

УДК 699.841

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

С.Н. Скляр¹, И.И. Овчинников²

^{1,2} *Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,
г. Саратов (Российская Федерация)*

² *Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень (Российская Федерация)*

² *Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа (Российская Федерация)*

Аннотация. В Российской Федерации на данный момент отсутствуют нормативные документы, которые бы соответствовали современным знаниям для проектирования транспортных сооружений. Нормативная сейсмичность района строительства определяется по комплексу карт Общего сейсмического районирования (ОСР), который отражает значение сейсмической интенсивности (в баллах) с различной вероятностью их превышения в течение 50 лет. Применение формулы Медведева для пересчёта балльности в ускорения является ошибкой, так как в ней не учитывается ряд факторов, что может привести к серьезным просчетам. В работе проводится сравнение двух подходов к сейсмическим расчетам, приводятся аргументы, которые подтверждают необходимость использования спектров откликов, применяющиеся в зарубежных нормативных документах и руководствах для расчета сооружений на устойчивость к землетрясениям. На основании представленного материала был произведен анализ. Необходимо принять меры по замене концепции динамических коэффициентов, спектрами реакций (ответов) Отказаться от привязки к баллам и характеризовать сейсмические воздействия с помощью пиковых ускорений и продолжительности воздействий. Назревает необходимость разработки карт ОСР, с использованием эталонного грунта. Применение в качестве основного амплитудного параметра колебаний значения максимального ускорения на скальном грунте (категория 1) будет более точным, нежели ускорения на среднем грунте (категория 2). Грунты стоит характеризовать с использованием спектрального метода, нежели «приращением балльности».

Ключевые слова: исходная сейсмическая информация, балльность, приращения балльности, эталонный грунт, коэффициент динамичности, спектр ответов.

Ссылка для цитирования: Скляр С.Н., Овчинников И.И. Оценка состояния нормативной документации по расчету на землетрясения // Инженерные исследования. 2024. №4(19). С. 39-47. EDN: VTQTGU

ASSESSMENT OF THE STATUS OF NORMATIVE DOCUMENTATION ON EARTHQUAKE DESIGN

S.N. Sklyarov¹, I.I. Ovchinnikov²

^{1,2} *Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov (Russian Federation)*

² *Tyumen Industrial University, Tyumen (Russian Federation)*

² *Ufa State Petroleum Technical University, Ufa (Russian Federation)*

Abstract. In the Russian Federation at the moment there are no regulatory documents that would correspond to modern knowledge for the design of transportation facilities. The regulatory seismicity of the construction area is determined by a set of maps of the General Seismic Zoning, which reflects the values of seismic intensity (in points) with different probabilities of their exceedance over 50 year. The use of Medvedev's formula for recalculation the intensity into acceleration is an error, since it does not take into account a number of factors, which can lead to serious miscalculations. The paper compares two approaches to seismic calculations, provides arguments that confirm the need to use response spectra used in foreign regulatory documents and guidelines for calculating structures for resistance to earthquakes. Based on the material presented, an analysis has been made. It is necessary to take measures to replace the concept of dynamic coefficients, response spectra (responses) To abandon the reference to scores and characterize seismic impacts using peak accelerations and duration of impacts. There is a need to develop OSR maps using reference soil. Using the value of peak acceleration on rock (category 1) as the main amplitude parameter of the vibrations will be more accurate than acceleration on medium ground (category 2). Soils should be characterized using a spectral method rather than a “grade increment”.

Keywords: initial seismic information, score, score increments, reference soil, dynamic coefficient, response spectrum.

For citation: Sklyarov S.N., Ovchinnikov I.I. Assessment of the status of normative documentation on earthquake design // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.4(19). Pp. 39-47. EDN: VTQTGU

ВВЕДЕНИЕ

Землетрясения представляют собой колебания земли, вызванные разнообразными факторами: тектонические движения коры, вулканической активностью, столкновения гор и техногенные взрывы. Сильнейшие землетрясения обычно происходят из-за разрушения и перемещения горных пород вдоль тектонических разломов на поверхности земли [1]. Ежегодно происходит несколько катастрофических землетрясений, которые наносят огромный ущерб целым странам, расположенные в сейсмически-активных зонах. Более века ученые проводят исследования, в которых главной задачей является минимизация последствий землетрясений и все равно, в настоящий момент практически невозможно заблаговременно предсказать факт землетрясения и обеспечить эвакуацию людей. Хочется отметить один интересный факт: количество жертв подтверждает, что угрозу представляет не столько природное явление, сколько здания, построенные с нарушением технических норм. Поэтому перед инженерами и учеными стоит актуальная задача - разработка теории создания сейсмоустойчивых зданий и сооружений, способных выдержать нагрузки в чрезвычайных ситуациях. Вопрос развития нормативных документов для Российской Федерации остается весьма актуальным, особенно в районах, подверженных землетрясениям [2-7].

Немного погрузимся в историю и приведем краткие сведения развития спектрального метода. Впервые у Био М. [8] возникла идея использовать этот метод в 1933 году. Проверить эту теорию решились в США в сороковые годы прошлого столетия. Проанализировали поведение сооружений, взяв данные землетрясений, произошедших в 1923 и 1933 годах [9-10]. В середине 40-х годов Корчинский И.Л. подготовил теорию для этого метода, воспользовавшись реальными акселерограммами [11]. Линейно-спектральный метод используется в расчетах во многих странах мира [12-21].

Не обошли авторы работы [11] мимо карт ОСР. Они упомянули их развитие, начиная с СР-37. Подчеркнули необходимость их совершенствования, так как ранее считавшиеся безопасными зонами, стали подвергаться серьезным землетрясениям. Приводят в пример нормативные документы Японии. Там используется коэффициент зонирования [23]. В Китае применяют метод районирования территории согласно ускорениям грунтов и периодов спектров сейсмических реакций [24]. В Европе для расчета используют Eurocode 8. Разделение территорий осуществляется по пиковым ускорениям грунта [25-26].

В России же для анализа сейсмических воздействий применяют карты общего сейсмического районирования. На этих картах степень интенсивности землетрясений отображается в балльной системе. В инженерных расчетах баллы не используются. Проектировщики оперируют следующими показателями: пиковое значение скорости, ускорения, перемещения, используя для этих целей акселерограммы. В США карты в баллах не составляют, а используются карты спектров реакций.

В статье показывается почему концепция спектров ответов является основной в зарубежных нормах. Описывается история появления и кратко излагается теория их построения. Обосновываются преимущества подхода, основанного на спектрах ответов, в отличие от методики динамических коэффициентов.

СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Федеральный закон Российской Федерации требует совершенствовать своды правил с определенной периодичностью. В шестой статье этот срок ограничен пятью годами.

Действующие своды правил не соответствуют современным знаниям, а являются редакцией устаревшего СНиП II-7-81*. Кроме того, в новой версии были внесены ошибочные рекомендации, следование которым может привести к серьезным последствиям. Отсутствие нормативных актов в области сейсмологии и динамических методах расчета сооружений, соответствующих современным научным знаниям, является серьезной проблемой в проектировании транспортных объектов. В ряде стран перешли к другим методам определения ускорения смещения грунта. Они не занимаются пересчетом баллов по картам ОСР, а определяют на основе фактических измерений [27]. Пересчет в ускорения согласно шкале МСК-64 без учета спектрального состава может привести к недостоверным результатам.

В РФ землетрясения, независимо от источника и глубины расположения, классифицируются по баллам, а грунты с разными свойствами подразделяются на категории. Подход, при котором замена категории влечет за собой изменение интенсивности не соответствует современному уровню развития науки. Многие страны адаптировали свои стандарты, перейдя к использованию пиковых ускорений и продолжительности воздействий в качестве характеристик сейсмических воздействий, отказавшись от привязки к баллам. Этот подход является более точным и современным. С его помощью эффективней

определяются и характеризуются сейсмические воздействия на сооружения. Проектировщикам для расчёта сооружений необходимы пиковые значения: ускорений, скоростей, перемещений. В связи с этим возникает вопрос о необходимости балльной системы!

Потребность в таком промежуточном параметре отсутствует.

ПЕРЕСЧЕТ БАЛЛЬНОСТИ В УСКОРЕНИЯ КОЛЕБАНИЯ ГРУНТОВ

Разработчики карт ОСР использовали средние грунты (2 категории) для оценки сейсмической интенсивности [28]. Их жесткость находится в широком диапазоне от 350 до 1500 (г/см³) * (м/с). Такой подход в определении интенсивности может привести к ошибкам. Предлагается разработать карты с использованием эталонного грунта. Такое решение позволит точнее определять сейсмичность площадки.

В нынешнем Своде Правил существует эталонный грунт [29]. Используя его необходимо выполнять пересчет интенсивности. Остается открытым вопрос о выборе жесткости. Почему она составляет именно 655 (г/см³) * (м/с)? Ответа нет! Разработчики карт не могут обосновать его выбор в качестве эталонного для определения изменений в сейсмичности. Предложения отказаться от использования максимального ускорения на грунтах второй категории в пользу пикового ускорения на скальных грунтах (1 категория) были выдвинуты уже давно.

Медведев С.В. во второй половине 20-ого века разработал методику сейсмического микрорайонирования [30]. Она связывает свойства грунта с параметрами сейсмического воздействия. В действительности, его формула представляет собой приближенную формулу Цёппритца [31-33]. В СП 14.13330.2018 определяют приращение интенсивности ΔI в баллах следующей формулой (1).

$$\Delta I = 1,67(\lg 655 - \lg \rho V_s), \quad (1)$$

где:

ρ – плотность грунта, г/см³;

V_s – скорость распространения поперечных сейсмических волн в грунте, м/с.

Это выражение применяют во всех случаях. В свое время, оно является частным случаем формулы С.В. Медведева (2):

$$\Delta I = 1,67(\lg \rho_3 V_3 - \lg \rho_u V_u), \quad (2)$$

где:

ρ_3, ρ_u – плотность эталонного грунта и исследуемого грунта соответственно, г/см³;

V_3, V_u – скорость распространения поперечных сейсмических волн в эталонном и исследуемом грунте соответственно.

В нормативном документе утверждается, что формула (2) основана на методе сейсмических жесткостей, однако, суть этого метода не раскрывается. Нет понимания в каких случаях ее следует применять и есть ли ограничения. Использование эмпирических данных для создания формулы, которая связывает сейсмическую жесткость с разрушениями зданий, вызывает вопросы без ответа [34].

В исследовании [35] обсуждается происхождение коэффициента в формуле Медведева, где указывается, что коэффициент был получен как среднее арифметическое из нескольких определений, но без физического обоснования. Ошибочно предполагалось равенство потоков энергии в точках с разными акустическими жесткостями.

Неправильно определять категорию грунта по приращениям балльности. Применение формулы Медведева С.В. для определения параметров сейсмического воздействия через свойства эталонного грунта может привести к значительным ошибкам. Несоответствие характеристик эталонного грунта может серьезно исказить расчетные параметры сейсмического воздействия. Игнорирование зависимости расчетных пиковых ускорений от толщины поверхностного слоя и его частотных характеристик, также может привести к недооценке сейсмической опасности.

ДИНАМИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ В НОРМАХ РФ

На территории нашей страны при проектировании в сейсмически опасных районах используется коэффициент динамичности – β . Он определяется из периода свободных колебаний осциллятора. По мнению студентов технических вузов, данный коэффициент можно интерпретировать как отношение динамического воздействия к статическому. Более полувека назад И.Л. Корчинский [36] предложил график коэффициентов динамичности, который позже был использован в СН 8-57 «Нормы и правила строительства в сейсмических районах». В последующих версиях, таких как СНиП II-A.12-69 и СНиП II-7-81, этот график был скорректирован с разделением на категории грунтов [37]. Однако основные

характеристики этих графиков не были основаны на реальных землетрясениях, а были разработаны для обеспечения согласованности между старыми и новыми нормами и уменьшения расходов на антисейсмическое усиление. В современных нормативных документах используются две кривые коэффициентов динамичности β_i , которые считаются идентичными для грунтов категорий I и II, а также для категорий III и IV (рис.1.).

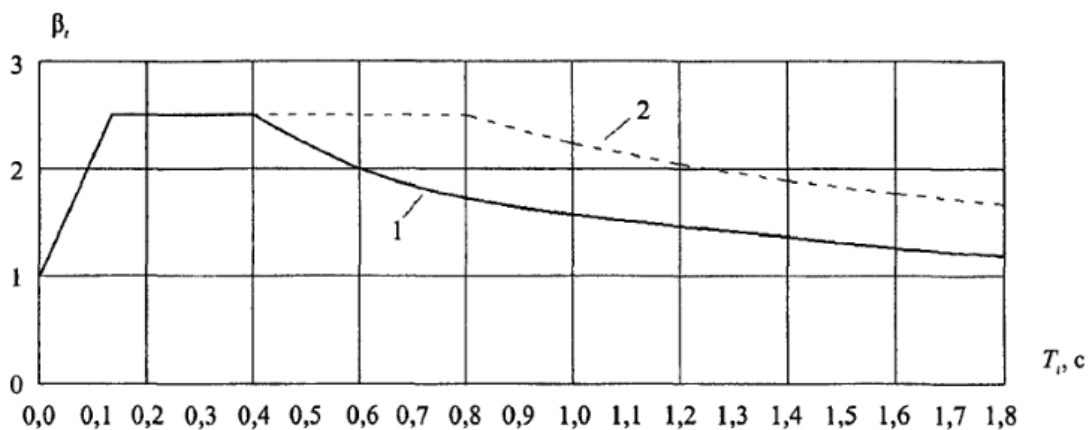


Рис.1. Коэффициент динамичности¹
Fig.1. Dynamic coefficient

Это представление кривых не учитывает зависимости поправочных грунтовых коэффициентов от частоты или периода колебаний. Кроме того, установлено ограничение: «во всех случаях значения β_i должны приниматься не менее 0,8», что не соответствует спектрам откликов реальных землетрясений и не позволяет проводить расчеты большепролетных и сейсмоизолированных мостов.

Ниже представлен фрагмент текста СП 14.13330.2018, описывающий Рис.1.

«Для грунтов категорий I и II по сейсмическим свойствам (кривая 1) при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с} \quad \beta_i &= 1 + 15T_i; \\ 0,1 \text{ с} < T_i < 0,4 \text{ с} \quad \beta_i &= 2,5T_i; \\ T_i \geq 0,4 \text{ с} \quad \beta_i &= 2,5(0,4 / T_i)^{0,5}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для грунтов категорий III и IV по сейсмическим свойствам (кривая 2) при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с} \quad \beta_i &= 1 + 15T_i; \\ 0,1 \text{ с} < T_i < 0,8 \text{ с} \quad \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,8 \text{ с} \quad \beta_i &= 2,5(0,8 / T_i)^{0,5}. \end{aligned} \quad (4)$$

Во всех случаях значения β_i должны приниматься не менее 0,8».

КОНЦЕПЦИЯ СПЕКТРОВ ОТВЕТОВ

«Спектр реакций (ответов) представляет собой график максимальных реакций: перемещений, скоростей, ускорений или других максимальных параметров совокупности осцилляторов на заданное воздействие» [38-40].

Это ключевая и широко используемая концепция в теории и практики проектирования сейсмостойких сооружений, которая широко применяется в странах бывшего СССР. Несколько причин, почему спектр ответов так востребован:

1. Не требуется моделировать все процессы колебаний, достаточно знать лишь максимальные значения скоростей, ускорений и перемещений элементов конструкций.
2. Простое и понятное определение с физическим смыслом.
3. Используется для анализа неупругих систем
4. Применяются простые модели, позволяющие легко описать процесс построения [41]
5. Существуют руководства по построению нормативных спектров ответов, что способствует разработке сейсмостойких сооружений, способных выдерживать сильные сейсмические воздействия.

Несмотря на свою широкую популярность за рубежом, концепция спектров максимальных реакций пока не получила широкого распространения в российских нормативных документах.

¹ СП 14.13330.2018 «СНИП II-7-81* Строительство в сейсмических районах» [Электронный ресурс]. - URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736459.pdf> (дата обращения 19.10.2024)

Идея применения спектров реакций была впервые предложена в 1926 году К.А. Сюэхио (рис.2.) [42-43].

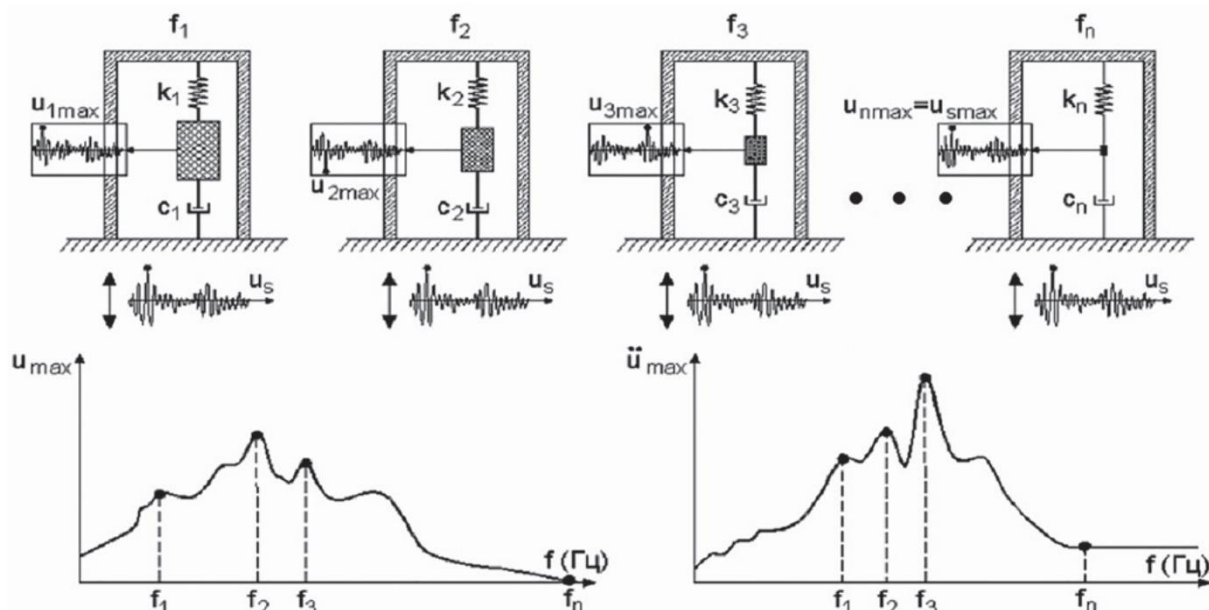


Рис.2. Прибор Сюэхио для построения спектров ответов²
Fig. 2. Shuehiro's instrument for constructing response spectra

Он использовал 13 осцилляторов с разными частотами для моделирования реакции сооружений на землетрясение [44]. Максимальные перемещения каждой массы фиксировались на барабане, а затем использовались для построения графика, где ось абсцисс представляла собой частоту колебаний, а ось ордината - максимальные перемещения.

В основе спектра реакций лежит математическое описание поведения сооружений с помощью линейных дифференциальных уравнений, которые можно разложить на отдельные уравнения для каждой степени свободы. Для расчета спектров реакций за рубежом часто используют метод Ньюмарка и Холла, основанный на данных реальных землетрясений [45].

Спектры реакций обладают ясным физическим смыслом и могут быть представлены в стандартной форме или рассчитаны индивидуально для конкретных строительных площадок с учетом их свойств. Ещё одним преимуществом является простая методика построения спектров ответов. Для этого используется следующее уравнение (5).

$$\ddot{u}_r + 2\xi\omega\dot{u}_r + \omega^2u_r = -\ddot{u}_g, \quad (5)$$

где:

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – частота собственных колебаний системы без учета демпфирования;

$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2m\omega}$ – относительный коэффициент демпфирования;

$-\ddot{u}_g$ – является функцией горизонтального или вертикального ускорения основания.

В процессе решения выбирается одно максимальное значение, после чего изменяется частота и процесс повторяется. При этом учитываются все возможные собственные частоты сооружений. В зависимости от типа строящегося спектра определяются максимальные значения ускорений, перемещений и скоростей.

СРАВНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ И СПЕКТРОВ ОТВЕТОВ

Конкретного и корректного определения коэффициента динамичности нет ни в монографиях, ни в нормативных документах по сейсмостойкости сооружений [46]. На одной из конференций был затронут важный вопрос: российские авторы не представили в своих работах ни определение коэффициентов динамичности, ни способов расчета. Один из разработчиков норм возразил и попытался оперировать

² Е.Н. Курбацкий, В.Л. Мондрус, Е.А. Пестрякова. К вопросу о корректном задании исходной сейсмической информации [Электронный ресурс]. - URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_45050268_56508920.pdf (дата обращения 19.10.2024)

материалом, представленным в работе [47]. Однако это не тот коэффициент, который необходимо применять для расчета сооружений. По международным стандартам эти коэффициенты принято называть коэффициентом усиления колебаний [48.]. Работа [49] пытается внести ясность и дать пояснение по поводу введения коэффициента динамичности, но к нему есть ряд замечаний. В свою очередь над концепцией спектров ответов работало большое количество известных ученых. В материалах [50-51] можно встретить методики расчетов, а также статьи и исследования, посвященные расчету подземных сооружений на сейсмические воздействия. Спектр ответов доступнее для понимания. Его возможно получить не только экспериментальным, но и теоретическим путем. Он логичен и имеет простую методику построения для систем с различными значениями коэффициентов демпфирования. Так же есть возможность использования спектров ответов для расчёта неупругих систем [52]. В концепции, основанной на динамическом коэффициенте, невозможно провести анализ параметров сейсмоизолирующих устройств, а специальный спектр ответов (зависимость максимальных ускорений от перемещений) позволяет это сделать. Этот факт является еще одним неоспоримым преимуществом этой системы.

Наиболее распространенным повреждением балочных разрезных мостов, возникающим при сейсмических воздействиях, является сдвиг пролетных строений. Сдвиг сопровождается разрушение опорных частей, повреждение оголовков опор. В Японии в 1923 г. произошло заклинивание подвижной опорной части моста Банкоку. Аналогичное повреждение получила опорная часть моста через р. Вбрас (Банья-Лука). Разрушение неподвижной опорной части стального пролетного строения произошло на железнодорожном мосту в районе Ланкиху (Чили, 1960 г., сила землетрясения 10 баллов). И таких примеров огромное количество. Для решения указанной проблемы с помощью спектров ответов, можно вычислить относительные спектры максимальных реакций. Эти спектры помогают определить размеры зон опирания пролетных строений на опорах мостов. Также они позволяют оценить риск соударения рядом стоящих сооружений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходя из всех аргументов, которые были приведены выше можно сделать несколько выводов и найти пути решения в сложившейся ситуации.

1. Предлагается заменить термин «динамические коэффициенты» на спектры реакций (ответов). Использование динамических коэффициентов возможно при четком определении этих коэффициентов и статических воздействий.

2. В качестве характеристики сейсмического воздействия необходимо использовать пиковые ускорения и продолжительность воздействий, отказавшись от привязки к баллам.

3. Для более точной оценки сейсмичности площадки предлагается разработать карты ОСР с использованием эталонного грунта вместо средних (2 категории).

4. Перестать использовать в качестве основного амплитудного параметра колебаний значения максимального ускорения на среднем грунте (категория 2) и впредь использовать в этих целях максимальное ускорение на скальном грунте (категория 1).

5. Рекомендуются перейти от параметра «приращение балльности» к принципу спектральной характеристики грунтов. Такой подход позволяет наиболее точно определять характеристики грунтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных нормативных документах содержится достаточно неточностей и отсутствуют вещи, без которых нельзя рассчитывать сооружение на сейсмостойкость.

В динамических расчётах сооружений не стоит использовать балльную оценку интенсивности землетрясений. Некорректно переводить сейсмические волны, которые представляют собой механические воздействия, в баллы, а затем снова переводить их в ускорение для расчета сооружений. Такое двойное преобразование вносит неопределенность и приводит к дополнительным погрешностям в расчетах.

Серьезная ошибка была совершена разработчиками российских и советских норм, когда были использованы не спектры реакций, а динамические коэффициенты. Потеряно много времени, запроектировано и построено огромное число сооружений, выращено несколько поколений инженеров. Учебные пособия, монографии по сейсмостойкости не пополняются передовой, идущей в «ногу со временем», учитывающей современные знания и научные достижения, информацией об удобной концепции спектров ответов.

Концепция спектров ответов, разработанная более 90 лет назад, находит применение в зарубежных нормативных документах. Взвесив все «за» и «против» приходим к следующему выводу. Понятие «динамические коэффициенты» в нормативных документах РФ следует заменить спектрами реакций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bridge Engineering Handbook, W.K. Chen and L. Duan, Eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 2000.
2. Губанова М. А., Петрищевский А. М. Связь сейсмичности с глубинным геологическим строением Приамурья и Маньчжурии // Региональные проблемы. 2011. Т. 14. № 2. С. 51-56.
3. Петрищевский А. М., Васильева М. А. 3D-тектонический анализ полей сейсмичности в южных районах дальнего востока России // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. №3. С. 25-39.
4. Столяров В. Г., Бабаевская Л. В. Сейсмостойкое строительство и сейсмические риски на Северном Кавказе // Геоэкология. Инженерная геодезия. Гидрогеология. Геокриология. 2013. № 5. С. 442-453.
5. Гордеев Е. И., Федотов С. А., Чебров В. Н. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961–2011 гг., Основные результаты // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 3-17.
6. Етирмишли Г. Д., Казымова С. Э., Казымов И. Э. Расчет стационарных поправок (сайт-эффект) на основе сейсмического сигнала // Геология и геофизика юга России. 2015. № 4. С. 154-163. EDN: VBIDSD.
7. Салтыков В. А., Кугасенко Ю. А., Кравченко Н. М., Коновалова А. А. Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 65. EDN: PUASZV., DOI: 10.7868/S0203030613010069.
8. Biot M. Theory of vibration of buildings during earthquake. Band 14 Heft 4, August, 1934.
9. Homer Laughlin, Ralph Arnold, William S. W. Kew; Southern California earthquake of July 22, 1923. Bulletin of the Seismological Society of America 1923;; 13 (3): 105–106.
10. Susan E. Hough, Robert Graves. 2020. The 1933 Long Beach Earthquake (California, USA): Ground motions and rupture scenario. DOI: 10.1038/s41598-020-66299-w.
11. Шаторная А.М., Тарасов В.А., Барабаш А.В., Жувак О.В., Рыбаков В.А., Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений. EDN: ZQRPBH., DOI: 10.34910/ALF.6.9.
12. Мкртычев О. В., Дорожинский В. Б., Сидоров Д. С. Исследование сейсмостойкости железобетонных зданий различных конструктивных схем // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 66-75., EDN: VBTZRL.
13. Pechersky E., Pirogow S., Sadowski G., Yambartsev A. Dynamics of Tectonic Plates // Информационные процессы. 2015. Т. 15. № 1. С. 51-65., EDN: TMLRVJ.
14. Ордобаев Б. С. О фундаментальной концепции сейсмостойкости и сейсмоустойчивости зданий при сильнейших землетрясениях // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 9. С. 133-137., EDN: UNSNTB.
15. Тяпин А. Г. Различия в нормативных подходах к расчету на сейсмические воздействия гражданских сооружений и сооружений АЭС. Часть III. Линейно-спектральная теория // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015. № 1. С. 43-46., EDN: THXIMF.
16. Соснин А. В. К вопросу учёта диссипативных свойств многоэтажных железобетонных каркасных зданий массового строительства при оценке их сейсмостойкости // Современная наука и инновации. 2017. № 1. С. 114-131., EDN: YTFHIB.
17. Тяпин А. Г. Неклассическое демпфирование в системе "Основание-сооружение" и вопрос применимости спектрального метода расчета усилий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 4. С. 44-49, EDN: WHCVJN.
18. Масляев А. В. Обоснование защиты жизни и здоровья населения России в зданиях при землетрясении в федеральных законах и нормативных документах РФ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 39 (58). С. 94-100., EDN: TLMIZT.
19. Сеитов Б. М., Ордобаев Б. С., Эргешов Э. С. Тенденция и развитие методов расчета строительных конструкций по сейсмостойкости и сейсмоустойчивости // Известия вузов Кыргызстана. 2015. № 7. С. 10-16., EDN: TGKZET.
20. Джинчвелашвили Г. А., Булушев С. В. Колебания высотных зданий при сейсмическом воздействии с учетом физической и геометрической нелинейности // Строительство: наука и образование. 2014. № 2. С. 1., EDN: SEISID.
21. Тяпин А. Г. Антонов Н. А. Модальное демпфирование с учетом грунтового основания // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. № 2. С. 40-45., EDN: VPRNNP.
22. Сеницын С. Б. Теория сейсмостойкости. Курс лекций. М.: Изд-во МГСУ, 2014., EDN: UGKSHD.
23. Midorikawa M., Hiraishi H., Okawa I., Iiba M., Teshigawara M., Isoda H. Development of seismic performance evaluation procedures in Building Code of Japan // 12th World Conference on Earthquake Engineering. 2000. pp. 1-8.
24. Gao M. New national seismic zoning map of China // Acta seismologica sinica. 2003. Vol. 16. № 6. pp. 639-645.
25. Solomos G., Pinto A., Dimova S. A review of the seismic hazard zonation in national building codes in the context of Eurocode 8 // JRC Scientific and Technical reports. 2008.
26. Электронный ресурс. URL: http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/uk_hazard_map. (дата обращения: 25.10.2024).

27. Уломов, В.И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России» / В.И. Уломов // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – № 1. – С. 5–38. EDN: PVWYIJ.
28. Уломов, В.И. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина // Сейсмостойкое строительство. – 1998. – № 4. – С. 30–34.
29. Шестоперов В.Г. Сейсмическое микрорайонирование участков строительства моста: автореф. дис. канд. техн. наук. М, 2006. 23 с., EDN: NKEYIZ.
30. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 1962. 260 с..
31. Курбацкий, Е.Н. К вопросу о пересчёте балльности в ускорения / Е.Н. Курбацкий, А.П. Косауров // Инженерные изыскания в строительстве. – 2016. – №14. – С. 50–60. EDN: XRGZIP.
32. Sheriff R.E., Geldart L.P. Exploration Seismology. Volume 1. History, theory, & data acquisition. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1982. 272 p..
33. Zoeppritz K. Uber reflexion und durchgang seismischer wellen durch unstetigkeits flachen // Uber Erdbebenwellen VII B. Nochr. Der Koniglichen Gesell. Wiss. Göttingen: Math.-Phys. Kl., 1919. P. 57---84..
34. Шестопёров, Г.С. МДС 22-1.2004. Методические рекомендации по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений / Г.С. Шестопёров, В.Г. Шестопёров. – М.: ФГУПЦПП, 2005. – 48 с..
35. Методика и принципы проведения микросейморайонирования (СМР) [Электронный ресурс] // Портал единой информационной системы (ЕИС) «Сейсмобезопасность России».
36. Корчинский, И.Л. Сейсмостойкое строительство зданий / И.Л. Корчинский, Л.А. Бородин, А.Б. Гроссман [и др.] : Учебное пособие для вузов. – М. : Высшая школа, 1971.
37. Поляков С. В., Кахновский А. М. Зависимость коэффициента динамичности от грунтовых условий площадки строительства. – В кн. Анализ последствий землетрясений. М., ЦНИИСК им. Кучеренко, 1982, 1982, с. 5–11.
38. Курбацкий Е.Н., Мазур Г.Э., В.Л. Мондрус. Критический анализ состояния нормативной документации по расчёту сооружений на землетрясения. EDN: YRGKSJ.
39. Chopra, Anil K. Dynamics of Structures. Theory and applications to Earthquake Engineering / Chopra Anil K. – Pearson Prentice Hall, Person Education Inc. Upper Saddle River, 2007.
40. Hudson, D.E. Response spectrum techniques in engineering seismology / D.E. Hudson // Proceedings of the First World Conference on Earthquake Engineering. – Berkley, CA, 1956.
41. Курбацкий, Е.Н. Спектры Фурье и спектры ответов на землетрясения. Теория и приложения / Е.Н. Курбацкий. – М..
42. Suyehiro, K.A. A seismic vibration analyser and the records obtained therewith / K.A Suyehiro // Bulletin of the Earthquake Research Institute-University of Tokyo. – 1926. – № 1. – P. 59–64.
43. Chopra, Anil K. Elastic response spectrum: a historical note / Chopra Anil K. // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. – 2007. – № 36. – P. 3–12.
44. Suyehiro, K. A seismic vibration analyzer and the records obtained therewith / K. Suyehiro // Bulletin of the Earthquake Research Institute-University of Tokyo. – 1926. – № 1. – P. 59–64.
45. Newmark N.M. Earth Spectra and Design / N.M. Newmark, W.J. Hull; Earthquake Engineering Research Institute. – Berkley, Calif., 1982.
46. Курбацкий, Е.Н. Динамические коэффициенты или спектры реакций (ответов) сооружений на сейсмические воздействия / Е.Н. Курбацкий В.Л. Мондрус // Academia. Архитектура и строительство. – 2019. – № 1. – С. 107–114. EDN: UNIOAX., DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-107-114.
47. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. В 14-ти томах. Т. 2. – М. : Министерство строительства РФ, 1995.
48. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures «ASCE standard ASCE/SEI 4-16» / American Society of Civil Engineers. – 2017.
49. Назаров, Ю.П. Определение коэффициента динамичности в расчётах на сейсмостойкость [Электронный ресурс] / Ю.П. Назаров, Е.В. Позняк // Строительство: наука и образование. – 2015. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-koeffitsienta-dinamichnosti-v-raschetah-na-seysmostoykost/viewer> (дата обращения 26.10.2024).
50. Technical manual for Design and construction of road tunnels. Civil elements U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Publication 2009.
51. Youssef M. A. Hashash M. A. Hashash Seismic design and analysis of underground structures Tunnelling and Underground Space Technology 2001. 247–293.
52. Курбацкий, Е.Н. К вопросу о динамических коэффициентах в задачах о сейсмических воздействиях Е.Н. Курбацкий, В.Л. Мондрус, Г.А. Мазур // Academia. Архитектура и строительство. – 2019. – № 4. – С. 110–118. EDN: GOVBMS, DOI: 10.22337/2077-9038-2019-4-110-118.

ОБ АВТОРАХ

Сергей Николаевич Скляр – аспирант, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.(СГТУ). 410054, Россия, г. Саратов, Политехническая ул., д.77. E-mail: sklyarov-sergey@bk.ru

Илья Игоревич Овчинников – доктор технических наук, доцент. Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.(СГТУ), 410054, Россия, г. Саратов, Политехническая ул., д.77; профессор. Тюменский индустриальный университет. 625000, Россия, г. Тюмень, Володарского ул., д.38; доцент. Уфимский государственный нефтяной технический университет, 450062, Россия, г. Уфа, Космонавтов ул., д.1. E-mail: bridgeart@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Sergey N. Sklyarov – graduate student, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU). 410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya st., 77. E-mail: sklyarov-sergey@bk.ru

Ilya I. Ovchinnikov – Doctor of Technical Science, Associate Professor. Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU). 410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya st., 77.; professor. Tyumen Industrial University. 625000, Russia, Tyumen, Volodarskogo st., 38; Associate Professor. Ufa State Petroleum Technical University. 450062, Russia, Ufa, Kosmonavtov st., 1. E-mail: bridgeart@mail.ru