

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЕВРОКОДОВ И НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ УКРАИНЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАДЕЖНОСТИ И УЧЕТА ФАКТОРА ВРЕМЕНИ, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассматриваются частные коэффициенты надежности и учет фактора времени, представленные в Еврокодах и ДБН, а также приводятся результаты их сравнительного анализа. Полученные данные рекомендуется использовать при проектировании конструкций зданий и сооружений.

In the article presented results of a comparative analysis of the partial safety factors and accounting of the time factor, which presented in the European norms Eurocode and Ukrainian building codes DBN. The findings recommended to use in the design of buildings and structures.

Ключевые слова: Еврокод, ДБН, учет фактора времени при проектировании конструкций, частные коэффициенты надежности.

Решение о разработке единой европейской системы норм и правил строительного проектирования – Еврокодов – было принято Европейским Сообществом еще в 1975 г. На первом этапе Еврокоды были альтернативой по отношению к действующим национальным нормам государств-членов ЕС, а в дальнейшем могут заменить их полностью.

В Украине в настоящее время гармонизация системы Еврокодов завершена, и в ближайшие годы ожидается ее адаптация. Следует отметить, что в этот период и ДБН, и европейские нормы действуют одновременно (параллельно).

При проектировании конструкций необходимо учитывать различные возможные отклонения параметров нагрузки, геометрии, прочности материала от заданных значений для достижения приемлемой вероятности «отказа» конструкции.

При расчете конструкций по предельным состояниям принимаются детерминированные значения нагрузок и характеристик материалов. При этом учитываются соответствующие коэффициенты безопасности (надежности), которые позволяют учесть различные отклонения от заданных величин нагрузок, геометрии, прочности.

При математическом описании значения нагрузок характеристики материалов можно представить в виде случайных величин (например, собственный вес конструкций) или случайных функций времени (например, ветер).

Проектируя конструкции массового назначения, используют не вероятностные методы расчета, когда базисные переменные являются случайными величинами, а детерминистические ме-



И.Н. Руднева
доцент кафедры
«Соппротивление материалов»
Киевского национального
университета строительства
и архитектуры, к.т.н.



Ю.Н. Прядко
научный сотрудник,
доцент Пекинского международного
института образования
(Beijing International Education
Institute), Пекин, Китай
к.т.н.

тоды, в которых базисная переменная заменяется постоянным значением, называемым нормативным (характеристическим значением), умноженным на соответствующий коэффициент надежности (или коэффициент безопасности). Указанные коэффициенты служат для регулирования величин нагрузок и сопротивлений.

Принимая минимально возможное значение сопротивления (понижающий коэффициент надежности) и максимально возможное значение нагрузки (повышающий коэффициент надежности), добиваются обеспечения необходимого запаса прочности при проектировании и достаточно малой вероятности отказа конструкции.

Научно-технической основой всего ряда Еврокодов является требование обеспечения надежности строительных конструкций на уровне не ниже 0,0001 отказов за 50 лет (0,000001 за год, т.е. один отказ за 1000000 лет). Этот унифицированный уровень должен поддерживаться неза-

висимо от типа конструкции и материала, из которого она сделана, ему отвечает уровень надежности $\gamma = 3,8$.

Система проектирования, действующая в Украине, представлена в таблице 1.

EN 1990:2002, IDT. Еврокод формулирует правила определений расчетных комбинаций нагрузок, и Национальное приложение к нему является базовым для всех остальных разделов Еврокода. От того, какие запасы будут заложены в расчетные комбинации нагрузок, зависит какие коэффициенты запаса должны использоваться при расчетах прочности, устойчивости, деформативности.

EN 1991-1-6:2005, IDT. Еврокод 1 определяет уровень нагрузок на сооружения, и Национальное приложение к нему также является базовым для всех остальных разделов Еврокода.

Определение расчетного значения эффекта воздействия в Европейском стандарте приведено на рис. 1.

Определение расчетного значения несущей способности в Европейском стандарте приведено на рис. 2.

В Украине предельные состояния по степени ограничений и эксплуатации, а также возможных последствий отказа разделяют на 2 группы:

- к 1-й группе относятся предельные состояния, при выходе за которые возникает полная потеря пригодности к эксплуатации (общая потеря устойчивости, потеря устойчивости положения, разрушение любого характера, переход в изменяемую систему, качественное изменение конфигурации вследствие чрезмерных деформаций ползучести или пластичности, сдвигов в соединениях);
- ко 2-й группе относятся предельные состояния, при выходе за которые затрудняется нормальная эксплуатация (недопустимые деформации и перемещения, недопустимые уровни колебаний, недопустимые образования или раскрытия трещин).

Таблица 1

Система проектирования, действующая в Украине

Основанная на национальных технических традициях	Гармонизированная с Еврокодами		
	Документ Украины		Идентичный Европейский стандарт
ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ	ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 Еврокод. Основи проектування конструкцій	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1990:2008	EN 1990:2002, IDT. Еврокод
ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012 Еврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–5. Загальні дії. Теплові дії	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012	EN 1991-1-5:2003, IDT. Еврокод 1
	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:2012 Еврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–6. Загальні дії. Загальні ції. Дії під час зведення	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:2012	EN 1991-1-6:2005, IDT. Еврокод 1
	ДСТУ-Н Б EN 1991-3:2012 Еврокод 1. Дії на конструкції. Частина 3. Дії, що викликані кранами та обладнанням	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-3:2012	EN 1991-3:2006, IDT. Еврокод 1
	ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 Еврокод 1. Дії на конструкції. Частина 4. Бункери і резервуари	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012	EN 1991-4:2006, IDT. Еврокод 1
ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 Еврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1–3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012	EN 1993-1-3:2006, IDT. Еврокод 3
	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 Еврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1–4. Загальні положення. Додаткові правила для нержавіючої сталі	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012	EN 1993-1-4:2006, IDT. Еврокод 3

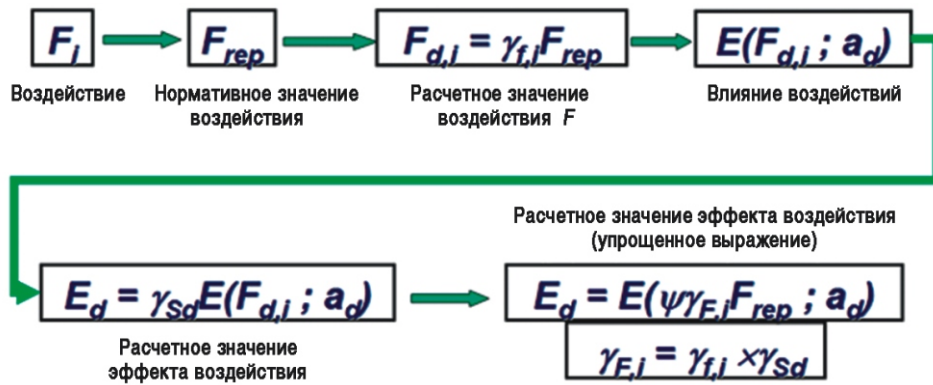


Рис. 1. Определение расчетного значения эффекта воздействия:

F_k – нормативное значение воздействия; F_{rep} – определяющее характерное значение воздействия; f_i – частный коэффициент безопасности для воздействия, учитывающий возможность неблагоприятного отклонения воздействия по отношению к характерным значениям; γ_F – частный коэффициент безопасности для воздействий с учетом погрешностей модели и отклонений величин $F = 1,0$, если в EN 1991–EN 1999 не установлено иное; γ – принимает значения 1,00 или 0,1 и 0,2; a_d – расчетное значение геометрических величин (см. 6.3.4 Еврокод); S_d – частный коэффициент безопасности для учета погрешностей: в расчетной модели влияний; в расчетной модели воздействий

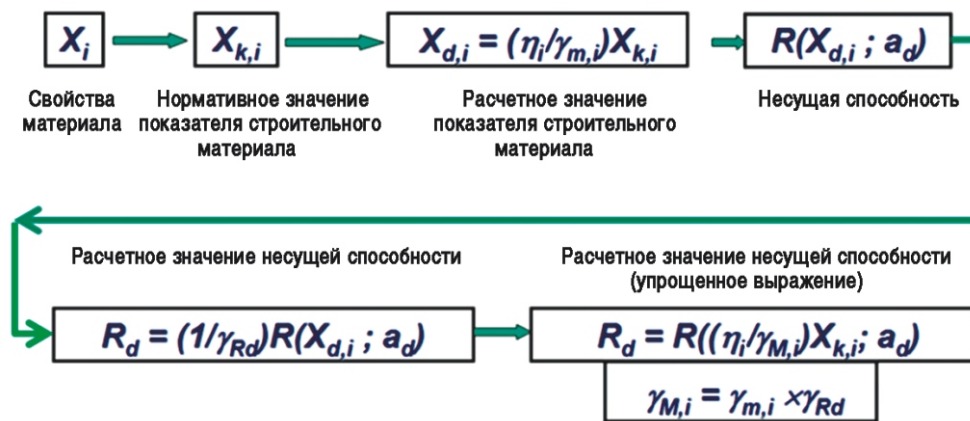


Рис. 2. Определение расчетного значения эффекта воздействия:

R_d – частный коэффициент безопасности для учета погрешности модели сопротивления, включая геометрические отклонения, если они не учтены в соответствии с 6.3.4 (2); γ – коэффициент перерасчета для показателей образца и определяющих показателей элемента конструкции, который в среднем учитывает влияние эффектов объема и масштаба; влажности и температуры; других основных параметров; a_d – расчетное значение геометрических величин (см. 6.3.4); m – частный коэффициент безопасности для показателя строительного материала или изделия, который включает следующее: возможность неблагоприятных отклонений показателя строительного материала или изделия от нормативного значения; рассеяние коэффициента перерасчета

В то же время, в Европейских стандартах различают две группы предельных состояний: абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) и предельные состояния по эксплуатационной пригодности (Serviceability Limit-States), которые в свою очередь делятся на дополнительные группы.

При проектировании несущей конструкции с использованием Еврокодов необходимо выполнять расчеты по следующим предельным состояниям несущей способности:

- а) EQU: Потеря прочности и устойчивости несущей конструкции или отдельных ее частей, рассматриваемых как жесткий каркас, в котором:
 - отклонения размеров или пространственного распределения воздействий, имеющих

одинаковое происхождение, незначительны;

- прочность строительных материалов и изделий или грунтов оснований, как правило, не оказывает влияния;

б) STR: Отказ или чрезмерные деформации несущей конструкции или ее частей, включая фундаменты, массив фундамента, сваи; при этом несущая способность строительных материалов и элементов конструкции играет решающую роль;

в) GEO: Отказ или чрезмерные деформации грунтов оснований, при этом в запасе несущей способности определяющей является прочность грунта или скальной породы;

д) FAT: Отказ несущей конструкции или ее частей в связи с усталостью.

Для расчета усталости в ЕН 1992 – ЕН 1999 указаны сочетания воздействий.

На расчетные значения воздействий распространяется приложение А Еврокода.

Абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) по Еврокоду наглядно представлены на рис. 3 и рис. 4.

Для определения влияния воздействий следует применять общее сочетание

$$E_d = s_d E \{ g_j G_{k,j}; P; q_{1,1} Q_{k,1}; q_{i,1} Q_{k,i} \}; \quad j=1; i>1. \quad (1)$$

Сочетание воздействий в скобках {} может быть выражено следующим образом:

$$G_{k,j}; P; Q_{k,1}; Q_{k,i} \quad i>1. \quad (2)$$

При подтверждении STR и GEO более неблагоприятный из двух сочетаний

$$G_{k,j}; P; Q_{k,1}; Q_{k,i} \quad i=1; Q_{k,i} > 0,85 \quad 1,00 - \text{коэффициент уменьшения для неблагоприятно действующих воздействий.}$$

Для каждого критического случая нагрузки следует определить расчетные значения влияний сочетания воздействий E_d , которые принимаются как действующие одновременно. В каждом сочетании воздействий должно быть доминирующее или чрезвычайное воздействие.

В некоторых случаях формулы (1–3) требуют уточнений. Руководство по осуществлению таких уточнений содержится в определяющих частях ЕН 1991–ЕН 1999 и Национальных приложениях к ним.

Числовые значения частных коэффициентов безопасности и общих коэффициентов для воздействий приведены в ЕН 1991 и приложении А, ЕН 1990, а также Национальных приложениях к ним.

Частные коэффициенты безопасности показателей строительных материалов, изделий и элементов конструкции приведены в ЕН 1992–ЕН 1999, а также Национальных приложениях к ним.

Сравнительная таблица системы расчета по предельным состояниям, основанная на национальных технических традициях в Украине и в соответствии с Еврокодом, представлена в таблице 2.

Хотелось бы отметить учет фактора времени в соответствии с ДБН и Еврокодом, представленный в таблице 3. Используется понятие об установленном сроке службы T_{ef} , от которого зависят значения предельных нагрузок.

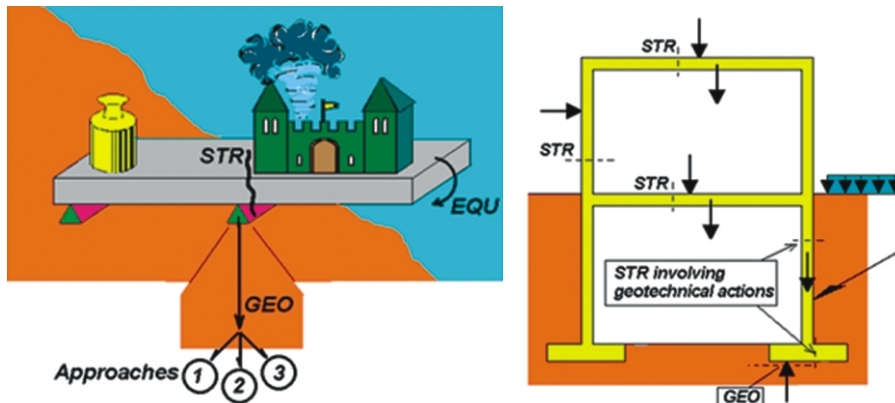


Рис. 3. Абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) EQU – STR – GEO

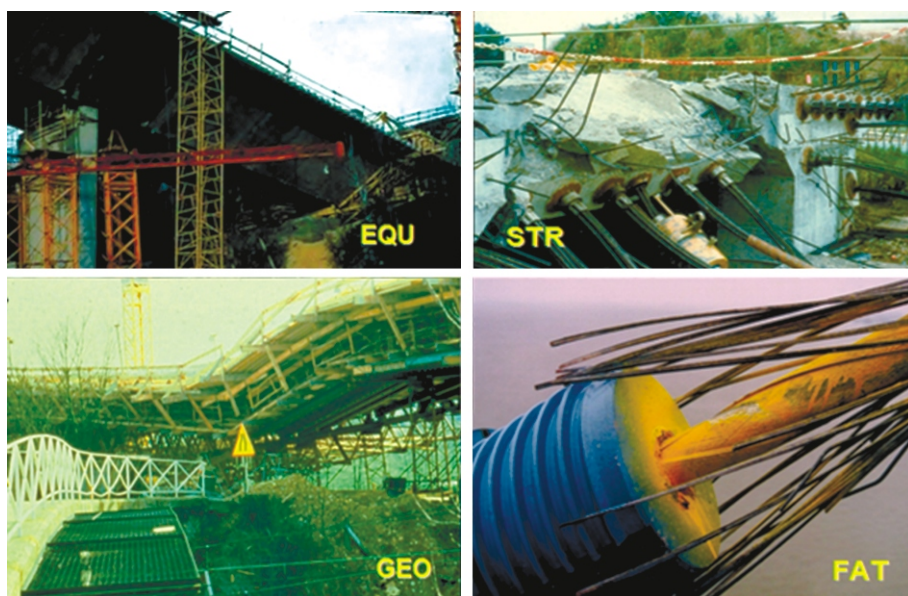


Рис. 4. Абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) EQU – STR – GEO – FAT

Таблица 2

Система расчета по предельным состояниям, основанная на национальных технических традициях в Украине и в соответствии с Еврокодом

$n \quad f_i \quad S_i^n \quad c \quad \frac{r^n}{m}$	$E_d \quad R_d$ $E_d = s_d E_{j,1} G_{j,1} G_{k,j} P P Q_{i,1} Q_{k,1} Q_{i,j} Q_{k,i}$ $R_d = \frac{R_k}{M} \text{ или } R_d = \frac{R X_k}{M}; a_d$ <p>(Также см. EN 1992–EN 1999)</p>
<p>n – коэф. надежности по назначению (ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд, т. 5)</p> <p>f_i – коэф. надежности по нагрузке (ДБН В.1.2-2-2006. Нагрузки и воздействия, разд. 5–12)</p> <p>– коэф. сочетаний нагрузок (ДБН В.1.2-2-2006. Нагрузки и воздействия)</p> <p>m = 1,025...1,1 – коэф. надежности по материалу (ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування, т. 7.2.)</p> <p>c = 0,75...1,2 – коэф. условий работы (ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування, табл. 5.1.)</p>	<p>s_d = 1,05...1,15 – частный коэффициент безопасности для учета погрешностей модели при идеализации воздействий и/или влияний (Приложение А.1. табл. А.1.2(В) EN 1990. Еврокод);</p> <p>$G_{j,\text{sup}} = 1,10...1,35$; $G_{j,\text{inf}} = 0,90...1,15$ (EQU); $G_{j,\text{sup}} = 1,00...1,35$; $G_{j,\text{inf}} = 1,00$ (STR/GEO) – частный коэффициент безопасности для постоянных воздействий j для расчета с использованием верхних/нижних расчетных значений (Приложение А.1. табл. А.1.2 (А), А.1.2 (В) EN 1990. Еврокод);</p> <p>$Q_{i,1} = 1,5$, $Q_{i,j} = 1,5$ (EQU); $Q_{i,1} = 1,3...1,5$, $Q_{i,j} = 1,3...1,5$ (STR/GEO) – частный коэффициент безопасности для переменного воздействия Q_i (Приложение А.1. табл. А.1.2 (А), А.1.2 (В) EN 1990. Еврокод);</p> <p>$Q_{0,i} = 0,2...1,0$ – коэффициент для общих, переменных, квазипостоянных значений переменных воздействий (Приложение А.1. табл. А.1.1. EN 1990. Еврокод);</p> <p>$m = 1$; $M_{i,j} = R_{d,m,j}$ (если в EN 1991–EN 1999 не установлено другое) – частный коэффициент безопасности для показателя строительного элемента с учетом погрешностей модели и отклонений величин (П. 6.3.3–6.3.5, п. 6.5.4, ф. 6.3–6.6. EN 1990. Еврокод);</p> <p>$a_d = 0,85$ – коэффициент уменьшения для неблагоприятно действующих постоянных воздействий G (Приложение А.1. табл. А.1.2 (В), STR/GEO, EN 1990. Еврокод);</p> <p>X_k – расчетное значение показателя строительного материала или изделия i;</p> <p>– переводной коэффициент (перерасчета);</p> <p>P – частный коэффициент безопасности для воздействий от предварительного напряжения (см. EN 1992–EN 1996 и EN 1998–EN 1999);</p> <p>R_d – частный коэффициент безопасности для учета погрешностей модели сопротивления</p>
<p>E_d – расчетное значение влияния воздействий; R_d – расчетное значение соответствующей несущей способности.</p>	

Эксплуатационные расчетные значения нагрузок определяются в зависимости от части установленного срока службы конструкции T_{ef} , на протяжении которой она может превышать. Коэффициент – относительное время, в течение которого может быть допущено нарушение требований по второму предельному состоянию. Например, для некоторых объектов для 2 % времени может быть допущено превышение прогибов, нормируемых из технологических соображений.

Примерные значения сроков эксплуатации приводятся в нормах.

При назначении расчетного срока эксплуатации следует учитывать некоторые различия между документами, поскольку проектный срок эксплуатации по ДБН В.1.2-14-2018 «Загальні

принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ» [2] превышает аналогичный показатель Еврокода 0 [6] (табл. 3). Например, для сельскохозяйственных зданий ориентировочное значение установленного срока эксплуатации по ДБН составляет 50 лет, а аналогичный показатель по Еврокоду – максимум 30 лет. Для жилых и гражданских зданий установленный срок эксплуатации по ДБН может иметь значение до 100 лет, по Еврокоду же максимум 50 лет.

Согласно Постановлению Кабинета Министров от 23-5-2011 № 547 в настоящее время заказчик совместно с генпроектировщиком принимают решение проектировать здание (сооружение) по Еврокодам или же по нормативным документам Украины. Кроме того, что очень важно,

Таблица 3

Учет фактора времени в ДБН и Еврокоде

Индикативный (проектный) срок эксплуатации по Еврокоду			Ориентировочное значение установленного срока эксплуатации по ДБН В.1.2-14-2018	
Категории проектного срока службы	Индикативный проектный срок службы (лет)	Примеры	Здания и сооружения	T_{ef} (годы)
Здания				
1	10	Временные сооружения	Мобильные контейнерные	15
2	10–25	Сменные части сооружения, например, пролетные строения козлового крана, опоры		
3	15–30	Сельскохозяйственные и подобные здания	Сельскохозяйственные здания Теплицы Мобильные сборно-разборные	50 30 20
4	50	Строительные сооружения и другие здания общего назначения	Здания жилые и гражданские Производственные и вспомогательные Складские	100 60 60
Инженерные сооружения				
5	100	Монументальные строительные сооружения, мосты и другие гражданские инженерные сооружения	Мосты в зависимости от типа Дамбы Туннели Резервуары для воды Резервуары для нефти и нефтепродуктов Резервуары для химической промышленности Емкостные конструкции для сыпучих материалов Башни и мачты в зависимости от назначения Дымоходы	80–100 120 120 80 40 30 20–30 20–40 30

при проектировании одного объекта, но разных разделов проекта, не могут одновременно применяться различные строительные нормы.

Проводя сравнительный анализ (в рамках рассматриваемых вопросов), на примере сопоставления ДБН В.2.6-198:2014 [3] и Eurocode 3 [8], а также ДБН В.1.2-14-2018 [2] и Еврокод 0 [6], прежде всего, стоит отметить:

1. Принципы расчета строительных стальных конструкций и в ДБН [3], и в ЕС3 [8] – базируются на методе предельных состояний. В этих документах проверочные расчеты осуществляются для двух групп предельных состояний – по потере несущей способности (1-я группа) и по непригодности к нормальной эксплуатации (2-я группа). Однако, в ДБН эти состояния не описаны (теоретическое их обоснование приводится в литературе по металлическим конструкциям и в пособии к ДБН), в то время, как в ЕС3 приводится четкое описание как самих критериев

наступления предельного состояния, так и граничных условий. Предельные значения по перемещениям, которые предусматриваются ДБН, содержатся в ДСТУ «Прогибы и перемещения» [5], что не совсем удобно при выполнении проверки по 2-й группе предельных состояний для рассчитываемых конструкций.

2. В номенклатуре коэффициентов надежности имеются некоторые отличия. Коэффициенты надежности по ДБН [3] более детализированы, чем в ЕС3 [8], что объясняется более длительным использованием метода расчета по предельным состояниям в бывшем СССР, чем в Европе. Поскольку ответственность за надежность зданий и сооружений, а также здоровье граждан несут именно национальные компетентные органы, в ЕС3 эти коэффициенты выделены рамкой (т.н. «рамковые» значения – *boxed values*), например $m_1 = \boxed{1,1}$, и каждая страна имеет право на изменение их значений согласно своим требованиям.

3. Особенностью ЕСЗ [8] является наличие в нем большого количества описываемых терминов и возможных случаев проектирования при использовании соответствующих положений. Каждый раздел ЕСЗ начинается с соответствующих однозначных трактований основных понятий, приводится описание того, какие расчетные предпосылки и условия будут использоваться, даются также расчетные ограничения. В этом смысле ДБН [3] является менее информативным, ориентированным на хорошо подготовленного инженера, знающего возможные конструктивные, технологические и расчетные ограничения.

4. Значительное внимание в ЕСЗ уделяется проблеме расчета на выносливость (усталость). По объему это один из самых больших разделов. ДБН [3] в расчетах на выносливость ограничивается одной формулой.

5. Особенности проектирования элементов и компоновки конструктивных систем в ЕСЗ, как и ДБН [3], рассматриваются в общем, без детального уточнения, так как их должны рассматривать проектировщики, которые берут на себя ответственность за качество принятых решений.

6. Одним из самых важных положений ЕСЗ является наличие раздела 8 «Проектирование, основанное на испытаниях», в котором указано следующее: «Когда применяемые расчетные модели недостаточны для конкретной конструкции

или ее компонентов, при проектировании возможно применение данных экспериментальных исследований вместо предлагаемых методов расчета и проектирования». Также ЕСЗ разрешает применять результаты экспериментальных исследований, когда проектирование в соответствии с ЕСЗ дает не экономичные результаты. Эти положения ЕСЗ позволяют активно внедрять в практику проектирования результаты экспериментальных исследований и оставляют возможность для постоянного обновления и совершенствования ЕСЗ. Требования к экспериментальным образцам, экспериментальным установкам, контрольным приборам и испытательному оборудованию, порядку и методам обработки эксперимента в ЕСЗ достаточно жестко регламентируются.

7. Можно отметить, что по ДБН, в отличие от Еврокода, предполагается проектировать здания, имеющие более высокую степень надежности, в связи с расчетом на более длительный установленный срок эксплуатации, что влечет за собой удорожание конструкции. В любом случае, при нынешней системе проектирования, которая действует в Украине, ответственность за принятие решений лежит на инженер-проектировщике. Но, при этом, требование Еврокода по обеспечению уровня надежности всего ряда строительных конструкций не ниже 0,0001 отказов за 50 лет должно обязательно соблюдаться.

[1] ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018.

[2] ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбудархітектури України. – К.: Сталь, 2006.

[3] ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування / Мінрегіон України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2014.

[4] ДБН А.1.1-94:2010. Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2012.

[5] ДСТУ Б В.1.2.-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування / Мінбуд України. – К.: Сталь, 2006.

[6] EN1990 Eurocode 0: Basis of structural design.

[7] EN1991 Eurocode 1: Actions on structures.

[8] EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures.

Надійшла 24.01.2020 р.

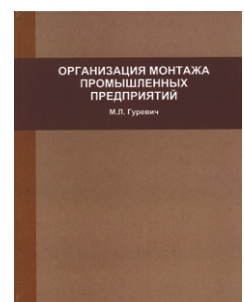
Нові книги

«ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ» (автор М.Л. Гуревич)

В книге описаны прогрессивные методы монтажа, большинство из которых осуществлены на практике. Наряду с описанием опыта монтажа строительных конструкций в книге также приведен опыт монтажа основного технологического оборудования. Большое внимание обращено на решение инженерно-технических задач в процессе подготовки к монтажу.

Книга также дает общее представление о промышленных предприятиях и сооружениях, их предназначении и краткое описание происходящих в них технологических процессах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования и организации монтажных работ. Описанный опыт монтажа поможет им в выборе эффективных технических решений и в дальнейшем совершенствовании методов монтажа.



Информация по адресу: gurevychm@gmail.com