

УЧЕТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ БЕЛАРУСИ, РОССИИ, УКРАИНЫ, ЕВРОПЫ И АМЕРИКИ

Расанец М. А., магистрант, **Зверев В. Ф.**, канд. техн. наук, доцент (БНГУ)

Аннотация. Выбор метода расчета на сейсмическое воздействие обусловлен различными факторами: сложностью и ответственностью конструкции, соотношением ее собственных частот и преобладающих частот воздействия, наличием необходимой вычислительной техники и программного обеспечения, объемом исходной информации, стоимостью и сроками работы и т.д. Целью расчета является определение ответной реакции конструкции (перемещений, ускорений, внутренних усилий и проч.) на сейсмическое возмущение. В данной статье рассматривается подход к выбору метода расчета на сейсмическое воздействие в различных странах.

Методы расчета конструкций на сейсмостойкость основаны на анализе колебаний здания при сейсмическом движении основания. Однако их отличительной особенностью является принципиальная невозможность точного задания возмущающего воздействия, поскольку землетрясение представляет собой случайный процесс, конкретная реализация которого зависит от многих трудноучитываемых факторов. Поэтому сейсмические расчеты отличаются от расчетов на другие динамические нагрузки использованием специфических методов задания возмущающего воздействия и определения ответной реакции конструкции.

В Беларуси учитывать сейсмические воздействия необходимо только при проектировании высотных зданий, к которым относятся здания высотой выше 75 м согласно ТКП-45-3.02-108-2008 «Высотные здания. Строительные нормы проектирования»[1]. Сейсмические колебания в нашей стране происходят по двум причинам: во-первых, транзитные сотрясения вследствие землетрясений, очаги которых находятся за пределами наших границ; во-вторых, землетрясения, зарождающиеся непосредственно в недрах Беларуси. Высотное здание должно проектироваться устойчивым к сейсмическим нагрузкам на балл выше прогнозируемых, а на плохих грунтах — еще более сейсмонадежным. Это означает, что высотные здания должны проектироваться устойчивыми к семи-восьмибалльным землетрясениям по шкале Рихтера.

Согласно приложению В ТКП 45–3.02–108–2008, расчеты с учетом сейсмических воздействий при проектировании высотных зданий а также уникальных сооружений, таких как АЭС, необходимо производить прямым динамическим методом с использованием инструментальных записей ускорений оснований (заданных реальных или синтезированных

акселерограмм). Оригиналы акселерограмм представляет ЦГМ НАН Беларуси. При расчетах следует учитывать возможность развития неупругих деформаций конструкций высотного здания.

В России действующим нормативным документом для учета влияния сейсмических воздействий является СП 14.13330.2013 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*»[2]. В данном документе предлагаются следующие расчетные ситуации:

а) сейсмические нагрузки соответствуют уровню ПЗ (проектное землетрясение). Целью расчетов на воздействие ПЗ является предотвращение частичной или полной потери эксплуатационных свойств сооружением. При определении расчетных сейсмических нагрузок на здания и сооружения следует принимать расчетные динамические модели конструкций (РДМ), согласованные с расчетными статическими моделями. В данном случае расчет на сейсмическое воздействие нужно производить линейно-спектральным методом.

б) сейсмические нагрузки соответствуют уровню МРЗ (максимальное расчетное землетрясение). Целью расчетов на воздействие МРЗ является предотвращение глобального обрушения сооружения или его частей, создающего угрозу безопасности людей. Расчеты, соответствующие МРЗ, следует выполнять во временной области с использованием инструментальных или синтезированных акселерограмм, то есть прямым динамическим методом.

Расчеты по а) (уровень нагрузки, отвечающий ПЗ) следует выполнять для всех зданий и сооружений. Расчеты по б), с использованием уровня сейсмической нагрузки МРЗ, следует применять для зданий и сооружений, перечисленных в таблице 1.

Таблица 1 – Методы расчета согласно СП 14.13330.2013 (Россия)

Метод расчета	Типы сооружений
Линейно-спектральный метод	Для всех типов сооружений
Прямой динамический метод с использованием инструментальных или синтезированных акселерограмм	1. Монументальные здания и другие сооружения; крупные театры, дворцы спорта и концертные залы с одновременным пребыванием в них более 2000 человек, правительственные здания повышенной ответственности, радиостанции с общей мощностью передатчиков в одном здании более 500 Вт; 2. Здания и сооружения, функционирование которых необходимо при землетрясении и ликвидации его последствий (здания правительственной связи; службы МЧС и полиции; системы энерго- и водоснабжения; сооружения пожаротушения, газоснабжения; сооружения, содержащие большое количество токсичных или взрывчатых веществ, которые могут быть опасными для населения; медицинские учреждения, имеющие оборудование для использования в аварийных ситуациях);

Метод расчета	Типы сооружений
	в которых возникает опасность для находящихся в них людей (больницы, школы, дошкольные учреждения, вокзалы, аэропорты, музеи, театры, цирки, концертные и спортивные залы, крытые рынки, торговые комплексы с одновременным пребыванием в них более 300 человек, многоэтажные здания высотой более 16 этажей); другие здания и сооружения, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям.

На Украине расчеты сооружений на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий выполняются в соответствии с ДБН В.1.1-12:2014 «Строительство в сейсмических районах Украины» [3] с использованием:

- спектрального метода;
- прямого динамического метода с применением инструментальных записей ускорений грунта при землетрясениях или стандартного набора синтезированных акселерограмм.

- метода нелинейного статического расчета, который основывается на необходимости учета нелинейной реакции конструкции и/или в качестве альтернативы нелинейному динамическому расчету.

Методы, применяемые при расчетах на сейсмические воздействия, приведены в таблице 2.

Расчеты спектральным методом следует выполнять для всех зданий и сооружений. В случае расхождения результатов расчета спектральным методом и прямым динамическим методом следует принимать максимальные значения нагрузок (при этом расчетные сейсмические нагрузки принимаются не ниже нагрузок, определенных по спектральному методу).

Таблица 2 – Методы расчета согласно ДБН В.1.1-12:2014 (Украина)

Метод расчета	Типы сооружений
а) Спектральный метод с применением упрощенных расчетных моделей сооружений с учетом поступательных колебаний;	Здания и сооружения простой геометрической формы с симметричным и регулярным расположением масс и жесткостей, с наименьшим размером в плане не более 30 м.
б) Спектральный метод с учетом, помимо поступательных, крутильных сейсмических воздействий	

Метод расчета	Типы сооружений
Прямой динамический метод.	Здания и сооружения с принципиально новыми конструктивными решениями, не прошедшие экспериментальной проверки. Объекты повышенного уровня ответственности. Здания и сооружения высотой более 50 м и сооружения с пролетами более 30 м. Здания и сооружения, оснащенные системой сейсмоизоляции и другими системами регулирования сейсмической реакции.
Нелинейный статический расчет	Здания простой геометрической формы с симметричным и регулярным размещением масс и жесткостей, с наименьшим размером в плане до 30 м включительно. Здания, которые оснащены системой сейсмоизоляции или другими системами регулирования сейсмической реакции. Здания, которые эксплуатируются в сейсмических районах при определении их сейсмостойкости, проектировании их реконструкции и усиления.

В европейских нормативных документах, представленных ТКП EN1998-1-2011(02250)«Еврокод 8. Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1. Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий»[4] методы анализа имеют следующую классификацию:

- Расчет методом поперечных усилий;
- Модальный расчет спектра реакции;
- Нелинейный статический расчет;
- Нелинейный динамический расчет.

Диапазон применения каждого из данных методов рассмотрен в таблице 3.

Таблица 3 – Методы расчета согласно ТКП EN1998-1-2011 (Еврокод-8)

Метод расчета	Типы сооружений
Расчет методом поперечных усилий	Применяется для зданий, реакция которых не зависит в значительной степени от форм колебаний выше основной формы в каждом главном направлении, (п. 4.3.3.2.1[4]).
Модальный расчет спектра реакции	Применяется для зданий, которые не отвечают условиям, приведенным в 4.3.3.2.1(2)[4] расчета методом поперечных усилий.
Нелинейный статический	Используются для зданий с изолированным основанием согласно условиям, приведенным в разделе 10[4].
Нелинейный динамический	Возможность применения к зданиям с неизолированным основанием в конкретной стране устанавливается национальным приложением.

В нормативных документах Америки (ASCE/SEI 41-13 «Seismic evaluation and retrofit of existing buildings» [5]) классификация методов расчета на сейсмические воздействия представлена следующим образом:

- Линейный статический (Linear static - LSP)
- Линейный динамический (Linear dynamic – LDP)
- Нелинейный статический (Nonlinear static – NSP)
- Нелинейный динамический (Nonlinear time history – NDP)

Диапазон применения каждого из данных методов рассмотрен в таблице 4.

Таблица 4 – Методы расчета согласно ASCE/SEI 41-13 (Америка)

Метод расчета	Типы сооружений
Линейный статический (Linear static - LSP)	Допускается только для конструкций без нарушений, определенных в ASCE 41; Допускается только для некоторых конструкций, которые не имеют каких-либо нарушений, определенных для NSP.
Линейный динамический (Linear dynamic – LDP)	Допускается только для некоторых конструкций, которые не имеют каких-либо нарушений, определенных для NSP.
Нелинейный статический (Nonlinear static – NSP)	Здания с неортогональной боковой системой; Здания с нерегулярным распределением вертикальных жесткостей; Здания, у которых с нерегулярным распределением жесткостей при кручении в любом направлении; Любые сооружения, в которых горизонтальное измерение в любом направлении превышает измерение смежного направления на 1.4.
Нелинейный динамический (Nonlinear time history – NDP)	Допускается для всех сооружений. Может потребоваться обзор дополнительных параметров для этого метода анализа.

Вывод. Таким образом, проанализировав нормативные документы Беларуси, России, Украины, Европы и Америки, регламентирующие расчет на сейсмические воздействия, можно сопоставить методы расчета согласно таблице 5.

Как видно из данной таблицы, в Беларуси для расчета на сейсмические воздействия предлагается использовать самый трудоемкий метод, а именно прямой динамический метод. В других же странах используются различные по сложности методы расчета в зависимости от габаритов и ответственности зданий и сооружений. С учетом вышесказанного, есть смысл и для Республики Беларусь пересмотреть требования к расчету с учетом сейсмических воздействий с целью его упрощения.

Таблица 5 – Сопоставление методов расчета, используемых в различных странах

Беларусь	Россия	Украина	Европа	Америка
-	-	-	Расчет методом поперечных усилий.	Линейный статический. (Linear static - LSP)
-	Линейно-спектральный метод.	Спектральный метод.	Модальный расчет спектра реакции.	Линейный динамический. (Linear dynamic – LDP)
-	-	Нелинейный статический расчет.	Нелинейный статический расчет.	Нелинейный статический. (Nonlinear static – NSP)
Прямой динамический метод.	Прямой динамический метод.	Прямой динамический метод.	Нелинейный динамический расчет.	Нелинейный динамический. (Nonlinear time history – NDP)

Литература. 1. Высотные здания. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-108-2008 – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2008. – 29 с. 2. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*: СП 14.13330.2013 – М: Госстрой России, 2013. – 120 с. 3. Строительство в сейсмических районах Украины: ДБН В.1.1-12:2014 – Киев: Научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК) Минрегионстроя Украины, 2014. – 109 с. 4. Еврокод 8. Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1. Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий: ТКП EN1998-1-2011 – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2013. – 158 с. 5. Seismic evaluation and retrofit of existing buildings: ASCE/SEI 41-13 - Reston, Virginia: by the American Society of Civil Engineers, 2013. – 411 p.