

**НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО
СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ НОВОГО
ПОКОЛЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДБН В.1.1-12:
2014: «СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ
УКРАИНЫ» С УЧЕТОМ РЕКОМЕНДАЦИЙ
ЕВРОПЕЙСКОГО СТАНДАРТА EN 1991-1 (ЕВРОКОД 8)
И ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013**

Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Бабик К.Н., Хавкин А.К., ГП
«Научно-исследовательский институт строительных конструкций»,
г. Киев

Дорофеев В.С., Егупов К.В., Шеховцов И.В., Петраш С.В.,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса

Кукунаев В.С., ГП «Институт КрымНИИпроект», г. Симферополь
Гудков Б.П., СтройНИИЭП, г. Киев

Кендзера А.В., Омельченко В.Д., Институт Геофизики (ИГФ)
им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев

Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А., Скляр А.М.
Институт сейсмологии и геодинамики КФУ им. В.И. Вернадского ГАУ
«Крымский экспертный Совет по оценке сейсмической опасности и
прогнозу землетрясений», г. Симферополь

АННОТАЦИЯ: Представлено положення нової редакції державний Норм України: ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України», з урахуванням сучасних досягнень теорії сейсмостійкості, що використовуються при проектуванні будівель і споруд в сейсмічних районах інтенсивністю від 6-ти до 10-ти балів згідно ДСТУ Б В.1.1-28: «Шкала сейсмічної інтенсивності» з урахуванням вимог Національного стандарту ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Оцінка класу наслідків (відповідальності) та категорій складності об'єктів будівництва» та рекомендацій Європейського стандарту EN 1998-1 (Єврокод 8): 2004 «Проектування сейсмостійких конструкцій».

АННОТАЦИЯ: Представлены положения новой редакции государственных Норм Украины: ДБН В.1.1-12:2014 «Строительство в сейсмических районах Украины», которые учитывают современные достижения

теории сейсмостойкости, используемые при проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах интенсивностью от 6-ти до 10-ти баллов по ДСТУ Б В.1.1-28: «Шкала сейсмической интенсивности» с учетом требований Национального стандарта ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Оценка класса последствий (ответственности) и категорий сложности объектов строительства» и рекомендаций Европейского Стандарта EN 1998-1 (Еврокод 8): 2004 «Проектирование сейсмостойких конструкций».

ABSTRACT: Positions of new release of state Norms of Ukraine are presented: ДБН В.1.-1-12:2014 "Building in the seismic districts of Ukraine", that take into account modern achievements the theories of earthquake resistance, used for planning of building and building in seismic districts by intensity from 6 to 10 points on ДСТУ В.1.1-28: "Scale of seismic intensity" taking into account the requirements of the National Standard of ДСТУ-Н В.1.2-16:2013 "Estimation of class of consequences (responsibility) and categories of complication of object construction" and recommendations of European Standard EN 1998-1 (Eurocode 8): 2004 "Design of earthquake-resistant constructions".

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сейсмостойкое строительство, нормативные документы, сейсмическая опасность, мониторинг.

1. ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ НОРМ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ В УКРАИНЕ

В 2006 г. разработаны впервые и введены в действие Государственные нормы по проектированию зданий и сооружений в сейсмических районах Украины [1], в которых отражены специфические условия сейсмической опасности территории Украины, приведена методика определения сейсмических нагрузок, а также обобщен опыт проектирования сейсмостойких конструкций, содержащийся в СНиП II-7-81* (Россия) [2] и более ранних редакций нормативных документов по сейсмостойкому строительству стран СНГ.

К 2006 году на территории Украины произошли землетрясения в западных сейсмоопасных районах и в Крыму различной интенсивности (до 7 баллов по шале MSK-64). Действующие Карты общего сейсмического районирования ОСР-78, являющиеся основой действующего СНиП II-7-81*, к тому времени существенно устарели и не отражали сейсмическую опасность территории Украины.

В этой ситуации Институтом Геофизики Национальной Академии Наук (ИГФ НАН) Украины и Крымским экспертным советом по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений Министерства

архитектуры и строительной политики АР Крым был выполнен пересмотр карт общего сейсмического районирования территории Украины. Имеющиеся данные и новые результаты исследований стали основой новых Карт общего сейсмического районирования ОСР-2004 для территории Украины, разработанных с применением современных геофизических методов и накопленных знаний о повторяемости землетрясений зоны Вранча (Румыния) и Крыма [3, 4, 5]. Работа была выполнена под руководством д-ра физ.-мат. наук Б.Г. Пустовитенко и канд. ф.-м. наук А.В. Кендзера, канд. г.-м. наук В.Д. Омельченко при активной поддержке академика В.И. Старостенко.

Комплект карт ОСР-2004 рассмотрен на совместном заседании Межведомственной комиссии по сейсмическому мониторингу и Научного Совета по проблемам геодинамики и прогнозу землетрясений и рекомендован для применения в строительных нормах.

После семинаров, которые проводились в различных сейсмических районах Украины ГП НИИСК, ИГФ НАНУ, Крым НИИ проект, ОГАСА, НИИ «Проектреструкция» и другими участниками разработки ДБН, новый Государственный документ получил широкое применение в проектных организациях Украины.

ДБН В.1.1-12: 2006 [1] разработаны с учетом действующих тогда СНиП П-7-81* «Строительство в сейсмических районах» [2], проекта межгосударственных строительных норм МНТКС СНГ - «Строительство в сейсмических районах» и основных положений уже изданных на то время норм стран СНГ (Армении, Грузии, Казахстана, Узбекистана) [6, 7, 8], норм Европейского Союза и американских норм UBC-97 [9]. Нормы распространяются на проектирование, строительство, реконструкцию, усиление или восстановление зданий в сейсмических районах Украины. Нормы были утверждены Приказом Минстроя Украины от 23.08.2006 г. № 282 и введены в действие с 1 февраля 2007 г. В разработке ДБН, кроме украинских организаций, принимали участие организации России, Азербайджана, Грузии, Казахстана, Молдовы, Узбекистана. Документ взаимосвязан с нормативными документами по железобетонным, каменным, стальным и деревянным конструкциям и законодательно-нормативными актами Украины.

Впервые в нормативном документе рекомендованы к применению плоские и пространственные расчетные схемы зданий и сооружений с ориентацией на существующие программные комплексы (типа ЛИРА, SCAD и другие), приведены требования по учёту антисейсмических мероприятий зданий, проектируемых для строительства в районах с сейсмичностью от 6 баллов и до 9 баллов.

При определении силы землетрясения в баллах на момент утверждения ДБН В.1.1-12: 2006 использовалась шкала MSK-64 (ГОСТ

6249-52) [10]. С 1 октября 2011 года Приказом № 539 Минрегиона Украины от 23.12.2010 г. введен в действие Национальный стандарт Украины ДСТУ-Б-В.1.1-28:2010 «Шкала сейсмической интенсивности» [11], в котором отражены требования к оценке последствий землетрясений с учетом рекомендаций «Европейской макросейсмической шкалы EMS-98» [12].

Новая редакция Государственных норм ДБН В.1.1-12:2014 [13] разработана в 2013-2014 гг. и введена Приказом № 143 Минрегиона Украины от 16.05. 2014 г. для применения с 1 октября 2014 года. Научно-техническое сопровождение Норм поручено Государственному предприятию «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» (ГП НИИСК) Минрегиона Украины. Нормы распространяются на проектирование, новое строительство, реконструкцию и капитальный ремонт железобетонных, сталебетонных, металлических, каменных, деревянных конструкций зданий и сооружений, которые возводятся или размещены на площадках сейсмичностью 6 баллов и выше в соответствии в соответствии со шкалой сейсмической интенсивности ДСТУ Б В.1.1-28.

2. СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ В УКРАИНЕ

2.1. Карты общего сейсмического районирования территории Украины ОСР – 2004

Расчетную сейсмичность площадки строительства для районов с сейсмичностью 6 и более баллов по ДБН В.1.1-12: 2014 рекомендуется определять на основании результатов сейсмического микрорайонирования (СМР) площадки, которое должно быть выполнено с учётом требований РСН 65-87 [14] при определении категории грунта по сейсмическим свойствам. В отчётах по инженерно-геологическим изысканиям Нормы требуют обязательно указывать категорию грунта по сейсмическим свойствам.

Нормативную интенсивность сейсмических воздействий в баллах для района строительства принимается по списку населенных пунктов Украины (Приложение А к ДБН В.1.1-12: 2014) и комплекта карт общего сейсмического районирования (ОСР-2004) территории Украины, разработанных ИГФ НАН Украины и Крымским экспертным советом по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений. Комплект карт утверждён на совместном заседании Межведомственной комиссии по сейсмическому мониторингу и Научным советом по проблемам геодинамики и прогнозу землетрясений НАНУ (Протокол №1 от 11 июля 2013г.). Указанная на картах сейсмическая интенсивность относится к

грунтам II -й категории по сейсмическим свойствам. Комплект карт ОСР-2004 включает четыре карты:

- карта ОСР-2004 «А» соответствует 10%-ой вероятности превышения расчетной сейсмической интенсивности в течение 50 лет и средним периодам повторения таких интенсивностей 1 раз в 500 лет. Карту следует применять для проектирования и строительства объектов и сооружений массового гражданского, промышленного назначения, различных жилых объектов в городской и сельской местности, *которые относятся к классу последствий (ответственности) СС1 в соответствии с ДБН В.1.2-14 [15], а также к классу последствий (ответственности) СС2 для зданий высотой до 73,5 м;*

- карта ОСР-2004 «В» (рис. 1) соответствует 5%-ой вероятности превышения расчетной сейсмической интенсивности в течение 50 лет и средним периодам повторения таких интенсивностей один раз в 1000 лет. Карту следует применять при проектировании и строительстве объектов и сооружений повышенного уровня ответственности, *класса последствий (ответственности) СС2 для зданий высотой от 73,5 до 100 м, а также для объектов, которые относятся потенциально опасным, но не идентифицируются как объекты повышенной опасности в соответствии с Законом Украины «Об объектах повышенной опасности» [16], повреждения или разрушения которых при воздействии землетрясения может привести к чрезвычайной ситуации регионального уровня;*

- карта ОСР-2004 «С» соответствует 1%-ой вероятности превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет и средним периодам повторения таких интенсивностей один раз в 5000 лет. Карту следует применять при проектировании и строительстве особо ответственных объектов и сооружений *класса последствий (ответственности) СС3 в соответствии с ДБН В.1.2-14, повреждения или разрушения которых при землетрясении может привести к чрезвычайной ситуации государственного уровня;*

- детальная карта ОСР-2004 «А0» соответствует 39%-ой вероятности превышения расчётной сейсмической интенсивности землетрясения в течение 50 лет и средним периодам повторения один раз в 100 лет. Соответствующие карты следует применять при проектировании и строительстве только в АР Крым и Одесской области для малоответственных зданий и сооружений *класса последствий (ответственности) СС1 и категории сложности в соответствии с ДСТУ-Н Б В.1.2-16 [17].* Карты Общего сейсмического районирования территории Украины приведены в ДБН В.1.1-12: 2014 [13].

Решение о выборе карты при проектировании конкретного объекта и отнесение объекта к классу последствий (ответственности) принимается генеральным проектировщиком *в соответствии с рекомендациями ДСТУ-Н Б В.1.2-16 [17].*

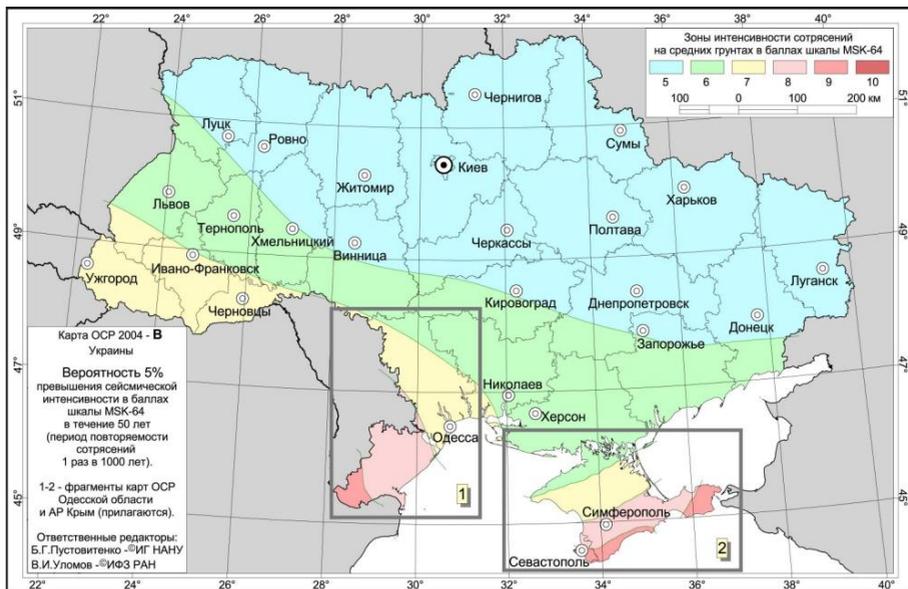


Рис. 1. Карты общего сейсмического районирования территории Украины: карта Типа «В»

В ДБН В.1.1-12: 2006 было рекомендовано принимать при расчете конструкций коэффициент надёжности по ответственности в соответствии с ГОСТ 27751-88 [18, 19]. Указанный ГОСТ был отменен Минрегионстроем Украины. Его основные положения вошли в ДБН В.1.2-14-2009 [15], которые введены в действие с 01.12.2009 г.

Сопоставительные данные для коэффициентов ответственности зданий по ДБН и ГОСТ 27751 представлены в Таблице 1. Рассмотрение этой таблицы свидетельствует, что принимаемые ранее при проектировании коэффициенты надёжности по ответственности по этим документам отличаются от установленных в ДБН В.1.1-14 незначительно. Это подтверждает тот факт, что ранее построенные по нормам, действующим в сейсмических районах Украины объекты с учётом рекомендаций ДБН В.1.1-12:2006, с рассматриваемых позиций удовлетворяют современным требованиям по обеспечению надёжности сооружений.

2.2 Требования ДБН В.1.2-14-2009 и ДСТУ-Н Б В.1.2-16 в части назначения класса последствий (ответственности) и категорий сложности объектов строительства при определении сейсмических нагрузок по ДБН В.1.1-12: 2014 «Строительство в сейсмических районах Украины»

При выборе Карт ОСР-2004 для проектирования объектов, расположенных в сейсмических районах, следует руководствоваться указаниями ДБН В.1.2-14-2009 [15] в части назначения классов последствий (ответственности) зданий и сооружений по Таблице 1 ДБН В.1.2-14-2009 и коэффициентов ответственности γ_n (Таблица 5) с учетом требований п.5.1.1 ДБН В.1.1-12: 2014:

- для объектов класса ответственности СС1 применять карту ОСР-2004-А или А0;
- для объектов класса ответственности СС2 применять карту ОСР-2004-А или В;
- для объектов класса ответственности СС3 применять карту ОСР-2004-С.

При определении сейсмических нагрузок в Таблице 6.4 ДБН В.1.2-12:2014 приводится перечень объектов в зависимости от их назначения. Для каждого из перечисленных объектов устанавливаются коэффициенты, оказывающие влияние на величину сейсмической нагрузки, принимаемой по стандартным формулам. Если в указанной Таблице отсутствуют конкретные рекомендации для проектируемых объектов, имеющих важное народнохозяйственное или социальное значение, в таком случае при оценке расчётной сейсмической интенсивности для данного сейсмического региона следует учесть повторяемость сейсмических событий, указанных в Таблице 6.5 ДБН, и в соответствующих картах сейсмического районирования А или В согласно шкалы интенсивности ДСТУ Б В.1.1-28 [11].

Определение перечня объектов, к которым применяются карты ОСР-2004 «В» и «С», проводится центральными органами исполнительной власти и органами самоуправления в пределах их компетенции.

Как указывается в информационном письме Минрегиона Украины, порядок отнесения объектов к IV и V категориям сложности определяется Кабинетом Министров Украины [22]. Рекомендуется следующая схема учёта классов последствий (ответственности):

- классу последствий СС-1 соответствуют I и II категории сложности;
- классу последствий СС-2 соответствуют III и IV категории сложности;

– классу последствий СС-3 соответствует V категория сложности.

В Постановлении Кабинета Министров Украины от 27 апреля 2011 г. № 557 [20] внесены дополнительные разъяснения, относящиеся к «Порядку отнесения объектов строительства к IV и V-ой категориям сложности. Подчёркивается, что при определении класса последствий (ответственности) объектов строительства следует руководствоваться требованиями ДБН В.1.2-14-2009, относящимся к возможным экономическим убыткам и другим утратам, связанными с приостановкой эксплуатации или утратой целостности объекта.

В соответствии с этим документом

– **К IV-й категории сложности** относятся объекты строительства, которые имеют хотя бы один из таких признаков:

1) рассчитанные на постоянное пребывание более 300 лиц и (или) периодическое пребывание больше 500 лиц;

2) представляют возможную опасность для более чем 10 000 лиц, которые находятся за пределами объекта;

3) в случае аварии или невозможности (нецелесообразности) дальнейшей эксплуатации:

- могут причинить убытки в объёме свыше 15 000 минимальных размеров зарплат;

- могут привести к приостановке функционирования объектов транспорта, связи, энергетики и инженерных систем регионального уровня;

- могут привести к утрате объектов культурного наследия местного значения.

– **К V-й категории сложности** относятся объекты строительства, которые имеют хотя бы один из таких признаков:

1) относятся к объектам повышенной опасности;

2) рассчитанные на постоянное пребывание более 400 лиц и (или) периодическое пребывание больше 1000 лиц;

3) представляют возможную опасность для более чем 50 000 лиц, которые находятся за пределами объекта;

4) в случае аварии или невозможности (нецелесообразности) дальнейшей эксплуатации:

- могут причинить убытки в объёме свыше 150 000 минимальных размеров зарплат;

- могут привести к приостановке функционирования объектов транспорта, связи, энергетики и инженерных систем общегосударственного значения;

- могут привести к утрате объектов культурного наследия национального значения.

Таблица 1 - Сравнительная таблица назначения категорий сложности/ класса последствий/ уровней ответственности зданий и сооружений в соответствии с ДБН В.1.1-12: 2006/ ДБН В.1.2-14-2009/ ГОСТ 27751 с изменениями от 1.01.1995 г.

Требования ДБН В.1.1-12: 2006			ДБН В.1.2-14	ДБН В.1.1-12	Требования ГОСТ 27751 -88 с изменениями от 1.01.1995 г.		
Карты ОСР - 2004	Уровень/ ответственности / класс последствий	Типы зданий и сооружений по назначению	Класс последствий / категория сложности	Карта сейсмичности	Уровни ответственности	Типы зданий и сооружений по назначению	Коэффициент надёжности по ответственности, γ_n
А0 Для Крыма и Одесской обл.	Пониженный	Малоответственные здания и сооружения. В других областях Украины применяется карта ОСР-А	- СС1		<i>III</i>	<i>Для сооружений сезонного или вспомогательного назначения (парники, теплицы, летние навильоны, небольшие склады и подобные сооружения)</i>	$0,8 < \gamma_n < 0,95$ ГОСТ 27751-88
А	Нормальный	Объекты массового гражданского, промышленного назначения, различные жилые объекты в городской и сельской местности	СС1/ I и II СС2	А/А0	<i>II</i>	<i>Для зданий и сооружений массового строительства (жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные)</i>	0,95 ГОСТ 27751-88; 0,90 – 1,0 ДБН В.1.2-14
В	Повышенный	Объекты повышенного уровня ответственности, с коэффициентом ответственности не менее 1,1 в соответствии с ГОСТ 27751-88	СС2/ III и IV	А/В	<i>I</i>	<i>Здания, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям (Приложение А ДБН В.1.2-14)</i>	0,95-1,2 ГОСТ 27751-88; 0,925 – 1,1 ДБН В.1.2-14
С	Особой ответственности	Особо ответственные объекты и сооружений с коэффициентом ответственности не менее 1.2	СС3/V	С	-	Объекты нефти- и газовой, металлургической, химической и горнорудной промышленности и др. (Приложение А ДБН В.1.2-14)	0,95 – 1,25 ДБН В.1.2-14; <i>Не менее 1,2</i> ГОСТ 27751-88

Примечание: Отнесение объекта к конкретному уровню ответственности и выбор коэффициента γ_n производится генеральным проектировщиком по согласованию с заказчиком с учетом Постановления КМ Украины [21] и Разъяснения Минрегиона Украины[21].

Указанные выше условия и сроки пребывания людей на строительных объектах определены в «Настанові ...» [23] Минрегиона Украины № 59 від 16.06.2011. Считается, что к категории «постоянно находящиеся на объекте» – относятся люди, которые находятся там не менее, чем восемь часов в сутки и не меньше 150 дней в году. Людьми, которые периодически посещают объект, считаются те, которые пребывают там не больше трёх часов сутки.

Постановлением КМ Украины № 368 от 24 марта 2003 г. определено, что «опасностью для жизнедеятельности людей являются возможные нарушения нормальных условий жизнедеятельности, возникшие больше, чем на трое суток». В связи с этим

К I-й категории сложности относятся объекты, для которых класс последствий (ответственности) СС1 определён по одному из признаков возможных последствий при отказе здания или сооружения, кроме характеристики «возможная опасность для здоровья и жизни людей, которые постоянно находятся на объекте», т.е. на объектах I-й категории сложности не предусматривается постоянного пребывания людей (теплицы, склады, павильоны и прочие).

Ко II-й категории сложности следует отнести объекты класса последствий СС1, если класс последствий (ответственности) СС1 определён по двум или более признакам возможных последствий от отказа здания или сооружения.

К III-й категории сложности относятся объекты класса последствий СС2, если класс последствий (ответственности) не отнесен к IV-й категории сложности.

Объекты IV и V-й категорий сложности в соответствии с Постановлением КМ Украины от 11.05.2011 № 560 подлежат обязательной государственной экспертизе.

При определении класса последствий (ответственности) и категории сложности объектов строительства в соответствии с рекомендациями ДБН В.1.2-14-2009 [15] и ДСТУ-Н Б В.1.2-16 [17] необходимо учитывать особенности применения этих документов при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений. Эти особенности связаны с характером сейсмических воздействий на конструкции при землетрясении и оценкой последствий таких воздействий.

Главная особенность такой оценки заключается в том, что категория сложности объектов строительства устанавливается на основе класса последствий (ответственности), приведенного в Таблице 1 ДСТУ-Н Б В.1.2-16. Назначение класса последствий (ответственности) на основе определённой категории сложности объекта является некорректным и недопустимым.

Класс последствий (ответственности) объекта устанавливаются независимо по каждой характеристике, указанной в Таблице 1 ДСТУ, в зависимости от возможных последствий отказов объекта в случае, когда:

- возможна опасность для здоровья и жизни людей, которые постоянно находятся на объекте;
- возможна опасность для здоровья и жизни людей, которые периодически находятся на объекте;
- возможна опасность для жизнедеятельности людей, которые находятся за пределами объекта;
- возникает возможность нанесения экономического ущерба;
- возникает возможность утраты объектов культурного наследия;
- возникает возможность приостановки функционирования объектов инженерно-транспортной инфраструктуры.

Класс последствий (ответственности) определяется для каждого дома, здания, сооружения или линейного объекта инженерно-транспортной инфраструктуры отдельно и устанавливается, соответствующим наивысшей характеристики возможных последствий, полученных по результатам расчётов. Методика расчёта с примерами расчёта подробно рассмотрена в ДСТУ.

Другая важная особенность методики заключается в том, что при соответствующем обосновании класс последствий (ответственности) может быть определён для отделённой части объекта.

Примечание: *Отделённая часть объекта – автономная конструктивная система, отделённая деформационно-температурным, антисейсмическим (при необходимости) швом, противопожарной стеной, имеет автономное инженерное обеспечение и законченный цикл производственного процесса (например, блок-секция, участок и тому подобное)* [17].

Таким образом, Изменение № 1 к ДСТУ-Н Б В.1.2-16 [17] даёт возможность при проектировании сейсмостойких зданий для определения класса последствий (ответственности) рассматривать не всё здание в целом, а только его отдельную часть (секцию), тем самым существенно уменьшая для расчётов количество находящихся на объекте людей, подверженных потенциально возможному риску воздействия опасных сейсмических событий.

Такое смягчение требований может быть объяснено тем фактом, что в многосекционном здании, в котором секции разделены антисейсмическими швами, как показывает опыт ликвидации последствий крупных землетрясений, – не все секции одновременно подвергаются разрушению при землетрясении. И, следовательно, случайные риски при

проектировании многосекционных сооружений не являются однозначными для каждой из рассматриваемых секций.

2.3. Учёт грунтовых условий при проектировании

При отсутствии карт сейсмического микрорайонирования для объектов массового гражданского, промышленного и сельского строительства допускается упрощенное определение сейсмичности площадки строительства на основе материалов инженерно-геологических изысканий согласно Таблицы 2. (Таблица 5.1 в ДБН). Уменьшение сейсмичности площадки строительства, указанной на карте СМР, по материалам общих инженерно-геологических изысканий с применением Таблицы 2 не допускается. Уточнение сейсмичности площадок строительства, нормативная балльность которых определяется по картам «В» и «С», выполняется на основе специальных исследований. *Для уточнения нормативной балльности следует проводить микросейсмо-районирование на площадке с учётом результатов полученных при инженерно-геологических изысканиях.*

Данная Таблица имеет некоторую аналогию с Таблицей 3.1 Европейских норм EN 1998-1:2004 [25], в которой тип грунта устанавливается в зависимости от описательных характеристик грунта, скоростей распространения поперечных сейсмических волн и физических параметров грунта, определяемых при исследовании методом пенетрации.

Нормами не рекомендуется без достаточного обоснования размещать проектируемые объекты на участках, неблагоприятных в сейсмическом отношении, к которым относятся площадки строительства:

- расположенные в зонах возможного проявления тектонических разломов на поверхности;
- с осыпями, обвалами, оползнями, карстом, горными выработками;
- с крутизной склонов более 15°;
- расположенные в зонах возможного прохождения селевых потоков;
- расположенные на цунамиопасных участках;
- сложенные грунтами IV категории по сейсмическим свойствам.

На площадках сейсмичностью 9 баллов, с неблагоприятными грунтовыми условиями, а также на грунтах IV категории, не допускается многоэтажная жилая застройка, строительство промышленных предприятий и энергетических объектов, не связанных с обслуживанием населения, проживающего в данной местности, а также строительство объектов *с постоянным или временным пребыванием в них 50 или больше людей* (школы, детские сады, больницы, торговые центры, театры, кинотеатры и тому подобное), где возможно скопление большого

Таблица 2

Расчетная сейсмичность площадки строительства в зависимости от категории грунтов по сейсмическим свойствам

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Грунты	Нормативная сейсмичность площадки строительства при сейсмичности района, баллы				Скорости сейсмических волн в грунте, V_s , м/с
		6	7	8	9	
I	Скальные грунты всех видов неветрелые и слабоветрелые; крупнообломочные грунты плотные мало-влажные из магматических пород, содержащие до 30% песчано-глинистого заполнителя.	5	6	7	8	$V_s > 800$
II	Скальные грунты выветрелые и сильно выветрелые; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ – для глин и суглинков, и $e < 0,7$ – для супесей.	6	7	8	9	$500 < V_s < 800$
III	Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,5$; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ – для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ – для супесей.	7	8	9	10	$200 < V_s < 500$
IV	Пески рыхлые водонасыщенные, склонные к разжижению; насыпные и почвенные грунты; плывуны, биогенные грунты и илы.	По результатам специальных исследований				$V_s < 200$

Примечание 1. В случае неоднородного состава грунты площадки строительства относятся к более неблагоприятной категории грунта по сейсмическим свойствам, если в пределах десятиметрового слоя грунта, считая от планировочной отметки в случае выемки и черной отметки - в случае насыпи, суммарная мощность слоев, относящаяся к этой категории, превышает 5 м.

Примечание 2. При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и (или) обводнения грунтов в процессе эксплуатации сооружения, категории грунта следует определять в зависимости от свойств грунта (степени влажности, показателя текучести) в замоченном состоянии (за исключением локального аварийного замачивания, влияние которого при уточнении сейсмичности площадки не учитывается).

Примечание 3. Пылевато-глинистые грунты (в т.ч. просадочные твердой консистенции или в твердом состоянии) при коэффициенте пористости вблизи значений $e = 0,9$ - для глин и суглинков и $e = 0,7$ - для супесей, могут быть отнесены к II категории по сейсмическим свойствам, если нормативное значение их модуля деформации $E \geq 15$ МПа, а при эксплуатации сооружений будут обеспечены условия неподтопления грунтов оснований. При отсутствии данных о консистенции или влажности глинистые и песчаные грунты при положении уровня грунтовых вод выше 5 м относятся к III категории.

Примечание 4. Преобладающий период собственных колебаний грунтовой толщи определяется по результатам микросейсмораионирования. В случае отсутствия данных сейсмического микрораионирования допускается определять период собственных колебаний грунтовой толщи по Приложению В ДБН.

Примечание 5. Сейсмичность площадки строительства определяется в целых баллах. Для грунтовых условий, при которых возможно определение категорий грунта по сейсмическим свойствам как промежуточное, определение балльности по интерполяции не допускается, а окончательное решение принимается изыскательской организацией по результатам дополнительных исследований и/или на основе комплексного анализа.

Примечание 6. Насыпные уплотняющиеся грунты при их отсыпании и массивы укрепленных грунтов в зависимости от их зернового состава, показателей e , I_L , S_r и величины модуля деформаций могут быть отнесены изыскательской организацией к II или III категории, по соответствующим требованиям, какие сформированные в описательной части таблицы

количества людей. На этих площадках следует размещать общегородские зоны отдыха, зеленые массивы, складские помещения, автобазы, гаражи, ремонтные мастерские, временные сельскохозяйственные, производственные и другие одноэтажные помещения.

Примечание: При необходимости строительства зданий и сооружений на площадках с крутизной склонов больше 15° следует предусматривать дополнительные мероприятия по обеспечению их устойчивости.

При необходимости строительства зданий и сооружений с новыми конструктивными решениями, с нерекондуемой нормами этажности и другими характеристиками сооружения и грунтов, отличающихся от нормативно обоснованных положений, следует рассматривать эти объекты, как объекты экспериментального строительства и принимать дополнительные меры по обеспечению их сейсмостойкости.

В каждом таком конкретном случае строительство объектов допускается только при специальном обосновании с разрешения органа регулирования Украины по строительству.

3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

3.1. Основные конструктивные требования для проектирования

Принятые в украинских нормах рекомендации по обеспечению безопасности зданий, изложенные в ДБН В.1.2-14-2009 [15], потребовали при разработке новой редакции Норм по сейсмостойкому строительству согласования общих принципов обеспечения безопасности сейсмостойких зданий и сооружений, представленных в ДБН В.1.1-12 редакции 2006 года. Эти требования связаны, прежде всего, с установлением взаимодействия между картами общего сейсмического районирования ОСР-2004, применяемыми для проектирования, и характеристиками возможных последствий отказа здания или сооружения.

К общим требованиям обеспечения конструктивной безопасности зданий относятся ряд требований, среди которых следует обратить внимание на следующие:

1. *Для зданий и сооружений высотой 73,5 м и более, а также для объектов класса последствий (ответственности) ССЗ в соответствии с ДБН В.1.2-14, следует применять требования настоящих норм при сейсмичности площадки строительства 6 баллов и более, в том числе с учетом положений, относящихся к соблюдению конструктивных требований к зданиям, возводимым в сейсмических районах интенсивностью землетрясений 6 баллов (Раздел 7.12 ДБН).*

2. Новые конструктивные схемы зданий и сооружений подлежат обязательной экспертной проработке в начале процесса проектирования специалистами научно-исследовательских организаций, являющимися базовыми в области сейсмостойкого строительства, в соответствии с ДБН В.1.2-5 [26].

3. Здания и сооружения и отдельные их элементы должны также удовлетворять требованиям, содержащимся в других нормативных документах, (если иное не оговорено в настоящих нормах).

4. Разработку проектной документации следует выполнять, исходя из сейсмической опасности площадки строительства, результатов расчетов, выполненных в соответствии с *разделом 6*, с учетом общих принципов проектирования и конструктивных требований *разделов 7 - 12*.

5. При проектировании сейсмостойких зданий и сооружений и при усилении зданий существующей застройки следует:

- принимать объемно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие, как правило, симметричность и регулярность распределения в плане и по высоте здания масс, жесткостей и нагрузок на перекрытия;

- конфигурацию здания и расположение вертикальных несущих элементов принимать такими, чтобы первые две формы собственных колебаний были поступательными (не крутильными);

- применять материалы, конструкции и конструктивные схемы, обеспечивающие наименьшие значения сейсмических нагрузок (легкие материалы, сейсмоизоляция, другие системы динамического регулирования сейсмической нагрузки);

- создавать возможность развития в определенных элементах конструкций допустимых неупругих деформаций;

- выполнять расчеты конструкций зданий и сооружений с учетом нелинейного деформирования конструкций;

- предусматривать конструктивные мероприятия, обеспечивающие устойчивость и геометрическую неизменяемость конструкций при развитии в элементах и соединениях между ними неупругих деформаций, а также исключающие возможность хрупкого их разрушения;

- обеспечивать рациональное размещение инженерного оборудования с учётом его влияния на уровень сейсмической нагрузки.

6. В случае применения сейсмоизоляции и других систем динамического регулирования сейсмических нагрузок, выбор той или иной системы, а также расчет и конструирование должны производиться с участием специализированных организаций.

3.2. Мониторинг и паспортизация объектов строительства

В новой редакции ДБН серьёзное внимание уделено вопросам осуществления сейсмического мониторинга и паспортизации проектируемых и строящихся объектов.

С целью получения достоверной информации о работе конструкций при землетрясениях и колебаниях прилегающих к зданиям грунтов, в проектах характерных основных типов зданий массовой застройки, зданий с принципиально новыми конструктивными решениями, а также особо ответственных сооружений, следует предусматривать размещение станций

инженерно-сейсмометрической службы (ИСС). Обязательная установка станций ИСС должна предусматриваться на объектах высотой более 73,5 м и ответственных зданиях и сооружениях, а также на объектах экспериментального строительства.

К основным требованиям к мониторингу проектируемых объектов относятся:

1. Проектируемые здания и сооружения классов последствий (ответственности) СС2 и СС3, а также:

– Особо ответственные и уникальные сооружения, в том числе производственные корпуса, складские здания объектов химической промышленности с токсичными и отравляющими веществами, взрывоопасные корпуса химико-фармацевтической промышленности и сооружения нефтехимической промышленности;

– Сооружения с одновременным пребыванием большого числа людей (крупные вокзалы, аэропорты, театры, цирки, музеи, выставочные и концертные залы с числом мест более 1000 чел, крытые рынки и стадионы). Здания и сооружения, эксплуатация которых необходима при землетрясении или при ликвидации его последствий (системы энерго- и водоснабжения, системы пожаротушения, телефонной и телеграфной связи, производственные корпуса тяжелой промышленности с непрерывным циклом работы, банков, государственных и местных административных органов, больниц с травматологическими и хирургическими отделениями и другие);

– Здания и сооружения больниц на 100 коек и более, родильных домов, акушерских корпусов, станций скорой помощи, школ, детских садов, высших учебных заведений, магистральных железных и автомобильных дорог и искусственные сооружения транспорта;

– Здания гостиниц, спальных корпусов учреждений отдыха на 250 мест и более,

при расчётной сейсмичности площадки строительства 7 баллов и более при возможности проявления оползней, карстов, цунами, различных изменений напряженно-деформируемого состояния конструкций вследствие просадок грунта на строительных площадках, должны проектироваться с особой ответственностью и для них необходимо предусматривать:

– сейсмологический и инженерно-сейсмометрический мониторинг земной поверхности, конструкций зданий и сооружений и деформации оснований при землетрясениях различной интенсивности;

– проведение сейсмического районирования и микрорайонирования, проверочных расчётов сейсмостойкости и оценку сейсмического риска в

случае изменения сейсмических условий площадки строительства, характеристик основания и сооружения во время эксплуатации;

– систему регламентных мероприятий персоналу ответственных сооружений в целях предотвращения или снижения негативного влияния опасных сейсмических процессов и явлений в период их эксплуатации.

2. Динамическая паспортизация объектов после завершения строительства, а также после обследования и реконструкции, выполняются в соответствии с процедурой, указанной в соответствующих нормативных актах.

3. Все здания и сооружения, указанные выше в п.1, должны подлежать обследованию после каждого сейсмического события интенсивностью 7 баллов и выше. По результатам сейсмического мониторинга и выполнения расчётов проводится оценка сейсмостойкости здания или сооружения, а также обосновывается необходимость усиления конструкций с целью обеспечения дальнейшей их безопасной эксплуатации.

Паспортизация объектов после завершения строительства, а также обследование и паспортизация существующих объектов должна выполняться в соответствии с действующими правилами по оценке технического состояния и паспортизации промышленных и гражданских зданий (сооружений), эксплуатируемых в сейсмических районах. Паспорт должен содержать обоснованные данные о применении соответствующей карты ОСР-2004 с учётом требований действующего законодательства по объектам повышенной опасности.

Динамическая паспортизация ответственных зданий и сооружений должна проводиться аккредитованными лабораториями, оснащёнными необходимым оборудованием и сейсмометрической аппаратурой. Она включает

– определение реакции зданий на специальные динамические воздействия в частотном диапазоне волн от 0,3 Гц до 40 Гц;

– определение частот, форм собственных колебаний, декрементов колебаний зданий и сравнение их с данными, принятыми в расчётах.

– формирование динамического паспорта здания на основе периодических динамических обследований, а также после прошедших землетрясений средней и сильной интенсивности (6 баллов и выше).

Динамическая паспортизация проводится для сооружений, указанных выше в п. 1, а также для корпусов ТЭЦ, центральных узлов доменных печей, резервуаров для нефти и нефтепродуктов, жилых и гражданских зданий от 16 этажей и выше, а также гидротехнических сооружений в соответствии с требованиями НД 31.3.002 [27].

3.3. Основные особенности и изменения нормативного документа

Нормы Украины по сейсмостойкому строительству имеют ряд особенностей:

1. Кроме карт ОСР-2004 в Нормы включён список населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах Украины. Сейсмической интенсивности в баллах сейсмической шкалы по картам «А0», «А», «В» и «С» соответствуют уровни ускорений, соответствующие «слабым землетрясениям» (СЗ) «проектным» (ПЗ) или «максимальным расчётным» (МРЗ) землетрясениям или их сочетаниям.

2. Для проектирования зданий и сооружений установлено однозначное соответствие между классом последствий (ответственности) и применяемыми картами сейсмического районирования ОСР-2004.

3. В ДБН приведены нормативная и расчетная сейсмичность площадки строительства от 6 до 9 баллов в зависимости от категории грунтов по сейсмическим свойствам, а также уточнена формула для определения коэффициента этажности (высотности) здания в сторону ограничения максимальной величины этого коэффициента (не более 1,5-1,6), вместо его значения, установленного в ДБН редакции 2006 г. в пределах от 1,8 до 2,0.

4. Для районов строительства с сейсмичностью площадки 6 баллов необходимо выполнение конструктивных мероприятий по обеспечению сейсмостойкости зданий.

5. С целью исключения резонансных режимов колебаний зданий при землетрясении рекомендуется соблюдать допустимые соотношения между периодами собственных колебаний сооружения и преобладающими периодами собственных колебаний грунтового основания (эти соотношения должны быть не меньше 1,5).

6. Для снижения сейсмических нагрузок предусматривается использование сейсмоизоляции и других систем динамического регулирования сейсмических воздействий. При этом в ДБН В.1.1-12:2014 вводится новый 12-й раздел: «Проектирование систем сейсмоизоляции зданий», в котором рассмотрены общие положения проектирования таких систем, область их применения, требования к системам, основные требования и положения динамического расчёта зданий с системами сейсмоизоляции.

Примечание: *Применение пассивных и систем активной сейсмоизоляции нашли широкое применение при проектировании и строительства во многих странах – Японии, Канаде, Америке, Китае, России, Мексике, в странах Европы. Их применение позволяет повысить безопасность зданий при сильных землетрясениях и достичь значимого*

экономического эффекта.

7. ДБН предусматривают на зданиях и сооружениях высотой более 70м и на объектах экспериментального строительства обязательную установку станций инженерно-сейсмометрической службы (ИСС).

8. Нормами рекомендуется для существующих ответственных объектов и сооружений высотой более 16 этажей проводить динамическую паспортизацию.

9. На основе проделанного в НИИСК анализа и обобщения международных данных по нормированию предельно допускаемых перекосов этажей зданий различных конструктивных систем, предложены дифференцированные показатели величин междуэтажных перекосов этажей в зависимости от уровней сейсмических воздействий, соответствующих Слабым (СЗ), Проектным (ПЗ) и Максимально расчётным землетрясениям (МРЗ).

10. Алгоритмы оценки сейсмостойкости зданий и сооружений, содержащиеся в Нормах, ориентированы на широкое применение существующих программных комплексов, реализующих, помимо требований данных норм, требования других нормативных документов Украины.

11. По результатам проведенных в НИИСК испытаний керамических блоков и кирпичной кладки, применяемых для строительства многоэтажных зданий в районах сейсмичностью 6, 7 и 8 баллов, были предложены уточнённые формулировки пунктов 3.10.2 ДБН В.1.1-12:2006, относящиеся строительству зданий со стенами из кирпича или каменной кладки. Уточненные формулировки в новых нормах представлены в следующем в пункте 7.10.2 в следующем виде:

Для кладки стен разрешается применять:

а) при сейсмичности 6, 7 и 8 баллов кирпич полнотелый или пустотелый марки не ниже чем М75 в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-61. Керамические изделия с пустотностью до 35 %, могут быть применены в строительстве жилых домов до 5-ти этажей при интенсивности сейсмических воздействий 7 и 8 баллов при условии обеспечения прочности кирпича и керамических камней не ниже, чем М150 и прочности раствора не ниже, чем М75 в реальных условиях площадки строительства при соответствующем контроле за этими показателями. В 9-ти балльных зонах следует применять только полнотелый кирпич.

б) бетонные камни, сплошные и пустотелые бетонные блоки (в том числе из легкого бетона плотностью не менее 800 кг/м³) марки М50 и выше.

Примечание: В ДБН редакции 2006 года в зонах сейсмичности 6, 7 и 8 баллов разрешалось применять для строительства полнотелый или пустотелый кирпич марки не ниже М75 с пустотностью до 20%, а

бетонные камни марки М50 и выше – с плотностью не меньше 1200 кг/м³.

12. Существенно переработан раздел ДБН «Гидротехнические сооружения». Его дополненные положения основаны на требованиях ДБН В.1.2-14, сейсмических и сейсмологических данных ДСТУ Б В.1.1-28 и ДБН В.2.4-3:2010 «Гидротехнические сооружения. Основные положения»[213]. Нормы регламентируют применение для расчёта прямого динамического метода (ПДМ) и линейно-спектрального метода (ЛСМ) при воздействии Проектного (ПЗ) и Максимального расчётного землетрясения (МРЗ) в зависимости от установленного класса или подкласса последствий (ответственности) гидротехнического сооружения (ГТС). Перечень сооружений, относящихся к тому или иному классу/подклассу последствий (ответственности) устанавливается проектной организацией при проектировании.

Примечание: 1. Для водопроводных и подземных ГТС классов ответственности СС3 и СС2-1, а также нефтегазопромышленных сооружений, нормы требуют выполнения расчётов на воздействие расчётных акселерограмм.

2. Для остальных гидротехнических сооружений, не относящихся к указанным классам ответственности, разрешается принимать выполнять расчёты по спектральному методу, принимая характеристики расчетных сейсмических воздействий в виде относительных расчётных ускорений, определяемых в зависимости от повторяемости землетрясений и установленных величин расчётных ускорений колебаний грунта a_0 для данной площадки.

3. В расчетах сооружений по линейно-спектральному методу (ЛСМ) материалы сооружения и основания считаются линейно-упругими.

В Таблице 9.3 Норм приводятся значения коэффициентов ответственности k_2 , учитывающих тип и назначения сооружения в зависимости от установленного класса последствий (ответственности) сооружения.

13. В ДБН версии 2014 года введен новый Раздел 10 «Откосы», который отсутствовал в ДБН В.1.1-12 редакции 2006 года. В этом Разделе приведены общие требования к откосам, направленные на проверку их устойчивости при сейсмических воздействиях, рассмотрены методы расчёта грунтовых склонов и требования по проверке эксплуатационной надежности во временном интервале с использованием упрощенной динамической модели и необходимостью учёта порового давления для водонасыщенных грунтов при циклических нагрузках от землетрясения.

Для потенциально разжижаемых грунтов требуется проверка на сдвиг, особенно в водонасыщенных грунтах. Рекомендуются проведение на строительной площадке стандартных испытаний методом динамического

зондирования (SPT) или методом статичного зондирования (СРТ), а также выполнение лабораторных исследований и построение кривых распределения размеров зерен грунта. Если грунты признаны склонными к разжижению и последующие эффекты способны повлиять на несущую способность или устойчивость фундаментов, для обеспечения устойчивости фундамента должны быть приняты меры по улучшению характеристик грунта и использованию свайного ростверка.

Если возможные осадки, вызываемые уплотнением или циклическим ослаблением, оказываются способными повлиять на устойчивость фундаментов, следует рассмотреть способы улучшения свойств грунтового основания

14. В ДБН разработана методика определения сейсмических нагрузок, отвечающая рекомендациям Еврокода 8. Её основные положения приведены в Приложении Г ДБН, которое относится к рекомендуемым методам и подробно представлена в монографии авторов НИИСК [29, 30].

4. ПРАВИЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ РЕКОМЕНДАЦИЙ ЕВРОКОДА 8 И ТРЕБОВАНИЙ ДБН В.1.1 - 12:2014

4.1. Основные сведения о строительных стандартах «Еврокод»

Еврокоды должны отвечать требованиям Директив Совета и Решениям Комиссии, имеющим отношение к Европейским стандартам (Директива Совета 89/106/ЕЕС на строительную продукцию – СРД – и Директивы Совета 93/37/ЕЕС, 92/50/ЕЕС и 89/440/ЕЕС на коммунальные работы и услуги, а также Директивы ЕФТА, принятой с целью становления внешнего рынка)

Строительные Еврокоды объединены по назначению в функциональные группы (10 групп). Каждая группа состоит из нескольких частей. Проектирование в сейсмических районах должно выполняться в соответствии с требованиями EN 1998 Еврокод 8: «Проектирование сейсмостойких конструкций» [Design of structures for earthquake] [31, 32, 33, 34, 35, 36].

В данном стандарте рассматриваются вопросы проектирования, расчета и конструирования зданий и сооружений, строящихся в сейсмических районах. Цель документа заключается в оценке параметров и последствий землетрясения, в соответствии с которыми:

- отсутствует угроза человеческой жизни;
- достигается минимальный материальный ущерб;

Национальный стандарт должен содержать полный текст Еврокода (включая приложения) в виде, соответствующем официальной публикации Европейского Комитета по Стандартизации (CEN). Национальному стандарту может предшествовать национальная титульная страница и национальное предисловие, а также может приведено Национальное приложение, имеющее информативный статус.

Национальное Приложение [National Annex] может содержать информацию только по тем параметрам, которые остались открытыми в Еврокоде для национального выбора, и которые известны как Национально Определяемые Параметры [Nationally Determined Parameters (NDPs)]. NDPs предназначены для использования при проектировании зданий и выполнении работ и имеют отношения к:

- величинам и/или классам, которым даны альтернативные понятия в Еврокоде;
- используемым величинам, для которых в Еврокоде приводятся только символьные обозначения;
- специфическим данным страны-участницы (географическим, климатическим геологическим, сейсмологическим и так далее);
- процедурам, к которым в Еврокоде приводятся альтернативные процедуры.

Одной из фундаментальных проблем документа EN 1998-1 является определение сейсмического воздействия. Имеет место большая разница между сейсмической опасностью и сейсмологическими характеристиками в разных странах. Однако указанные характеристики в Еврокоде и Национальном приложении должны определяться в общих терминах. Границы использования позволяют применять разные национально определенные параметры (NDPs), которые должны быть подтверждены или изменены в Национальных приложениях. Следует учесть, что в EN 1998-1 сделан важный шаг на пути гармонизации стандартов путем использования общей основной модели представления сейсмического воздействия.

Национальный выбор в Стандарте EN 1998-1 определен в специальной таблице со ссылкой на положения/требования, включающей 55 пунктов, т.е. положения, которые должны быть обозначены в Национальном Приложении в качестве нормативных.

4.2. Проектирование зданий с ожидаемым уровнем обеспечения сейсмостойкости и учетом рекомендаций АТС-40 и ЕВРОКОДА 8

4.2.1. Основные положения

Полученные результаты ориентированы на преимущественное использование метода спектра несущей способности (СНС), рекомендованного Еврокодом 8 и международными стандартами.

Эффективность применения метода проектирования сейсмостойких зданий и сооружений в Национальных приложениях стран, обеспечивающего гармонизацию принятых решений с требованиями Еврокода 8 и современными достижениями, содержащимися в Кодах других зарубежных стран (США, Японии, Канады, Австралии, Новой Зеландии и других европейских и азиатских странах), являются основой обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений.

4.2.2. Методы определения сейсмически сил и рекомендации Еврокода 8

Практическая реализация расчета зданий на сейсмические нагрузки приводит к необходимости использовать различные методы расчёта, среди которых Европейский стандарт EN 1998 (Еврокод 8, Часть 1) ориентирует проектировщиков на применение именно такого подхода при оценке сейсмостойкости зданий и сооружений, в котором могут рассматриваться несколько методов решения:

- **Линейный статический анализ** (обычно называемый статическим методом поперечных сил);

- **Модальный анализ спектра реакции** (метод рекомендуется использовать в качестве референтного метода линейно-динамического анализа, в котором применяется линейно-упругая модель конструкции и проектный спектр реакции). В нормативных документах Украины и стран СНГ этот метод принято называть «**спектральным методом**»;

- **Нелинейный статический анализ** (известный как «расчет на предельную прочность» [Pushover Analysis]). Метод основан на анализе последовательности разрушения элементов конструкций при действии внешней нагрузки на конструкцию;

- **Нелинейный динамический анализ** (пошаговый анализ акселерограмм землетрясений во времени с учетом рассмотрения всех известных нелинейностей [Non-linear Time History (dynamic) Analysis]).

Общая схема рекомендованных Еврокодом 8 методов определения нагрузок приведена на рис. 3.

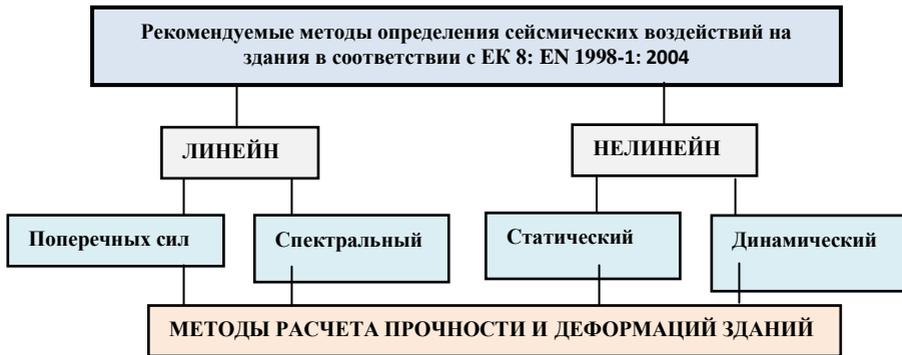


Рис. 3. Методы определения сейсмических воздействий на конструкции

4.2.3. Нелинейные методы определения заданных перемещений. Нелинейный статический анализ (Pushover Analysis). Методика АТС-40

Неупругие характеристики перемещений, относящиеся к целевым (заданным) перемещениям, отражают некоторую интегральную ситуацию, соответствующую перемещениям конструкций зданий при воздействии Проектного землетрясения.

Оценка целевых перемещений осуществляется с применением расчета, основанного на последовательном анализе разрушения конструкций при действии внешней нагрузки (анализе предельной прочности здания), который в иностранной литературе получил название Pushover Analysis [37 - 39].

Для практического использования разработаны процедуры оценки сейсмической реакции на основе сглаживающих спектров сейсмических воздействий и преобразования системы со многими степенями свободы к системе с одной эквивалентной массой $M_{\text{экв}}$ и обобщенной горизонтальной жесткостью $K_{\text{экв}}$. Схема такого преобразования показана на Рисунке 4.

Нелинейный статический анализ, рекомендованный (АТС-40) [37], с некоторыми дополнительными упрощениями, принят в Еврокоде 8, как основной инструмент определения сейсмических нагрузок на конструкции зданий и сооружений.

Если обозначить аналогично, принятую в АТС-40, величину эквивалентной массы $M_{\text{экв}} = M^*$ и горизонтальную жесткость $K_{\text{экв}} = K^*$ одно-массовой системы, а также предположить, что основная форма перемещений будет соответствовать колебаниям по первой форме многомассовой консольной системы, как это показано на рисунке 4, то период колебаний эквивалентной системы конструкций T может быть записан в виде:

$$T_{\text{экв}} = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K^*}}, \quad (1)$$

где

$$K_{\text{экв}} = K^* = \frac{F_y^*}{u_y^*}. \quad (2)$$

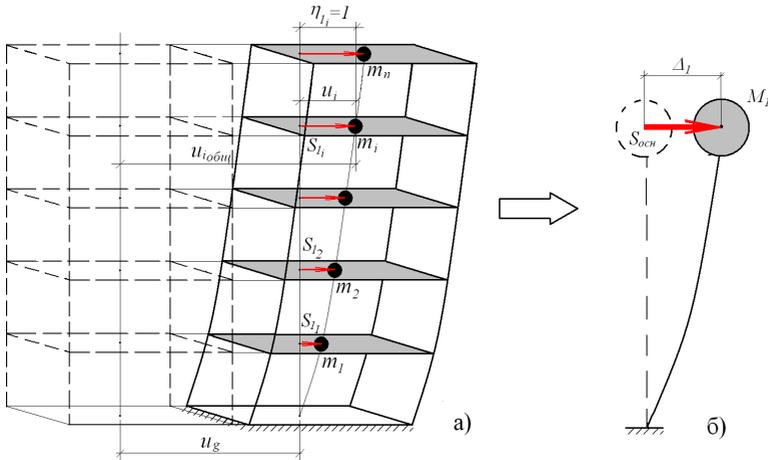


Рис. 4. Схема преобразования многомассовой системы к эквивалентной системе с одной степенью свободы

Здесь индекс «у» [yield] характеризует предельную прочность (условную текучесть) конструкции, относящуюся к эквивалентной системе с одной степенью свободы, а величина u_y^* относится к перемещениям, соответствующим такому же состоянию конструкций. При указанных допущениях следует также учитывать, что перерезывающие силы V_0 в основании здания, вызванные действием горизонтальных сейсмических нагрузок S_i , в двух рассматриваемых системах равны между собой. Принятая процедура решения задачи включает следующие последовательные этапы, включающие:

1. Выполняется расчет несущей способности конструкций (Pushover Analysis) одним из известных методов расчета и осуществляется вычисление перемещений конструкций в верхнем уровне Δ_1 [Roof Displacement], а также определяется суммарная поперечная сила V_0 [Base Shear] в основании сооружения. Между каждой точкой графика V_0 – u_1 существует нелинейная зависимость, характеризующая кривую несущей

способности конструкции здания в целом (см. рис. 5). Расчетная модель здания должна отражать все особенности деформирования конструкций, элементов и узлов сопряжения конструкций, включая особенности архитектурно-планировочного решения проектируемого здания и характер приложения действующих нагрузок.

Примечание: Кривая несущей способности обычно строится для того, чтобы отобразить реакцию первой формы колебаний всего здания, основываясь на допущении, что основная форма колебаний является преобладающей реакцией здания (конструкции). В большей степени такое допущение соответствует реакции здания, для которого период основного тона колебаний не превышает 1 секунды. Для более гибких зданий, у которых основной период более 1 секунды, необходимо учитывать влияние высших форм колебаний на результаты расчёта.

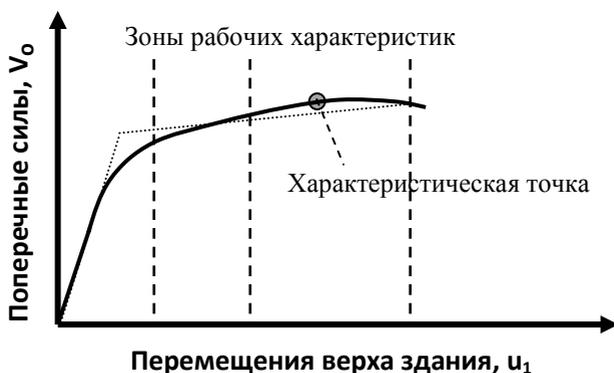


Рис. 5. Кривая несущей способности здания, $V_0 - u_1$

2. Следующий этап включает процедуру преобразования кривой несущей способности в спектр несущей способности. Спектр несущей способности является изображением кривой несущей способности в формате «Спектр Реакции Ускорение – Перемещение» [Acceleration-Displacement Response Spectrum] (ADRS), (то есть, его форма представляет собой график изменения сейсмических ускорений S_a в зависимости от сейсмических перемещений S_d) [40, 41, 42]. Для этого вначале следует представить нелинейную кривую несущей способности системы со многими степенями свободы (рис. 5) в виде билинейного графика (рис. 6) или его частного случая (в виде диаграммы Прандтля) для пластических систем.

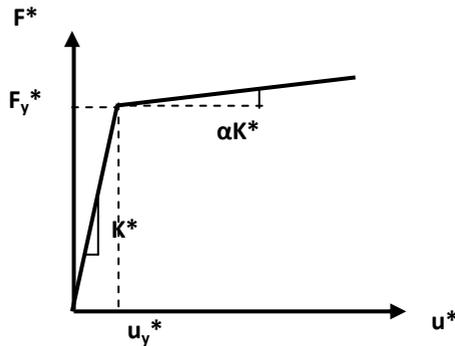


Рис. 6. Аппроксимация кривой несущей способности $V_o - u_1$ в виде двух линейных прямых в системе с эквивалентной жесткостью K^*

3. Требуемые для выполнения указанного преобразования зависимости имеют вид в обозначениях, принятых в АТС-40.

Спектральное ускорение

$$S_a = \frac{V_o}{\alpha_1 W} = \frac{M^* \ddot{u}_o(t)}{\alpha_1 M^* g} = \frac{\ddot{u}_o(t)}{\alpha_1 g} = \frac{a_o}{\alpha_1} \quad (3)$$

Спектральное перемещение

$$S_d = \frac{\Delta_r}{k_{\phi 1} \phi_{r1}} \quad (4)$$

В этих формулах:

W – общий вес здания (kN);

V_o – поперечная сила в основании (kN);

$\Delta_r = \Delta_1$ – перемещение в верхнем уровне здания (на уровне крыши [roof]);

α_1 – коэффициент модальной массы для основной (первой) формы колебаний;

$k_{\phi 1}$ – параметр вклада (модального участия) основной формы колебаний;

ϕ_{r1} – амплитуда первой формы колебаний в уровне крыши (верха здания);

S_a - спектральное ускорение (м/с² или см/с²);

S_d - спектральное перемещение (м или см);

$V_o = M^* \ddot{u}_o(t)$, где $\ddot{u}_o(t)$ - максимальная амплитуда ускорений в основании;

$a_o = \ddot{u}_o(t) / g$ – коэффициент сейсмичности (в долях от g),

соответствующий пониманию ДБН [13].

Коэффициент модальной массы α_1 и коэффициент вклада первой формы собственных колебаний конструкции $k_{\phi 1}$ определяются следующим образом:

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (m_i \phi_{i1}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n m_i \right] \left[\sum_{i=1}^n (m_i \phi_{i1}^2) \right]} ; k_{\phi 1} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (m_i \phi_{i1}) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (m_i \phi_{i1}^2) \right]} . \quad (5)$$

где

m_i – масса в уровне i многомассовой системы, равная весу w_i / g (в долях от g);

$i = 1, 2 \dots n$; n – общее количество масс (рис. 4).

Стандартный спектр реакции (рис. 3.1 в EN 1998-1: 2004) представляет собой зависимость спектрального ускорения S_a от периодов собственных колебаний T .

В украинских нормах он выражен в виде графика зависимости коэффициента динамичности β от периода T собственных колебаний здания, в секундах (Рисунок 6.2 ДБН В.1.1-12:2014 [13]).

Зависимость между спектром ускорений S_a динамической системы и спектром перемещений S_d определяется следующей формулой

$$S_a = \omega^2 S_d , \quad (6)$$

где ω^2 – квадрат круговой частоты собственных колебаний.

Из формулы (6) можно получить соотношение между S_d и S_a для каждой i -ой точки на кривой спектра в виде:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g, \quad (7)$$

которое, как это принято в европейских и американских нормах, представлено в долях от ускорения свободного падения g материальной точки.

Принимая заданные величины из стандартного спектра, получаем искомые значения для спектра $S_a - S_d$. Общий вид таких преобразований представлен на рисунке 7. Периоды T_i в этом формате соответствуют прямым линиям с расходящимися лучами из начала координат $(0,0)$, а ниспадающая ветвь спектра соответствует изменениям амплитуд спектра скоростей S_v .

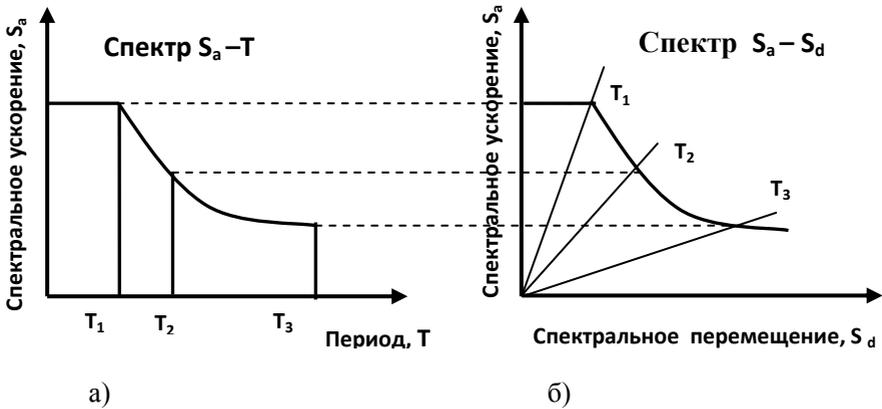


Рис. 7. Преобразование стандартного спектра реакции «ускорение – период колебаний» $[S_a - T]$ (а) в спектр реакции «ускорение – перемещение» $[S_a - S_d]$ (б)

4. Для того, чтобы преобразовать спектр несущей способности из кривой несущей способности, необходимо последовательно точка за точкой выполнить преобразование спектральных координат по первой форме колебаний. Любая точка V_i, Δ_{roof} на кривой несущей способности (рис. 5) преобразовывается в соответствующую точку $S_{ai} - S_{di}$, на спектре с помощью формул (3) и (4). Общая форма кривых спектра несущей способности и его преобразования в формат «ускорение-перемещение» показана на рис. 8.

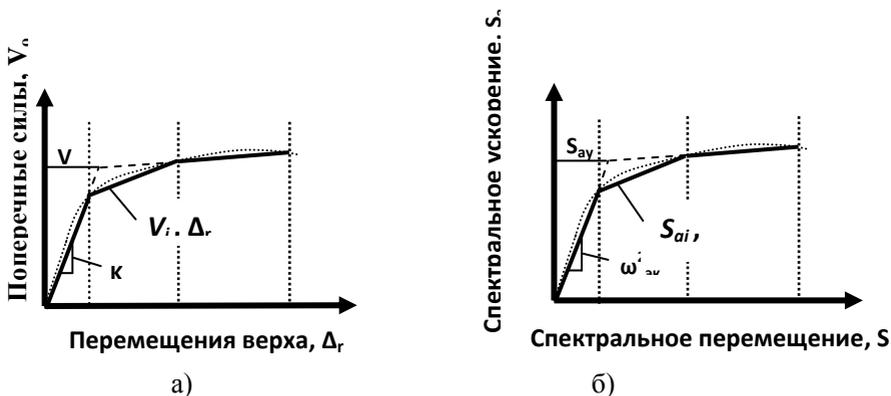


Рис. 8. Преобразование спектра несущей способности из формата «поперечные силы - перемещения» $[V_o - \Delta_r]$ (а) в формат «спектральное ускорение – спектральное перемещение» $[S_a - S_d]$ (б)

5. Соотношения параметров для эквивалентной системы с одной степенью свободы, соответствующие обозначениям на Рисунке 4, получаем в виде:

$$M^* = \alpha_1 M; \quad (8)$$

$$K^* = \omega_{\text{эв}}^2 M^*; \quad (9)$$

$$F_y = V_y = S_{ay} W^*. \quad (10)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

M – масса здания (т);

M^* – эквивалентная (эффективная) масса системы с одной степенью свободы [SDOF] (т);

K^* – эквивалентная (эффективная) горизонтальная жесткость системы SDOF (кН/м);

$\omega_{\text{эв}}$ – эквивалентная (эффективная) частота собственных колебаний системы SDOF (рад/с);

$W^* = M^* g$ – эквивалентный (эффективный) вес здания (т·см/с²);

S_{ay} – спектральное ускорение, соответствующее пределу прочности (условной текучести) конструкций (м/с²);

F_y – сила, соответствующая условия образования текучести (кН);

V_y – поперечная сила (нагрузка) в основании здания (кН).

Известны предложения Чопра и Гоел [43] по совершенствованию подхода ATC-40 [37] для получения зависимости между поперечной силой

(нагрузкой) и перемещением в эквивалентной системе SDOF. Предложения относят к альтернативному методу. В этом методе также используется форма перемещений системы со многими степенями свободы [MDOF] и предполагается представить её в виде эквивалентной (эффективной) первой формы собственных колебаний, которая в дальнейшем применяется для расчета нагрузки. Конструкция со многими степенями свободы MDOF представляется эквивалентной системой в виде системы с одной степенью свободы SDOF, имеющей те же самые характеристики жесткости, что и конструкция MDOF с эквивалентной (эффективной) массой $M_{эKB}$, как показано на рис. 4.

6. Дальнейшее использование методики спектра несущей способности по ATC-40 сводится к анализу оценки двух спектров (*стандартного спектра $S_a - T$ и спектра $S_a - S_d$*), приведенных на рис. 9. На каждый из них наносится график «спектра несущей способности» (рис. 8), представленный в соответствующем формате. В качестве исходного спектра используется «стандартный спектр» с 5% затуханием. Общий вид результирующих спектров приведен на рис. 9.

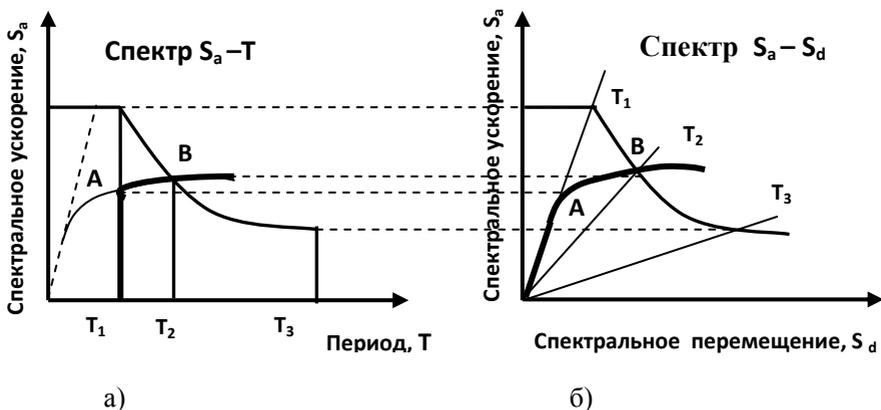


Рис. 9. Спектр «несущей способности» (предельной нагрузки), совмещенный со спектром реакции в стандартном формате (а) и в формате «ускорение - перемещение» [ADRS] (б)

Период колебаний T_1 на кривой несущей способности здания на «стандартном спектре» является постоянной величиной вплоть до точки **A** на ординате спектрального ускорения S_a , где кривая несущей способности пересекается с абсциссой графика, соответствующую значению периода T_1 спектра (рис. 9). Точке **B** соответствует другой период, равный T_2 . Это

свидетельствует о том, что при развитии пластических деформаций в конструкции здания, период колебаний увеличивается, что отчетливо видно на обоих рассматриваемых графиках.

7. Дальнейшие преобразования метода спектра несущей способности в формате представления АТС-40 сводятся к построению некоторого сниженного (уменьшенного) спектра реакции, характеризующего возникновение неупругих деформаций в конструкции. В иностранной литературе существует значительное количество предложений для построения таких спектров. Основные положения АТС-40 основываются на гипотезе, отражающей характер демпфирования конструкций при знакопеременных нагружениях при гармонических колебаниях. Условно можно считать, что такой закон деформирования будет приемлем для описания эффектов затухания, возникающих при сейсмических колебаниях.

Предполагается, что демпфирование, возникающее при сейсмических колебаниях грунта, способствует проявлению в конструкции неупругих деформаций и рассматриваются сочетания как вязкого демпфирования, которое возникает внутри конструкции, так и гистерезисного затухания, связанного с процессом знакопеременных динамических колебаний. Гистерезисное затухание характеризует область петли гистерезиса и может быть представлено в качестве эквивалентного вязкого демпфирования, используя равенства, известные в теории колебаний.

Подробные преобразования характеристик затухания и необходимые иллюстрации, сопровождающие вывод коэффициентов редукции для построения уменьшенного спектра, учитывающего возникновение в конструкциях неупругих деформаций, можно найти в ряде публикаций [37, 44, 45]. Упругий спектр реакции (при 5% затухании) преобразуется к спектру реакции, в котором значения затухания превышают 5% от критического затухания (рис. 10). Построение уменьшенного (редуцированного) спектра реакции выполняется с использованием коэффициентов редукции, которые принимают для участка спектра реакции с постоянным ускорением и для участка ниспадающей ветви спектра (с постоянной скоростью) колебаний различные значения.

Уменьшенный спектр реакции вычисляется путем умножения каждой точки спектра на соответствующие коэффициенты редукции R_A или R_V .

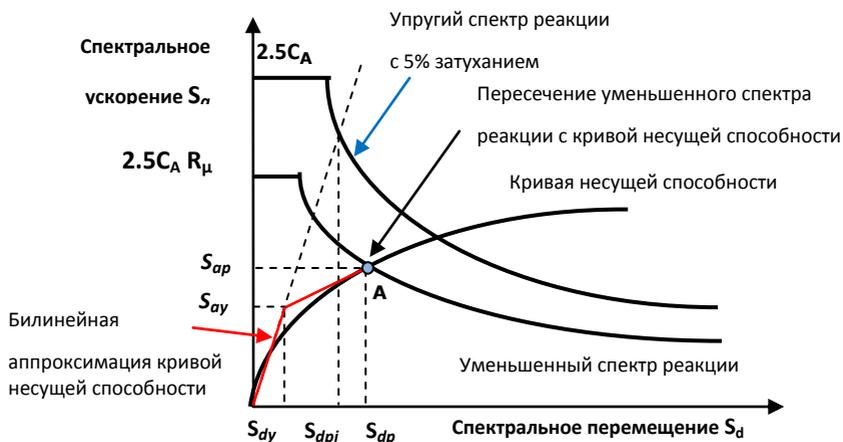


Рис. 10. Построение уменьшенного спектра реакции с применением коэффициентов редукции R_μ (на примере американского Кода UBC-1997)

Точка **A**, нанесенная на пересечении уменьшенного спектра и спектра несущей способности, и является той самой искомой характеристической точкой, которая определяет резерв несущей способности конструкций, запроектированной по упругому спектру. С учетом такого резерва конструкции могут быть запроектированы более экономично, нежели это предусматривается существующими нормами проектирования с применением спектральной теории. В американском Коде UBC-1997 [9] даны конкретные указания по назначению редукционных коэффициентов, которые изменяются в довольно широком диапазоне для различных конструкций.

Для существующих железобетонных зданий, которые, как правило, не являются пластичными конструкциями, расчет эквивалентного вязкого демпфирования с использованием идеализированной петли гистерезиса приводит к переоценки эквивалентного вязкого демпфирования и нуждается в корректировке.

Учитывая, что величины редукционных коэффициентов R_A и R_V уже определены в нормативном Коде США, Руководство ATC-40 рекомендует вначале определять на графике типа 10 некоторую «пробную» точку «*i*», которая должна лежать в интервале изменения её значений $\pm 5\%$ от расположения характеристической точки **A** на пересечении спектра реакции и спектра несущей способности.

Примечание: В случае, если указанное ограничение для «пробной» точки не соблюдается, Руководство рекомендует выполнить итерационную процедуру, обеспечивающую удовлетворение заданным требованиям. По нашему мнению, такой подход слишком усложняет дальнейшие вычисления и проблема требует более простого решения, которое должно быть принято при разработке Национального Приложения к Еврокоду. В качестве альтернативного решения можно использовать описанную выше концепцию построения уменьшенных спектров реакции, отказавшись от существующего в ДБН [13] коэффициента k_1 , учитывающего проявления при землетрясении пластических деформаций и повреждения конструктивных элементов здания.

4.2.4. Проверка рабочих характеристик

В АТС-40 предложено три процедуры нахождения характеристической точки. Сравнение этих методов показало, что результаты отличаются незначительно. На практике в большей степени применяется первая Процедура, которая описана выше.

Когда характеристическая точка **A** (точка рабочих характеристик Sa_p, Sd_p) найдена, необходимо проверить полученные результаты путем их сравнения с характеристиками, установленными нормативными требованиями. Для этой цели:

1. С использованием уравнений (3) и (4) определить горизонтальную силу в основании сооружения (V_p) и перемещение в верхнем уровне здания (Δ_{1p}), отвечающие найденной точке рабочих характеристик .

2. Проверить основные требования относительно обеспеченности требований сейсмостойкости конструкций при заданном уровне пластических деформаций:

- определить коэффициент пластичности перемещения $\mu = Sd_i / Sd_y$;
- убедиться, что сопротивление поперечной силе не должно понизиться более чем на 20 % от максимального значения;
- процент армирования несущих конструкций не должен превышать допустимые значения;
- предельные поперечные перекосы этажей не должны превышать перекосов, установленных для зданий различных конструктивных систем и удовлетворять пределам, приведенным в табл. 3.

Допускаемые предельные перекосы этажей зданий [37]

Пределы рабочих характеристик, удовлетворяющих требованиям				
Пределы межэтажных перекосов	Возможность незамедлительного заселения	Допустимые повреждения	Безопасность жизнедеятельности	Устойчивость конструкции
Общий максимальный перекос	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.03 \frac{V_i}{P_i}$
Максимальный неупругий перекос	0.005	0.005 – 0.015	Нет ограничений	Нет ограничений

В таблице приведены следующие обозначения: V_i – общая поперечная сила в уровне i – го этажа здания; P_i – общая гравитационная нагрузка (постоянная плюс временная нагрузка) в уровне i – го этажа.

В национальном приложении допустимые перекосы зданий различных конструктивных схем следует принимать по Таблице 6.8 ДБН В.1.1-12: 2014.

Как видно из этой таблицы, пределы рабочих характеристик, относящиеся к «возможности незамедлительного заселения» после землетрясения и «допустимым повреждениям конструкций», отличаются незначительно. Между ними можно установить некоторую общую грань, упрощающую анализ зданий.

Таким образом, представленная методика проектирования зданий с ожидаемым уровнем обеспечения сейсмостойкости конструкций, полностью охватывает весь объем работ, который следует выполнить при проектировании.

***Примечание:** Как уже рассматривалось выше, нелинейный расчет конструкций с применением методики спектра несущей способности должен быть разработан в Национальном Приложении с учетом специфики действующих в стране требований и особенностей проектирования заданного уровня обеспечения сейсмостойкости с учетом нелинейной работы конструкций и демпфирующих свойств применяемых материалов.*

3. Следует также определить и классифицировать конструкции зданий по типам конструктивных решений с ориентацией на свойства несущих элементов (сжато-изогнутые рамы, плитно-ребристые конструкции, массивные стены, спаренные стены, стены с проемами, перфори-

рованные стены, междуэтажные диафрагмы, фундаменты и другие особенности).

4. Следует определить все первичные и вторичные элементы (конструктивные и неконструктивные элементы) и оценить критические компоненты возможных воздействий и повреждений конструкций в целях проверки их соответствия лингвистическим параметрам, представленным в Шкале сейсмической интенсивности землетрясений согласно [12, 11].

5. Неконструктивные элементы также должны быть проверены с учетом рекомендаций АТС-40 и других документов с учетом принятых для них рабочих характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.1-12: 2006. Будівництво у сейсмічних районах України. – [Чинні від 2007-01-02]. – К.: Мінбуд України, 2006. -82 с. – (Будівельні норми України).
2. Строительство в сейсмических районах: СНиП II-7-81*. / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002.
3. Kendzera A., Omelchenko V. Seismic Hazard of the Territory of Ukraine. – 10 p. - Int. Proc. Science and Technology for safe Development of Lifeline Systems. – Natural Risks: Developments. Tools and Techniques in the CEI Area, Nov. 4-5, 2003, Sofia, Bulgaria. <http://cismee.geophys.bas.bg/papers/Kendzera-Ukraina.pdf>.
4. Пустовитенко Б.Г. Сейсмологические аспекты оценки сейсмического риска для территории г. Измаила / Пустовитенко Б.Г., Скляр А.М. // Геофизический журнал, 1996. - т.18, № 1. - С.73-80.
5. Пустовитенко Б.Г. Новые данные о сейсмической опасности г. Одесса и Одесской области / Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. – 13 с. Опубликовано на сайте Ассоциации украинского сейсмостойкого строительства 08.09.2006. <http://ww.seism.org.ua/seism04-02-r.html>
6. Строительство в сейсмических районах. / Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства торговли республики Казахстан СНиП РК 2.03-30-2006. – Алматы: ТОО «Издательство LEM», 2006. - 80 с.
7. КМК 2.01.03-96. Строительство в сейсмических районах / Госкомархитектстрой Республики Узбекистан. – Ташкент, 1996. – 147 с.
8. СНРА II-6.02-2006. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования / Строительные нормы Республики Армения / Министерство Градостроительства Республики Армения. – Ереван, 2006. - С. 63 – 120.
9. UBC – 1997. UNIFORM BUILDING CODE™. Volume 2. Structural Engineering Design Provisions, 1997: International Conference of Building Officials. – U.S.A., 1997.

10. ГОСТ 6249-52. Шкала для определения силы землетрясения в пределах от 6 до 9 баллов. Взамен ОСТ 4537 / Госкомитет Совета Министров Союза ССР по делам строительства. Срок введения 1/І 1953 г. – Стандартгиз. – 3 с.
11. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності: ДСТУ Б В.1.1-28:2010. – [Чинний від 2011.10.01]. - К.: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 47 с. – (Державний стандарт України).
12. EMS-98. European Macroseismic Scale 1998 /Editor G. Grünthal - Chairman of the ESC Working Group "Macroseismic Scales". GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany.–Luxembourg, 1998. – 80 p.
13. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 14:2014 / науковий керівник Ю.І. Немчинов. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - VI, – 110 с. – (Будівельні норми України).
14. РСН 65-87.Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ/ Госкомитет РСФСР по делам строительства // Внесены ПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР Утверждены 30 июля 1987 г. № 125. Введены с 1 января 1988 г. – 14 с.
15. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ (зміна №1 від 22.12.2011р. Наказ № 374 від 1 квітня 2012 р.): ДБН В.1.2-14-2009. — К.: ДП «Укрархбудінформ». 2009. – 37 с.
16. Закон України від 18.01.2001 р. № 2445-III «Про об'єкти підвищеної небезпеки».
17. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва: ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. [Чинний від 2013-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 37 с. - (Національний стандарт України).
18. ГОСТ 27751-88 [СТ СЭВ 384–87]. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету / Госстрой СССР. – Издательство стандартов. – М: 1989. – 9 с.
19. Изменение № 1 ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту». Згідно з Наказом Держкоммістобудування України від 06.04.95 № 65 з 01.07.1995 р. на території України вводиться в дію зміна № 1, прийнята Міждержавною науково-технічною Комісією зі стандартизації та технічного нормування в будівництві (МНТКС) 10 листопада 1993 р.
20. Постанова Кабінету Міністрів України № 557 від 27 квітня 2011 р. «Про затвердження Порядку віднесення об'єктів будівництва до IV і V категорій складності». Офіційний вісник України № 41, 2011, с. 51 – 52.
21. Роз'яснення Мінрегіонбуду (лист № 24-10/2759/0/6-11 від 04.04.2011) «Про визначення категорій складності об'єктів будівництва».
22. «Про визначення категорії складності об'єктів будівництва». Лист Мінрегіона України від 04.04.2011 № 24-10/2759/0/6-11. – 1 с.

23. «Настанова щодо застосування будівельних норм у частині віднесення об'єктів будівництва до категорій складності для подальшого проектування і експертизи». Схвалено рішенням Науково-технічної ради Міністерства регіонального розвитку та будівництва України № 59 від 16.06.2011. Інформаційний бюлетень № 7, 2011, с. 17 – 27.
24. Зміна № 1 ДСТУ Б В.1.2-16:2013. «Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва». Наказ Мінрегіону України від 12 травня 2014 року № 135, чинна з 1 липня 2014 року.
25. EN 1998-1: 2004 Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings /cen/European Committee for Standardization. – Brussels.
26. Науково- технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів / Мінрегіонбуд України. – Киев: ДП «Укрархбудінформ». – Київ: 2007. – 14 с.
27. НД 31.3.002-2003. Інструкція з інженерного обстеження та паспортизації портових гідротехнічних споруд (Мінтранс України).
28. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. В двух частях / Немчинов Ю.И. - Киев, 2008. – 480 с.
29. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / [Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Хавкин А.К., Бабики К.Н.]. – К.: Гудименко С.В., 2012. – 384 с.
30. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость высотные зданий и сооружений / Немчинов Ю.И. – К.: Гудименко С.В., 2015. – 584 с. с илл.
31. **Eurocode 8**: Design of structures for earthquake resistance – **Part 1**: General rules seismic actions and rules for buildings. CEN. Ref. No. EN 1998-1: 2004: E. – 229 pp.
32. **Eurocode 8**: Design of structures for earthquake resistance – **Part 2**: Bridges. CEN. Ref. No. EN 1998-2: 2005: E. – 146 pp.
33. **Eurocode 8**: Design of structures for earthquake resistance – **Part 3**: Strengthening and repair of buildings. CEN. Ref. No. EN 1998-3: 2005: E. – 89 pp.
34. **Eurocode 8**: Design of structures for earthquake resistance – **Part 4**: Silos, tanks and pipelines. CEN. Ref. No. EN 1998-4: 1996: E. – 108 pp.
35. **Eurocode 8**: Design of structures for earthquake resistance – **Part 5**: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects. CEN. Ref. No. EN 1998-5: 2004: E. – 44 pp.
36. **Eurocode 8**: Design of structures for earthquake resistance – **Part 6**: Towers, masts and chimneys. CEN. Ref. No. EN 1998-6: 2005: E. – 47 pp.
37. ATC-40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings - Volume 1 and 2, Applied Technology Council. Report No. SSC 96-01, Seismic Safety Commission, Redwood City, CA. – November 1996.

38. FEMA 273. Federal Emergency Management Agency. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C.. – October 1997.
39. FEMA 356. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, D.C. - November 2000.
40. Freeman S.A. Development and Use of the Capacity Spectrum Method. – Proceedings, 6th US National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, 1998, paper No 269.
41. Freeman S. A. Review of the Development of the Capacity Spectrum Method. ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 438, Vol. 41, No. 1, March 2004, pp. 1-13.
42. Freeman S. A., Irfanoglu A., Paret T.F. Earthquake Engineering Intensity Scale: A Template with Many Uses/ 13th World Conference on Earthquake Engineering. - Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004. Paper No. 1667. – 15 p.
43. Chopra A. K., Goel R. K. Capacity-demand diagram methods based on inelastic design spectrum // Proceedings of 12 World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000: / paper №1612.
44. Chopra A. K. Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey: 1995. – 794 pp.
45. Farzad Naeim, Hussain Bhatia, Roy M. Lobo. Performance based seismic engineering. Chapter 15 in Book – The Seismic Design Handbook/ Farzad Naeim. Second edition. – October 2000, pp. 757 - 792.

Статья поступила в редакцию 25.08.2015 г.