



# 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 1998-1 (ЕВРОКОД 8) И ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013

УДК 699.841+624.042.7

## АВТОРЫ

**НЕМЧИНОВ Ю.И.**, д-р техн. наук, первый заместитель директора ГП НИИСК;

**МАРЬЕНКОВ Н.Г.**, д-р техн. наук, заведующий отделом ГП НИИСК;

**БАБИК К.Н.**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ГП НИИСК;

**ХАВКИН А.К.**, канд. техн. наук, ГП НИИСК;

**ДОРОФЕЕВ В.С.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой ОГАСА;

**ЕГУПОВ К.В.**, д-р техн. наук, директор научно-исследовательского института фундаментальных и прикладных исследований ОНМУ;

**ШЕХОВЦОВ И.В.**, канд. техн. наук, доцент ОГАСА;

**ПЕТРАШ С.В.**, канд. техн. наук, доцент ОГАСА;

**КУКУНАЕВ В.С.**, канд. техн. наук, заместитель директора ГП «Институт КрымНИИпроект»;

**ГУДКОВ Б.П.**, канд. техн. наук;

**КЕНДЗЕРА А.В.**, канд. физ.-мат. наук, член-кор. НАНУ, заместитель директора Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ;

**ОМЕЛЬЧЕНКО В.Д.**, заведующий отделом Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ;

**ПУСТОВИТЕНКО Б.Г.**, д-р физ.-мат. наук, вед. научн. сотр. Института сейсмологии и геодинамики КФУ им. В.И. Вернадского;

**КУЛЬЧИЦКИЙ В.Е.**, канд. физ.-мат. наук, с. н. с. Крымского экспертного совета по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений;

**ПУСТОВИТЕНКО А.А.**, канд. физ.-мат. наук, мл. н.с. Крымского экспертного совета по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений;

**СКЛЯР А.М.** инженер Института сейсмологии и геодинамики КФУ им. В.И. Вернадского ГАУ «Крымский экспертный Совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений»

## 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».*

*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 отражена специфика сейсмической опасности территории Украины, приведена методика определения сейсмических нагрузок, обобщен опыт проектирования сейсмостойких зданий, содержащий-



ся в СНиП II-7-81\* (Россия) [2] и более ранних документах стран СНГ.

Действующие Карты общего сейсмического районирования ОСР-78, принятые в СНиП II-7-81\*, к тому времени устарели и не отражали сейсмическую опасность в Украине.

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 разработан комплект карт общего сейсмического районирования территории Украины ОСР-2004 [3 - 5]. Работа была выполнена под руководством д-ра физ.-мат. наук Б.Г. Пустовитенко, канд. ф.-м. наук А.В. Кеңдзера и канд. г.-м. наук В.Д. Омельченко при активной поддержке академика В.И. Старостенко.

ДБН В.1.1-12: 2006 [1] разработаны с учетом действующих тогда СНиП II-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 - 8], норм Европейского Союза и американских норм UBC-97 [9]. Нормы утверждены Приказом Минстроя Украины № 282 от 23.08.2006 г. и введены в действие с 1 февраля 2007 г. В Нормах приведены требования по учёту антисейсмических мероприятий зданий, проектируемых для строительства в районах с сейсмичностью от 6 до 9 баллов.

При определении силы землетрясения в баллах ранее использовалась шкала MSK-64 (ГОСТ 6249-52) [10]. С 1 октября 2011 года Приказом Минстроя Украина № 282 от 23.08.2006 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 ДБН В.1.1-12:2014 [13] введена Приказом № 143 Минрегиона Украины от 16.05.2014г. для применения с 1 октября 2014 года.

## 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 с учётом требований РСН 65-87.

Нормативная 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. 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.). Комплект карт ОСР-2004 включает четыре карты:

- карта ОСР-2004 «А» соответствует 10%-ой вероятности превышения расчетной сейсмической ин-

тенсивности 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 [14], 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», 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 расчетной 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 [15]. Карты Общего сейсмического районирования территории Украины приведены в ДБН В.1.1-12: 2014 [13].

В ДБН В.1.1-12: 2006 было рекомендовано прини-

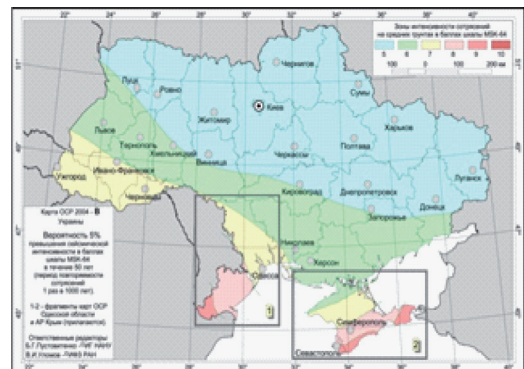


Рис.1. Карты общего сейсмического районирования территории Украины: карта Типа «В».



мать при расчете конструкций коэффициент надёжности по ответственности в соответствии с ГОСТ 27751-88, который был отменен Минрегионстроем Украины. Его основные положения вошли в ДБН В.1.2-14-2009 [14], которые введены в действие с 01.12.2009 г.

**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.**

При выборе Карт ОСР-2004 для проектирования объектов, расположенных в сейсмических районах, следует руководствоваться указаниями ДБН В.1.2-14-2009 [14] в части назначения классов последствий (ответственности) зданий и сооружений и коэффициентов ответственности  $\gamma_n$  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.

Как указывается в информационном письме Минрегиона Украины, порядок отнесения объектов к IV и V категориям сложности определяется Кабинетом Министров Украины [16]. Рекомендуются 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.

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

Главная особенность оценки сейсмостойкости заключается в том, что категория сложности объектов строительства устанавливается на основе класса последствий (ответственности) по ДСТУ-Н Б В.1.2-16.

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) [15].*

Изменение № 1 к ДСТУ-Н Б В.1.2-16 [15] даёт возможность при проектировании зданий для определения класса последствий (ответственности) рассматривать не всё здание в целом, а только его отдельную часть (секцию).

### **2.3 Учёт грунтовых условий при проектировании**

При отсутствии карт сейсмического микрорайонирования для объектов массового гражданского, промышленного и сельского строительства до-

пускается упрощенное определение сейсмичности площадки строительства на основе материалов инженерно-геологических изысканий. Уточнение сейсмичности площадок строительства по картам «В» и «С» выполняется на основе специальных исследований. Для уточнения нормативной балльности следует проводить микросейсморайонирование на площадке с учётом результатов полученных при инженерно-геологических изысканиях.

## **3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **3.1 Основные конструктивные требования для проектирования**

Принятые в ДБН В.1.2-14-2009 [14] указания по обеспечению безопасности зданий потребовали их учета при разработке новой редакции Норм по сейсмостойковому строительству. К общим требованиям конструктивной безопасности зданий относятся:

1. Для зданий и сооружений высотой 73,5 м и выше, а также для объектов класса последствий (ответственности) СС3 в соответствии с ДБН В.1.2-14, следует применять требования настоящих норм при сейсмичности площадки строительства 6 баллов и более.
2. Новые конструктивные схемы зданий и сооружений подлежат обязательной экспертной проработке специалистами базовых организаций [19].
3. Разработку проектной документации следует выполнять, исходя из сейсмической опасности площадки строительства, результатов расчетов и соблюдения конструктивных принципов проектирования в соответствии с ДБН.
4. При проектировании сейсмостойких зданий и сооружений и при усилении зданий существующей застройки следует:
  - принимать объемно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие 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 и конструкции, обеспечивающие наименьшие значения сейсмических нагрузок (легкие материалы, сейсмоизоляцию, системы динамического регулирования нагрузок и другие);
  - создавать возможность развития в элементах конструкций неупругих деформаций и выполнять соответствующие расчеты с учетом нелинейного формирования конструкций;
  - предусматривать мероприятия, обеспечивающие устойчивость и геометрическую неизменяемость конструкций при развитии в элементах и соединениях между ними неупругих деформаций, а также исключать возможность хрупкого их разрушения;
  - обеспечивать рациональное размещение инженерного оборудования с учётом его влияния на уровень сейсмической нагрузки.
5. В случае применения сейсмоизоляции выбор 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.

К основным требованиям к мониторингу проектируемых объектов относятся:

1. Здания и сооружения классов последствий (ответственности) СС2 и СС3, а также:
  - особо ответственные и уникальные сооружения, производственные корпуса, складские здания объектов химической промышленности и объекты 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), а также здания и сооружения, эксплуатация которых необходима при землетрясении или при ликвидации его последствий;
  - здания и сооружения больниц на 100 коек и более, родильных домов, станций скорой помощи, школ, детских садов, высших учебных заведений, магистральных железных и автомобильных дорог и искусственные сооружения транспорта;
  - здания гостиниц и учреждений отдыха на 250 мест и более;
2. Динамическая паспортизация объектов после завершения строительства, а также после обследования и реконструкции, выполняются в соответствии с процедурой, указанной в нормативных актах.
3. Все здания и сооружения, указанные в п.1, должны подлежать обследованию после каждого сейсмического события интенсивностью 7 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 16 этажей и выше, а также гидротехнических сооружений в соответствии с требованиями НД 31.3.002.

### 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. Установлено однозначное соответствие между классом последствий (ответственности) и применяемыми картами сейсмического районирования ОСР-2004.
3. 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 в редакции ДБН 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. Для снижения сейсмических нагрузок предусматривается использование сейсмоизоляции. В ДБН В.1.1-12:2014 введен новый 12-й раздел.
6. На зданиях и сооружениях высотой более 70 м и на объектах экспериментального строительства предусматривается установка станций инженерно-сейсмометрических наблюдений.
7. Нормами рекомендуется для существующих ответственных объектов и сооружений высотой более 16 этажей проводить динамическую паспортизацию.
8. Предложены дифференцированные показатели междуэтажных перекосов этажей в зависимости от уровней сейсмических воздействий, соответствующих Слабым (СЗ), Проектным (ПЗ) и Максимально расчётным землетрясениям (МРЗ).
9. Алгоритмы оценки сейсмостойкости зданий и сооружений ориентированы на применение существующих программных комплексов.
10. По результатам проведенных в НИИСК испытаний керамических блоков и кирпичной кладки, применяемых для строительства многоэтажных зданий в районах сейсмичностью 6, 7 и 8 баллов, предложены уточнённые формулировки пунктов 3.10.2 ДБН В.1.1-12:2006, относящиеся к строительству зданий со стенами из кирпича или каменной кладки. Уточненные формулировки представлены в пункте 7.10.2 в 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 пяти 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/м<sup>3</sup>) 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/м<sup>3</sup>.

11. Существенно переработан раздел ДБН «Гидротехнические сооружения». Его положения учитывают требования ДБН В.1.2-14, сейсмологические данные ДСТУ Б В.1.1-28 и ДБН В.2.4-3:2010 «Гидротехнические сооружения. Основные положения». Нормы регламентируют примене-



ние для расчёта прямого динамического метода (ПДМ) и линейно-спектрального метода (ЛСМ) при воздействии Проектного (ПЗ) и Максимального расчётного землетрясения (МРЗ) в зависимости от класса или подкласса последствий (ответственности) гидротехнического сооружения (ГТС).

12. Введен новый Раздел 10 «Откосы», который отсутствовал в ДБН редакции 2006 года.
13. 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 [21, 22].

#### 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»

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» [23].

Любой применяемый Еврокод имеет необходимые ссылки на другие Еврокоды как между своими частями, так и/или между Стандартами других групп (рис. 2).

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)]. Национальный выбор в Стандарте EN 1998-1 определен в специальной таблице со ссылкой на положения/требования, включающей 55 пунктов.

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

###### 4.2.1 Основные положения

Полученные в НИИСК результаты ориентированы на 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 достижениями, содержащимися в Кодах других 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:

- линейный статический анализ (обычно называемый методом поперечных сил);
- модальный анализ спектра реакции (метод реко-

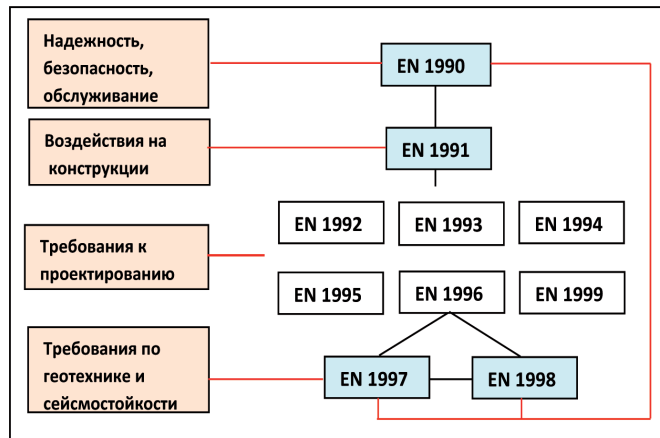


Рис.2. Основная группа Еврокодов и схема взаимодействия между ними при проектировании строительных объектов.

мендуется 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 методов приведена на рис. 3.

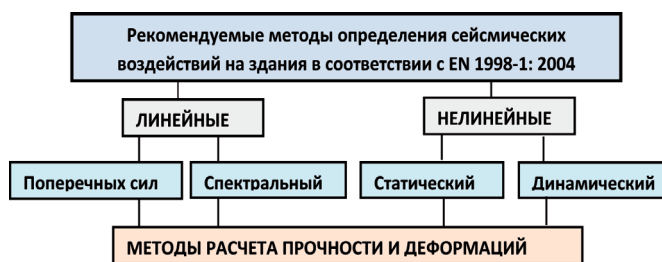


Рис.3. Методы определения сейсмических воздействий на конструкции.

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

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 [24, 25].

Для практического использования разработаны процедуры оценки сейсмической реакции на основе преобразования системы со многими степенями свободы к системе с одной эквивалентной массой  $M_{ЭКВ}$  и обобщенной горизонтальной жесткостью  $K_{ЭКВ}$ . Схема преобразования показана на рис. 4.

Если обозначить аналогично принятую в АТС-40 величину эквивалентной массы  $M_{ЭКВ} = M^*$  и горизонтальную жесткость  $K_{ЭКВ} = K^*$  одномассовой системы, а также принять, что основная форма перемещений бу-

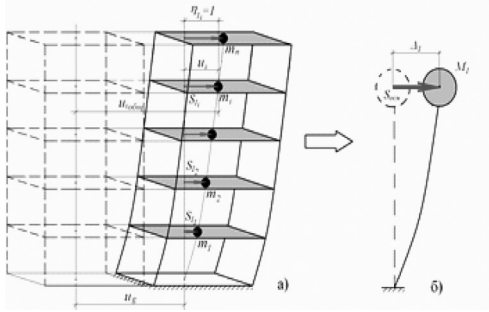


Рис.4. Схема преобразования многомассовой системы к эквивалентной системе с одной степенью свободы.

дет соответствовать колебаниям по первой форме многомассовой системы, как это показано на рис. 4, то период колебаний эквивалентной системы конструкций  $T$  может быть записан в виде:

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

где

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

Принятая процедура решения задачи включает следующие последовательные этапы:

1. Выполняется расчет несущей способности конструкций (Pushover Analysis) одним из известных методов расчета и осуществляется вычисление перемещений конструкций в верхнем уровне  $\Delta_r$  [Roof Displacement], а также определяется суммарная поперечная сила  $V_o$  [Base Shear] в основании сооружения (рис. 5).
2. Осуществляется процедура преобразования кривой несущей способности в спектр несущей способности в формате «Спектр Реакции Ускорение – Перемещение» [Acceleration-Displacement Response Spectrum] (ADRS). Его форма представляет график сейсмических ускорений  $S_a$  в зависимости от сейсмических перемещений  $S_d$  [26]. Допускается представление нелинейной кривой несущей способности системы (рис. 5) в виде билинейного графика (рис. 6) или его частного случая (в виде диаграммы Прандтля).
3. Требуемые для выполнения указанного преобразования зависимости имеют вид:

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

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

$W$  – общий вес здания (кН);  $V_o$  – поперечная сила в основании (кН);  $\Delta_r = \Delta_l$  – перемещение в верхнем уровне здания (на уровне крыши [roof]);  $\alpha_1$  – коэффициент модальной массы для основной (первой) формы колебаний;  $k_{\phi 1}$  – параметр вклада (модального участия) основной формы колебаний;  $\phi_{r1}$  – амплитуда первой формы колебаний в уровне крыши (верха здания);  $S_a$  – спектральное ускорение (м/с<sup>2</sup> или см/с<sup>2</sup>);  $S_d$  – 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  $g$ ).

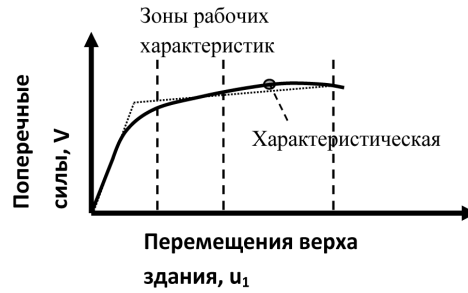


Рис.5. Кривая несущей способности здания,  $V_o - u_l$

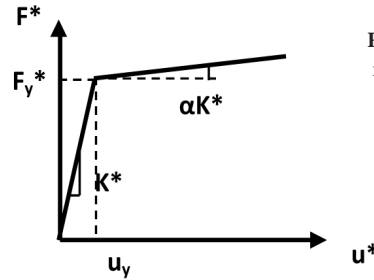


Рис.6. Аппроксимация кривой несущей способности  $V_o - u_l$  в виде двух линейных прямых в системе с эквивалентной жесткостью  $K^*$

Коэффициенты модальной массы  $\alpha_1$  и вклада первой формы собственных колебаний конструкции  $k_{\phi 1}$  определяются следующим образом:

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

$m_i$  – масса в уровне  $i$  многомассовой системы, равная весу  $w_i/g$  (в долях от  $g$ );  $i = 1, 2 \dots n$ ;  $n$  – общее количество масс (см. рис. 4).

Зависимость между спектром ускорений  $S_a$  и спектром перемещений  $S_d$  определяется следующей формулой

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

где  $\omega^2$  – 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:

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

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

4. Любая точка  $V_i, \Delta_{roof}$  на кривой несущей способности преобразовывается в соответствующую точку  $S_{ai} - S_{di}$  на спектре с помощью формул (3) и (4). Общие формы кривых спектра приведена на рис. 8.
5. Соотношения параметров для эквивалентной системы с одной степенью свободы, соответствующие обозначениям на рис. 4, получаем в виде:

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

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

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

где  $M$  – масса здания (т);  $M^*$  – эквивалентная (эффективная) масса системы с одной степенью свободы [SDOF] (т);  $K^*$  – эквивалентная (эффективная) горизонтальная

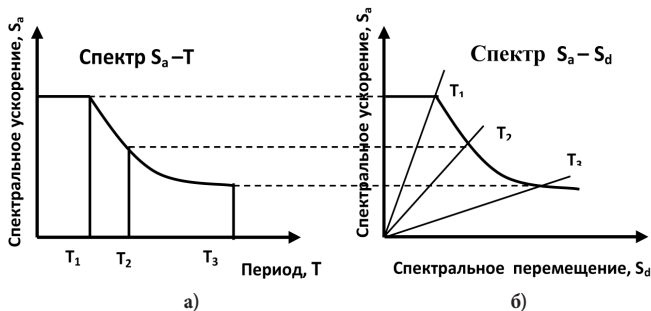


Рис.7. Преобразование стандартного спектра реакции «ускорение – период колебаний»  $[S_a - T]$  (а) в спектр реакции «ускорение – перемещение»  $[S_a - S_d]$  (б).

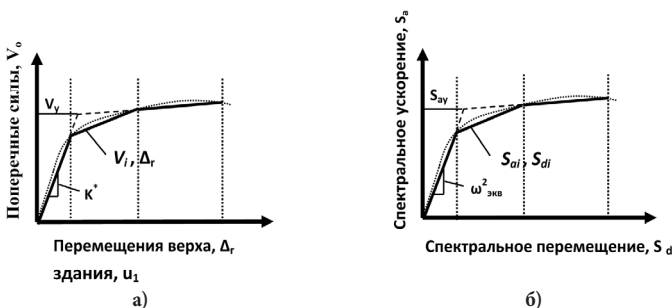


Рис.8. Преобразование спектра несущей способности из формата «поперечные силы - перемещения»  $[V_o - \Delta_y]$  (а) в формат «спектральное ускорение – спектральное перемещение»  $[S_a - S_d]$  (б).

жесткость системы SDOF (кН/м);  $\omega_{экв}$  – эквивалентная (эффективная) частота собственных колебаний системы SDOF (рад/с);  $W^* = M^*g$  – эквивалентный (эффективный) вес здания ( $т \cdot см/с^2$ );  $S_{ay}$  – спектральное ускорение, соответствующее пределу прочности (условно текучести) конструкций ( $м/с^2$ );  $F_y$  – сила, соответствующая условиям образования текучести (кН);  $V_y$  – поперечная сила (нагрузка) в основании здания (кН).

- 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», представленный в соответствующем формате. В качестве исходного спектра используется «стандартный спектр» с 5% затуханием (рис. 9).
- Дальнейшие преобразования метода сводятся к построению сниженного спектра реакции, учитывающего возникновение неупругих деформаций в конструкции.

Подробные преобразования характеристик затухания и необходимые иллюстрации можно найти в [24, 27, 28]. Для расширения области применения метода ГП НИИСК разработал практическое пособие по проектированию сейсмостойких конструкций в соответствии с рекомендациями ЕВРОКОДА 8. Часть 1 [29]. Упругий спектр реакции (при 5% затухании) преобразуется к спектру реакции, в котором значения затухания превышают 5% от критического затухания (рис. 10). Уменьшенный спектр реакции вычисляется путем

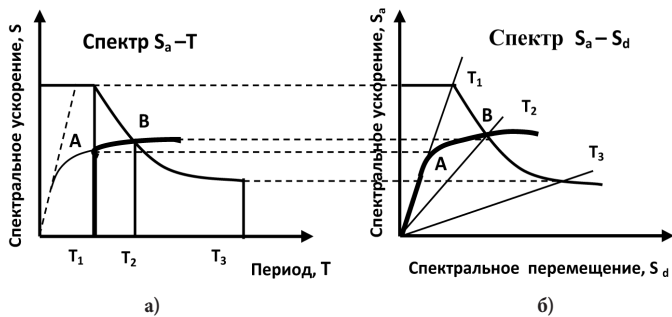


Рис.9. Спектр «несущей способности» (предельной нагрузки), совмещенный со спектром реакции в стандартном формате (а) и в формате «ускорение - перемещение» [ADRS] (б).

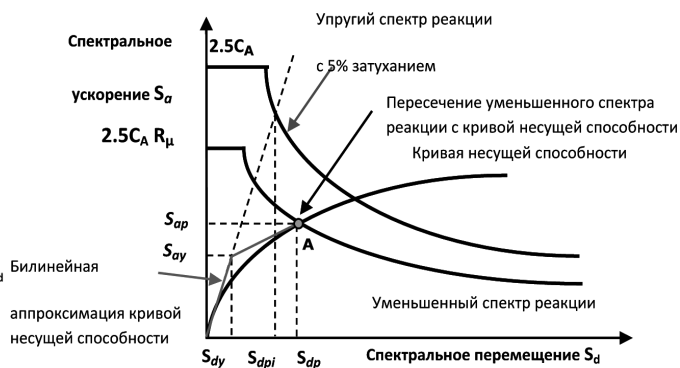


Рис.10. Построение уменьшенного спектра реакции с применением коэффициентов редукции  $R_\mu$  (на примере американского Кода UBC-1997).

умножения каждой точки спектра на соответствующие коэффициенты редукции  $R_A$  или  $R_\mu$ .

Точка А, 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.

#### 4.2.4 Проверка рабочих характеристик

Когда характеристическая точка А (точка рабочих характеристик  $S_{ap}$ ,  $S_{dp}$ ) найдена, необходимо проверить полученные результаты путем их сравнения с характеристиками, установленными нормативными требованиями.

Предельные поперечные перекосы этажей не должны превышать перекосов, установленных для зданий различных конструктивных систем и удовлетворять пределам, приведенным в Таблице 1.

В таблице обозначено:  $V_i$  – 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.

Таблица 1. Допускаемые предельные перекосы этажей зданий [24].

Пределы рабочих характеристик, удовлетворяющих требованиям				
Пределы межэтажных перекосов	Возможность незамедлительного заселения	Допустимые повреждения	Безопасность жизнедеятельности	Устойчивость конструкции
Общий максимальный перекося	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,03 \frac{V_i}{P_i}$
Максимальный неупругий перекося	0,005	0,005 – 0,015	Нет ограничений	Нет ограничений



## 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 П-7-81\*. / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002.
3. Kendzera A. Seismic Hazard of the Territory of Ukraine. / Kendzera A., Omelchenko V. // 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. – 10 p. <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 П-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 CODETM. Volume 2. Structural Engineering Design Provisions, 1997: International Conference of Building Officials. – U.S.A., 1997.
10. Шкала для определения силы землетрясения в пределах от 6 до 9 баллов: ГОСТ 6249-52.. Взамен ОСТ 4537 / Госкомитет Совета Министров Союза ССР по делам строительства. Срок введения 1/1 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. 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.
15. 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).
16. 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.
17. 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.
18. ДСТУ – НБ EN 1998-1:2010. Проектування в сейсмічнонебезпечних районах. Основні положення. Загальні правила, сейсмічні заходи та правила щодо будівель (EN 1998-1:2004, IDT).
19. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ». – К., 2007. – 14 с.
20. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. В двух частях / Немчинов Ю.И. – К., 2008. – 480 с.
21. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / [Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Хавкин А.К., Бабик К.Н.]. – К.: Гудименко С.В., 2012. – 384 с.
22. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость высотных зданий и сооружений / Немчинов Ю.И. – К.: Гудименко С.В., 2015. – 584 с. с илл.
23. 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.
24. 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.
25. FEMA 356. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, D.C. - November 2000.
26. Freeman S.A. Development and Use of the Capacity Spectrum Method. – Proceedings, 6th US National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, 1998, paper No 269.
27. Chopra A. K. Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey: 1995. – 794 pp.
28. 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.
29. Проектування сейсмостійких конструкцій відповідно ЄВРОКОДУ 8: Практичний посібник. Частина 1. – Київ: ДП НДІБК Мінрегіону України, 2015. – 142 с.