетонных зданий

В EN 1998-1 для краткости бетонными именуется железобетонные здания.

В части назначения размеров сечений элементов, их минимальных значений, армирования, распределения арматуры по сечению элементов, минимального и максимального процентов продольной арматуры, интенсивности поперечной, в частности, в узлах рам и т.п. рекомендации ДБН не выходят за рамки EN 1998-1.

Однако, так же, как и в разделе 2, в ДБН отсутствует показатель поведения ρ и детализированная оценка пластичности. В ДБН есть рекомендации о необходимости создавать возможность развития в определённых элементах конструкций допустимых неупругих деформаций и предусматривать конструктивные мероприятия, обеспечивающие устойчивость и геометрическую неизменяемость конструкций при развитии в элементах и соединениях между ними неупругих деформаций, а также исключают возможность их хрупкого разрушения [2, п. 1.2.5]. Но в ДБН эти вопросы не детализируются так подробно как в EN 1998-1.

Заметим, что в EN 1998-1 ограничивается этажность только каменных зданий. Для железобетонных и стальных зданий ограничений по этажности нет, в отличие от ДБН (максимум 24 этажа), правильность чего подтверждается мировой практикой строительства, например, Burj Dubai здание 162 этажа с общей высотой 807,7 м (Дубай, Арабские эмираты) и др.

Сравнение рекомендаций Еврокода и ДБН по расчёту и проектированию железобетонных конструкций только для строительства в сейсмических районах было бы не полным без сравнения норм по расчёту и проектированию железобетонных конструкций для обычных условий, как основному документу по оценке несущей способности конструкций. Глубокое исследование железобетонных конструкций в этом направлении выполнено в работе [7], где сопоставлены нормы

[6] (СНиП 2.03.01-84) с нормами Франции (ВАЕЛ-91), Англии (СР-110), Германии (ДИН 1045), США (АСИ 318-83) и Кодексу ЕКБ/ФИП. По результатам работы авторами сделаны выводы: "СНиП 2.03.01-84 может быть отдано предпочтение при проектировании конструкций наименьшей стоимости, но ввиду малых коэффициентов безопасности их применение требует повышенного контроля за качеством используемых материалов и выполнением строительных работ" [7, с. 475].

Например, для свободно опертой балки из бетона класса В20 с рабочей арматурой класса АШ прямоугольного сечения 300х600 мм пролётом 6 м под равномерно распределённой нагрузкой постоянной 26,6 кН/м и временной 24,0 кН/м требуемая площадь продольной рабочей арматуры по СНиП 2.03.01-84 в 1,5 раза меньше, чем по нормам Франции, Германии и США и в 1,8 раза меньше, чем по нормам Англии [7, с. 474, табл. 7.7].

Для этой же балки расход поперечной арматуры по СНиП 2.03.01-84 в 1,5 раза меньше, чем по нормам США и Кодексу ЕКБ/ФИП, в 1,85 раза меньше, чем по нормам Франции, в 2,1 раза меньше, чем по нормам Англии и в 2,65 раза меньше, чем по нормам Германии [7, с. 488, табл. 7.8].

"... низкие коэффициенты надёжности в нормах [6] вполне оправданы при заводском изготовлении железобетонных конструкций... В этом случае есть возможность обеспечить надёжный контроль качества приготовления бетона, арматурных изделий и конструкции в целом. Намечившаяся в последние годы тенденция широкого применения монолитного железобетона, вероятно, потребует пересмотра (в сторону увеличения) некоторых коэффициентов надёжности" [7, с. 453].

Отметим, что в Украине также сборный железобетон всё более вытесняется монолитным либо сборно-монолитным, особенно в сейсмических районах.

Выводы. Рекомендации ДБН с учётом допускаемого Еврокодом национального выбора ряда параметров практически не выходят за рамки EN 1998-1, а в части оценки условий сопротивления конструкций и ограничения этажности железобетонных и стальных зданий они более жестки.

В ДБН желательнее отказаться от использования консольно-заменяющей расчётной схемы, потерявшей свою актуальность.

Целесообразно повысить внимание к расчётной оценке пластичности несущей системы зданий, характеризующей баланс между сопротивлением системы и её способностью рассеивать энергию.

При разработке в Украине норм по расчёту и проектированию железобетонных конструкций целесообразно повысить значения коэффициентов надёжности по материалам, отказаться от расчёта элементов методом суперпозиции, используя для расчёта трёхмерную область несущей способности элементов: осевое усилие – изгибающий момент – поперечная сила, например, как это предложено в работе [5].

1. Еврокод 8: Проектирование сейсмостойких конструкций – EN 1998-1: 2004 (E). CEN Европейский комитет по стандартизации, Центр Управления: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels, декабрь 2004. – С. 220. 2. ДБН В. 1.1-12:2006. Строительство в сейсмических районах Украины. Министерство строительства, архитектуры и жилищно- коммунального хозяйства Украины. – К., 2006, – 84 с. 3. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 48 с. 4. Залесов А. С., Мухамедиев Т. А., Чистяков Е. А. Расчёт прочности железобетонных конструкций при различных силовых воздействиях по новым нормативным документам // Бетон и железобетон". – № 3, июнь 2002. – С 10–13. 5. Панюков С.Е. Пропозиції по уточненню розрахунку стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів при сприйнятті поперечної сили // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Теорія і практика будівництва". – Львів, 2009. – № 655. – С. 213–219. 6. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1998. – 80 с. 7. Колмогоров А.Г., Плевков В.С. Расчёт железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам. – Томск: Изд-во "Печатная мануфактура", 2009. – 496 с.