

УДК 642.042.7

Ван Хайбинь

Dalian Maritime University

С. С. Ваничева

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

УЧЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПРИ ЗАДАНИИ РАСЧЕТНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Проведен анализ методов учета ответственности сооружения на величину расчетной сейсмической нагрузки. Рассмотрены четыре способа учета ответственности сооружения, применяемых в сейсмостойком строительстве. Показано, что эти способы дают разные результаты при расчете сейсмических нагрузок. Для сближения этих результатов рекомендовано использование новых карт общего сейсмического районирования. Вместе с тем совпадение результатов, полученных указанными методами, в принципе невозможно, и собственник должен принимать решение о задании уровня расчетной нагрузки исходя из поставленных задач проектирования и строительства.

сейсмическая нагрузка, степень ответственности сооружения, способы учета, сейсмический риск.

Введение

Задание расчетной нагрузки является одной из классических задач теории принятия решений. Это значит, что уровень нагрузки определяется целью расчета, например, простотой задания информации, минимумом стоимости проекта или риска, максимумом прибыли и т. д. В зависимости от целей расчета получаются разные расчетные уровни воздействия. Этот вопрос детально рассмотрен в монографии [1], где отмечается, например, что если в качестве критерия принимать срок строительства, то сейсмические нагрузки вообще не следует учитывать. К сожалению, решения принимаются в условиях ограниченной информации об их последствиях. Целью настоящей статьи является получение информации о последствиях распространенных решений по заданию уровня расчетной сейсмической нагрузки на сооружения различной степени ответственности.

Учитывая мировой опыт нормирования сейсмостойкого строительства, в статье рассматривается два уровня расчетного воздействия с двумя предельными состояниями.

Здесь следует отметить путаницу в терминологии, проанализированную в статье [2]. Ниже по аналогии с нормами расчета АЭС [3] и мостов [4], а также учебников [5, 6] проектными землетрясениями (ПЗ) будем называть относительно частые землетрясения, не вызывающие нарушения нормальной эксплуатации сооружения. Для обычных сооружений повторяемость ПЗ принимается примерно раз в 100 лет или один раз за срок службы сооружения [2]. Кроме ПЗ в расчет вводится максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), при котором допускаются повреждение и неупругая работа сооружения. Повторяемость таких воздействий составляет примерно один раз в 1000 лет.

Отметим, что, например, в Своде правил РФ [7] и нормах Украины [8] под ПЗ подразумевается сильное землетрясение с повторяемостью раз в 500 лет (по карте А карт ОСР-97), а под МРЗ также подразумевается сильное, но более редкое землетрясение, которое принимается в расчет для сооружений повышенной ответственности. По упомянутой выше и используемой в статье терминологии оба эти воздействия относятся к МРЗ.

1 Способы учета ответственности

Обратимся к применяемым способам учета ответственности при оценке уровня воздействия.

Самый простой способ – это введение при расчете малоответственных сооружений понижающего коэффициента. Такой подход реализован в нормах КНР. В табл. 1–4 приведены коэффициенты ответственности для мостов различного назначения. Ускорения в таблицах приведены в долях ускорения силы тяжести g , а риски – в долях от стоимости сооружения.

Второй способ – это задание повторяемости расчетного воздействия. В российских нормах это задание расчетной карты ОСР. Например, мосты длиной менее 200 м считаются на МРЗ по карте А (повторяемость раз в 500 лет), а мосты повышенной ответственности – по карте В (повторяемость раз в 500 лет).

Третий способ – это задание вероятности отказа (превышения воздействием расчетного значения). При этом расчетный уровень ускорений A определяется из решения трансцендентного уравнения:

$$\sum_{I=6}^{10} P(I) \cdot q(A > A_p | I) = \varepsilon, \quad (1)$$

где $P(I)$ – вероятность возникновения землетрясения силой I на площадке строительства; $q(A > A_p | I)$ – вероятность того, что ускорение A превысит расчетное значение ускорения A_p при условии, что землетрясение силой I произошло; ε – допустимая вероятность превышения ускорением расчетного значения.

Детальный анализ уравнения 1 имеется в статье [9].

Для вероятности $P(I)$ мы использовали традиционное распределение Пуассона; для вероятности q использовано соотношение, полученное к. т. н. А. А. Долгой [10] и приведенное в Рекомендациях [11].

Четвертый способ состоит в задании допустимого риска, т. е. расчетное ускорение определяется из условия

$$\sum_{I=6}^{10} D(K_s, I) \cdot K(I) = [R], \quad (2)$$

где $D(K_s, I)$ – ущерб сооружению с классом сейсмостойкости K_s от землетрясения силой I .

В соответствии с [12] величина ущерба оценивается по формуле

$$D(K_s, I) = 1 - e^{-\left(\frac{I - I_0(K_s)}{\beta(K_s) - I_0(K_s)}\right)^v}. \quad (3)$$

В соответствии с [4], класс сейсмостойкости связан с расчетным уровнем сейсмического воздействия (ускорений основания) соотношением

$$A = 2^{K_s - 7}. \quad (4)$$

Отсюда можно определить класс сейсмостойкости как непрерывную величину:

$$K_s = 7 + \frac{\ln(A)}{\ln(2)}. \quad (5)$$

Для иллюстрации указанных выше способов учета ответственности сооружения в табл. 1–2 приведены значения расчетных ускорений для сооружения, проектируемого по СНиП по карте В.

Заключение

Приведенные таблицы позволяют сделать следующие выводы:

1. Использование различных подходов для учета ответственности сооружения приводит к совершенно разным техническим решениям сейсмозащиты сооружения. Например, при проектировании объекта с ситуационной сейсмичностью $I_A = 8$, $I_B = 8$, $I_C = 8$ изменения расчетной карты общего сейсмического районирования вообще не меняет уровня сейсмических нагрузок, а введение понижающего коэффициента существенно меняет эти нагрузки.

2. Сложившийся в РФ учет ответственности путем назначения карты общего сейсмического районирования приводит к тому, что

ТАБЛИЦА 1. Учет ответственности сооружения на базе нормативных ускорений для расчетной сейсмичности по карте В 8 баллов

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчетное ускорение по СНиП, g	Вероятность превышения	Риск	Переход к другой карте			Введение коэффициента 0,5		
						Расчетное ускорение, g	Вероятность превышения	Риск	Расчетное ускорение, g	Вероятность превышения	Риск
I_A	I_B	I_C									
8	8	9	0,2	0,0370	$5,905 \times 10^{-5}$	0,2	0,0370	$5,905 \times 10^{-5}$	0,1	0,2032	$6,015 \times 10^{-5}$
7	8	9	0,2	0,0268	$3,589 \times 10^{-5}$	0,1	0,1101	$3,856 \times 10^{-5}$	0,1	0,1101	$3,856 \times 10^{-5}$
8	8	8	0,2	0,0212	$4,445 \times 10^{-5}$	0,2	0,0212	$4,445 \times 10^{-5}$	0,1	0,1872	$4,192 \times 10^{-5}$
7	8	8	0,2	0,0110	$2,129 \times 10^{-5}$	0,1	0,09455	$2,032 \times 10^{-5}$	0,1	0,09455	$2,032 \times 10^{-5}$

ТАБЛИЦА 2. Учет ответственности сооружения на базе заданной вероятности превышения ускорениями расчетного значения

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчетное ускорение с данным отказом	Вероятность превышения	Риск	Повышение вероятности превышения			Введение коэффициента 0,5		
						Расчетное ускорение	Вероятность превышения	Риск	Расчетное ускорение	Вероятность превышения	Риск
I_A	I_B	I_C									
8	8	9	0,446918	0,001	$3,746 \times 10^{-5}$	0,3231617	0,01	$5,531 \times 10^{-5}$	0,2238	0,0250	$5,969 \times 10^{-5}$
7	8	9	0,44691	0,001	$2,332 \times 10^{-5}$	0,3223781	0,01	$3,316 \times 10^{-5}$	0,2238	0,0199	$3,600 \times 10^{-5}$
8	8	8	0,28918	0,001	$4,472 \times 10^{-5}$	0,2213004	0,01	$4,532 \times 10^{-5}$	0,1445	0,1490	$4,106 \times 10^{-5}$
7	8	8	0,26963	0,001	$2,169 \times 10^{-5}$	0,2026984	0,01	$2,135 \times 10^{-5}$	0,1348	0,0789	$1,961 \times 10^{-5}$

ТАБЛИЦА 3. Учет ответственности сооружения на базе нормативных ускорений для расчетной сейсмичности по карте В 9 баллов

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчет- ное уско- рение по СНиП, g	Вероят- ность превыше- ния	Риск	Переход к другой карте			Введение коэффициента 0,5		
						Расчетное ускорение, g	Вероят- ность пре- вышения	Риск	Расчетное ускорение, g	Вероят- ность пре- вышения	Риск
9	9	10	0,4	0,03705	$1,482 \times 10^{-4}$	0,4	0,03705	$1,482 \times 10^{-4}$	0,2	0,21095	$1,945 \times 10^{-4}$
8	9	10	0,4	0,02690	$9,165 \times 10^{-5}$	0,2	0,11398	$1,212 \times 10^{-4}$	0,2	0,11398	$1,212 \times 10^{-4}$
9	9	9	0,4	0,02122	$1,931 \times 10^{-4}$	0,4	0,02122	$1,931 \times 10^{-4}$	0,2	0,19505	$2,512 \times 10^{-4}$
8	9	9	0,4	0,01103	$9,034 \times 10^{-5}$	0,2	0,09810	$1,178 \times 10^{-4}$	0,2	0,09810	$1,178 \times 10^{-4}$

ТАБЛИЦА 4. Учет ответственности сооружения на базе заданной вероятности превышения ускорениями расчетного значения

Ситуационная сейсмичность, баллы			Расчет- ное уско- рение с заданной вероятно- стью	Вероят- ность превыше- ния	Риск	Повышение вероятности превышения			Введение коэффициента 0,5		
						Расчетное ускорение	Вероят- ность пре- вышения	Риск	Расчетное ускорение	Вероят- ность пре- вышения	Риск
9	9	10	0,893822	0,001	$5,533 \times 10^{-6}$	0,646390	0,01	$6,563 \times 10^{-5}$	0,446911	0,02517	$1,341 \times 10^{-4}$
8	9	10	0,893822	0,001	$5,118 \times 10^{-6}$	0,644740	0,01	$4,343 \times 10^{-5}$	0,446911	0,02070	$8,331 \times 10^{-5}$
9	9	9	0,578346	0,001	$8,984 \times 10^{-5}$	0,442630	0,01	$1,691 \times 10^{-4}$	0,289173	0,15008	$2,395 \times 10^{-4}$
8	9	9	0,539293	0,001	$5,276 \times 10^{-5}$	0,405432	0,01	$8,898 \times 10^{-5}$	0,269646	0,07881	$1,142 \times 10^{-4}$

проектируемые сооружения имеют различные надежность и риск, что ранее отмечалось в литературе [13].

3. В настоящее время Институт физики Земли разработал карты общего сейсмического районирования, в которых сейсмичность задается с точностью до 0,25 балла. В этом случае переход на другую карту для учета ответственности сооружений должен давать результаты, близкие к способу задания вероятности превышения нагрузки расчетного уровня. По нашему мнению, способ перехода на другую карту районирования при детализации карт был бы достаточно удобным и понятным с инженерной точки зрения.

4. Равнонадежное проектирование не обеспечивает одинаковых рисков, которые в зависимости от ситуационной сейсмичности могут изменяться более чем в 2 раза при сохранении вероятности превышения нагрузкой расчетного значения. Однако менее надежные сооружения всегда находятся в зоне большего риска.

Библиографический список

1. **Модели** сейсмостойкости сооружений / И. И. Гольденблат, Н. А. Николаенко, С. В. Поляков, С. В. Ульянов. – Москва : Стройиздат, 1979. – 251 с.
2. **К вопросу** о развитии нормативной базы сейсмостойкого строительства и используемой в нормах терминологии / Т. А. Белаш, Э. Симборт, А. М. Уздин, Ван Хайбинь // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2013. – № 2. – С. 23–28.
3. **Расчет** конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – Санкт-Петербург : Наука, 1998. – 254 с.
4. **Инструкция** по оценке сейсмостойкости эксплуатируемых мостов на сети железных и ав-

томобильных дорог (на территории Туркменской ССР). – Ашхабад : Ылым, 1988. – 106 с.

5. **Сейсмостойкое** строительство : учебник / О. Н. Елисеев, А. М. Уздин. – Санкт-Петербург : ПВВИСУ, 1997. – 371 с.

6. **Железнодорожные** здания для районов с особыми природно-климатическими условиями и техногенными воздействиями. Учебник / Т. А. Белаш, А. М. Уздин. – М. : Учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. – 372 с.

7. **Строительные** нормы и правила. СНиП II-7–81*. – Москва : Госстрой России, 2000. – 45 с.

8. **Проектирование** зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / Ю. И. Немчинов, Н. Г. Марьенков, А. К. Хавкин, К. Н. Бабик. – Киев, 2012. – 384 с.

9. **К вопросу** задания сейсмического воздействия при многоуровневом проектировании сейсмостойких конструкций / О. А. Сахаров // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2004. – № 4. – С. 7–9.

10. **Моделирование** сейсмического воздействия коротким временным процессом / А. А. Долгая // Э-И. ВНИИТПИ. Сер. «Сейсмостойкое строительство». – 1994. – Вып. 5–6. – С. 56–63.

11. **Рекомендации** по заданию сейсмических воздействий для расчета зданий разной степени ответственности. – Санкт-Петербург : Петропавловск-Камчатский : КамЦентр, 1996. – 12 с.

12. **Оценка** сейсмического риска и эффективность антисейсмического усиления железнодорожных мостов / С. С. Огнева // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2013. – № 5. – С. 49–51.

13. **Оценка** статистических характеристик расчетного воздействия при заданной сейсмичности площадки строительства / А. М. Уздин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2000. – № 2. – С. 3–6.