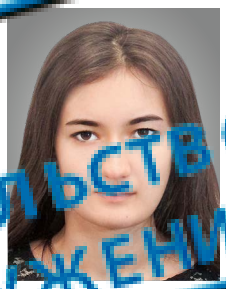


О.Б. Сабирова

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (ПГУПС), кафедра «Промышленное и гражданское строительство», инженер, Россия, Санкт-Петербург

УДК 624.042.7

Оценка коэффициентов сочетаний сейсмической и ледовой нагрузок

Аннотация: *Рассмотрены коэффициенты сочетаний ледовой и сейсмической нагрузок для землетрясений с разной повторяемостью. В качестве функции плотности распределения ледовой нагрузки принят закон Вейбулла, дополненный дельта функцией в начале координат, что позволяет учесть отсутствие льда в теплое время года. Интервал между землетрясениями принят по закону Пуассона. Показано, что величины расчетных нагрузок существенно зависят от повторяемости землетрясений, а коэффициенты сочетаний практически не зависят. Коэффициенты сочетаний образуют равновероятные пары воздействий, определяющие зависимость коэффициента сочетания ко льду от коэффициента сочетаний к сейсмической нагрузке. Выполнен пример расчета для районов с ориентировочной сейсмичностью 9, 10 и 11 баллов соответственно по зонам А, В и С карт общего сейсмического районирования территории России.*

Ключевые слова: *сейсмическая нагрузка, ледовая нагрузка, сочетания, коэффициент сочетаний.*

Sabirova O., engineer, Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, department "Industrial and civil construction", Russia, Saint-Petersburg

Estimating Combination Coefficients of Seismic and Ice Loads

Abstract: *Combination coefficients of ice and seismic loads for earthquakes of different frequencies have been considered. As the density function of the ice load distribution, the Weibull law, supplemented by a delta function at the origin was used, which allowed us to take into account the absence of ice in the warm season. The interval between earthquakes was taken according to the Poisson law. It has been shown that the magnitude of the design loads significantly depends on the frequency of earthquakes, and the combination coefficients are practically independent. Combination coefficients determine equally probable pairs of actions, which in turn determine the dependence of the combination coefficient to ice loads on the combination coefficient to seismic ones.*
An example of calculation for the region respectively with situational seismicity of 9, 10 and 11 points in zones A, B and C of general seismic zoning maps of the territory of Russia is given

Keywords: *seismic load, ice load, combinations, equiprobable pairs, combinations factor.*

На сегодняшний день в России исследования сочетаний сейсмической и других нагрузок весьма ограничены и относятся, прежде всего, к сейсмической и ледовой нагрузкам. Общий подход к сочетанию сейсмической нагрузки с другими нагрузками изложен в статье О.А.Сахарова [1]. Сочетания сейсмической и железнодорожной нагрузок рассмотрены в статье [2] и монографии [3]. Что касается ледовой нагрузки, то соответствующие исследования отсутствуют в литературе, и по нормам [4] сочетание сейсмической и ледовой нагрузок не предусматривается. Но такие сочетания вполне вероятны, особенно в суровых климатических условиях России. Этот вопрос становится наиболее актуальным в переходом к многоуровневому проектированию, когда сочетания нагрузок надо рассматривать как минимум, для проектного (ПЗ) и максимального расчетного (МРЗ) землетрясений. Во многих работах [9] рассматриваются и землетрясения уникальной силы (УЗ). Далее рассмотрены подобные сочетания нагрузок для площадки с ситуационной сейсмичностью 9-10 баллов по картам ОСР-2015. Такой сейсмичностью характеризуются такие высокосейсмичные районы, как, например, Сахалин или Камчатка.

Определение коэффициентов сочетаний для сейсмических и других нагрузок описано в работе О.А.Сахарова [1]. Там приведена формула (1), по которой вычисляется вероятность превышения какой-либо нагрузки, в данном случае ледовой. Здесь считывается вероятность превышения сейсмической нагрузки:

$$P_{ice} \cdot P_{eq} = [P], \quad (1)$$

где P_{ice} – вероятность того, что будет превышена расчетная ледовая нагрузка, характеризуемая толщиной льда L;

P_{eq} – вероятность того, что будет превышена расчетная сейсмическая нагрузка с пиковым ускорением PGA (в долях ускорения силы тяжести g);

[P] – допустимая вероятность события, заключающегося в одновременном воздействии ветрового, сейсмической нагрузок.

Соответствующая ледовая нагрузка задается толщиной льда L. При ее оценке следует учитывать функцию плотности распределения (ф.р.) льда за год. На рис. 1 показаны значения толщины льда за 6 месяцев в районе г. Петропавловск-Камчатский, все остальные месяцы года относительно теплые и в это время лед отсутствует. Параметры распределения – математическое ожидание и дисперсия для рассмотренной выборки оказались равными L = 0,5 σ_L = 0,28.

Для аппроксимации функции плотности распределения толщины льда автором принята функция распределения Вейбулла, имеющая вид (2):

$$P(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{\theta}\right)^{-\beta}}, \quad (2)$$

где θ – параметр масштаба, а β – параметр формы распределения.

Для определения параметров распределения использованы приведенные выше эмпирические значения математического ожидания L и среднеквадратичного отклонения σ_L, которые связаны с параметрами распределения следующим образом

$$\begin{cases} L = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ \sigma_L^2 = \theta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]^2\right] \end{cases} \quad (3)$$

Методика определения параметров θ и β (решение уравнений (3) описана в работе Сахарова О.А. [1]. На рис. 2 показан вид построенной автором по методике [1] функции плотности распределения для рассматриваемой ледовой нагрузки. Приведенная на рис. 2 функция плотности распределения дополняется в начале координат дельта-функцией, площадь под которой равна вероятности отсутствия льда в течение времени года.

С использованием построенной функции плотности распределения для нескольких значений толщины льда получены вероятности их превышения. Они приведены в первых двух колонках таблиц 1-3. Для этих вероятностей

Таблица 1

Лед			Сейсмика ПЗ		
Толщина льда L	**Вероятность P_{ice}**	**Коэффициент сочетаний K_{ice}**	**Ускорение A**	**Вероятность P_{eq}**	**Коэффициент сочетаний K_{eq}**
0,14	0,927	0,[illegible]	[illegible]	0,04	1
0,33	0,[illegible]89	0,[illegible]5	0,78	0,06	0,[illegible]8
0,47	0,489	0,391	0,65	0,08	0,65
0,60	0,325	0,500	0,51	0,12	0,51
0,79	0,154	0,658	0,29	0,26	0,29
0,85	0,117	0,708	0,24	0,34	0,24
0,89	0,097	0,741	0,22	0,41	0,22
1	0,055	0,813	0	0,73	0
1,2	0,017	1	0	1	0

Таблица 2

Лед			Сейсмика УЗ		
Толщина льда L	Вероятность P_{ice}	Коэффициент сочетаний K_{ice}	Ускорение A	Вероятность P_{eq}	Коэффициент сочетаний K_{eq}
0,14	0,927	0,116	6,56	0,002	1
0,3	0,689	0,275	5,09	0,003	0,776
0,47	0,489	0,391	4,29	0,004	0,653
0,60	0,325	0,500	3,33	0,006	0,507
0,79	0,154	0,658	2,04	0,013	0,311
0,85	0,117	0,708	1,74	0,017	0,265
0,89	0,097	0,741	1,53	0,021	0,233
1	0,055	0,833	1,08	0,036	0,164
1,2	0,017	1	0	0,17	0

Таблица 3

Лед			Сейсмика МРЗ		
Толщина льда L	Вероятность P_{ice}	Коэффициент сочетаний K_{ice}	Ускорение A	Вероятность P_{eq}	Коэффициент сочетаний K_{eq}
0,14	0,927	0,116	10,00	0,001	1
0,3	0,689	0,275	7,81	0,0015	0,781
0,47	0,489	0,391	6,56	0,002	0,653
0,60	0,325	0,500	5,00	0,003	0,509
0,79	0,154	0,658	3,16	0,0065	0,316
0,85	0,117	0,708	2,69	0,0085	0,269
0,89	0,097	0,741	2,38	0,0103	0,238
1	0,055	0,833	1,68	0,0181	0,168
1,2	0,017	1	0,8	0,0588	0,08

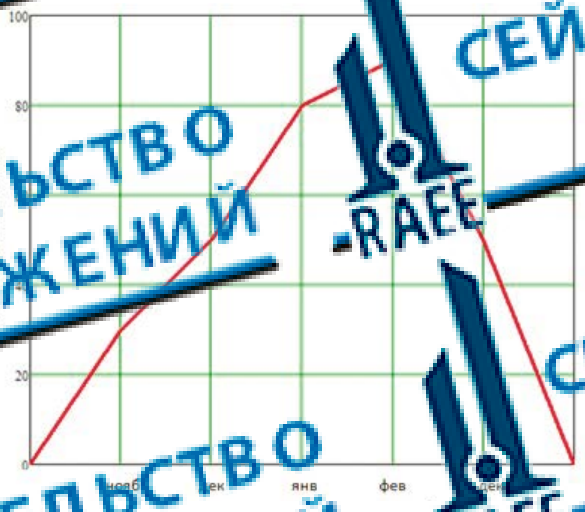
по формуле (1) рассчитаны соответствующие вероятности сейсмических нагрузок, для проектного землетрясения ПЗ в табл.1, для умеренного землетрясения УЗ табл. 2, и для максимального расчетного землетрясения МРЗ табл. 3. При этом автор исходил из следующих соображений.

В большинстве норм [5] ПЗ принимается с повторяемостью раз в 500 лет. Однако для рассматриваемого района ПЗС с повторяемостью раз в 100 лет приводит к PGA ≈ 2,4 м/с², что в свою очередь определяет высокую стоимость антисейсмического усиления сооружения. Поэтому автор рассмотрел в качестве ПЗ землетрясение с повторяемостью раз в 25 лет, с допустимой вероятностью превышения за год [P] = 0,04 (за срок службы 100 лет [P] ≈ 0.63). Расчетное значение PGA при этом составило примерно 1 м/с², что обеспечивает сейсмостойкость сооружения при его нормативном расчете по карте А. Такое ПЗ соответствует, например, расчетному землетрясению итальянских норм с предельным состоянием "operational limit state", имеющему повторяемость раз в 111 год при вероятности превышения за срок службы 0,5 [10].

При проектировании ответственных сооружений с использованием карты В представляется целесообразным рассмотреть кроме ПЗ и МРЗ еще и умеренное землетрясение УЗ, которое редкое по сравнению с ПЗ землетрясение, возможное раз в 500 лет с допустимой вероятностью превышения за год [P] = 0,002. При этом МРЗ как самое редкое расчетное землетрясение, после которого эксплуатация сооружения невозможна, имеет повторяемость по карте В, составляющую раз в 1000 лет, и ее допустимая вероятность превышения за год равна [P] = 0,001.

Уровень расчетных ускорений по вероятности их превышения за расчетный интервал времени определен исходя из распределения интервала времени между воздействиями заданной повторяемости (Пуассона) по закону Пуассона и связи интенсивности в баллах с PGA по шкале балльности [6]. Детальное описание методики определения уровня ускорений приведено в работах [7,8].

В общем случае величина τ может сказываться на коэффициентах сочетаний, так как при больших τ может про-



Месяцы года, при которых существует ледяной покров

Рисунок 1 — Толщина льда в разные месяцы года

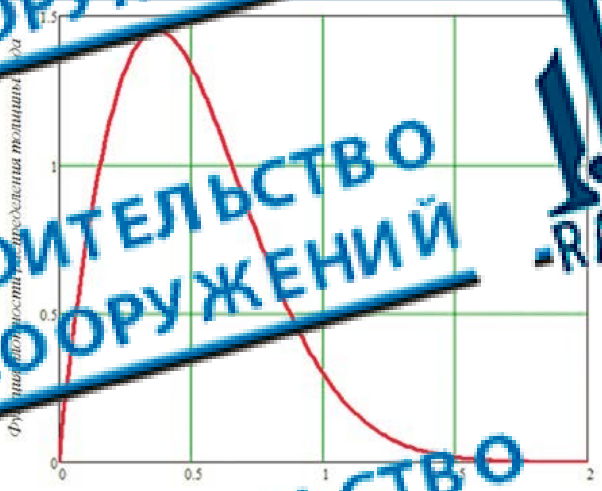


Рисунок 2 — Функция плотности распределения Вейбулла для ледовой нагрузки

изойти несколько опасных событий. Однако в первом приближении можно считать, что допустимая вероятность [P] и значение вероятности P_{eq} пропорциональны времени τ. В этом случае оно сокращается в условии (1). По указанной причине автор принимал время τ равное одному году.

При расчете ускорений для данных сейсмотрясений также учитывался преобладающий период воздействия 0,3 с, что соответствует объектам массового строительства.

Результаты расчетов ускорений приведены в предпоследних колонках таблиц 1-3. Коэффициенты сочетаний получены путем деления данной нагрузки на максимальную нагрузку. Так, например, для расчета коэффициентов сочетаний ледовой

Коэффициенты сочетания ледовой нагрузки K_{ice}

Рисунок 3 — График коэффициентов сочетаний ледовой и сейсмической нагрузок. Сплошная линия – для ПЗ, пунктир – для МРЗ, точечная линия – для УЗ

нагрузки толщину льда делим на максимальную ее толщину. Результаты приведены в последних колонках таблиц 1-3.

На рис. 3 показана графическая связь коэффициентов сочетаний ледовой и сейсмической нагрузок для ПЗ (красным цветом), УЗ (синим цветом) и МРЗ (зеленым цветом).

Таким образом, мы определили множество равновероятных пар, определяемых соответствующими коэффициентами сочетаний (K_{eq} , K_{ice}) на которые следует проводить расчет. Как видно из рисунка, коэффициенты сочетаний практически не зависят от уровня сейсмической нагрузки.

Выбор опасной пары должен определяться проектировщиком. На предварительных этапах проектирования автору представляется целесообразным сделать расчеты для трех пар, помеченных на графике:

1 – K_{eq} = 0,8, K_{ice} = 0,3;
2 – K_{eq} = 0,5, K_{ice} = 0,5;
3 – K_{eq} = 0,3, K_{ice} = 0,7

Заключение

1. Из вышеописанных расчетов видно, что в высокосейсмичных районах необходимо сочетать сейсмическую и ледовую нагрузки для ПЗ, УЗ и МРЗ.
2. Коэффициенты сочетаний для ПЗ, УЗ и МРЗ одинаковые, хотя нагрузки значительно отличаются.
3. На предварительных этапах проектирования целесообразно делать расчеты для трех точек, помеченных на графике: 1 – (K_{eq} = 0,8, K_{ice} = 0,3), 2 – (K_{eq} = 0.5, K_{ice} = 0,5) 3 – (K_{eq} = 0,3, K_{ice} = 0,7).

Работа выполнена в рамках гранта ПГУПС
The work was performed under the Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university grant.

Литература

1. Сахаров О.А. К вопросу о назначении коэффициентов сочетаний сейсмической и других нагрузок//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2003. №2. С. 9-11.
2. Кузнецова И.О., Сахаров О.А. К вопросу об оценке коэффициентов сочетаний сейсмической и железнодорожной нагрузки// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. №3. С. 21-23.
3. Уздин А.М., Кузнецова И.О. Сейсмостойкость мостов. Саарбрюккен (Германия), Palmarium Academic Publishing, 2012. 450 с.
4. СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах»*
5. Бердов Г.И., Уздин А.М., Мордич Э., Ван Хайбинь. К вопросу о развитии нормативной базы сейсмостойкого строительства и используемой в нормах терминологии//Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2013. №2. С. 25-28.

6. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шк[ала] [сооруж]ений при многоуровневом проект[иро]-
сейсмической интенсивности. М.: ООО «[Наука] [и] [обр]нии//Природные и техногенные риски. Без-
ука и образование» 2012. 76 с. [опас]ность сооружений. 2018. № 4(35). С. 25-27.
7. Арещенко Т.С., Прокопович С.В., Сабиров[а] [О.Б.] Оценка коэффициентов со-
О.Б., Фролова Е.Д. Задание уровня сейсмическ[ого] [чет]аний сейсмической и ветровой нагрузок
го воздействия для зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопас-
ность сооружений. 2018. №6.С.39-43.
8. Сабиров М. Н. Изменения кода в инженерной сейсмологии. Elsevier Science Ltd. 12-я Европейская конференция по сейсмологии. 2002. №843.
10. Итальянские нормы «Технические нормы для сооружений», 22 марта 2018 г.

Referen[ces]

1. Sakharov O.A. K voprosu o naznachenii koeffitsientov sochetanii seismicheskoi i drugich nagruzok//Seismostoikoe stroitelstvo.Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2003, no.2, pp.7-11.(In Russian).
2. Kuznetsova I. O., Sakharov O. A. K voprosu ob otsenke koeffitsientov sochetanii seismicheskoi i zheleznodorozhnoi nagruzki//Seismostoikoe stroitelstvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2006, no.3, pp.21-25.(In Russian).
3. Uzdin A. M., Kuznetsova I. O. Seismostoikost' mostov. Saarbruken (Germania). Palmarium. 2014. 450 s. (In Russian).
4. SP [3]3330.2018 «SNiP II-7-81* «Stroitelstvo v seismicheskih raionach» (In Russian).
5. [Ush]akov A.A., Uzdin A.M., Simbart E., Wang Haibin. K voprosu o aktivitii normativnoi bazy seismostoikogo stroitelstva v otnoshenii terminologii// Prirodnye i tehnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenii [Natural and man-made risks. Constructions safety], 2013, no.2, pp.7-28. (in Russian).
6. Aptikaev F.F. Instrumental'naia shkala seismicheskoi intensivnosti. M.: OOO «Nauka i obrazovanie». 2012. 76 p. (In Russian).
7. Areschenko T. S., Prokopovich S.V., Sabirova O. B., Frolova E. D. Zadanie urovnia seismicheskogo vozdeistviia dlia zdanii i sooruzhenii// Seismostoikost sooruzhenii pri mnogourovnevom proektirovanii// Prirodnye i tehnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenii [Natural and man-made risks. Constructions safety], 2018, no. 4(35), pp. 25-27. (In Russian).
8. Sabirov M. N. Estimating the combination coefficients of seismic and wind loads// Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 6, pp. 39-43. (In Russian).
9. Fardis M. N. Code changes in engineering seismology. [Izmenenie koda v inzhenernoi seismologii]. Published by Elsevier Science Ltd. 12th European conference on seismology.2002. No.843. (In English).
10. Italian standards «Technical standards for constructions», March 22, 2018.

Для цитирования: *Сабиров О.Б. Оценка коэффициентов сочетаний сейсмической и ледовой нагрузок // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. №1. С. 28-32.*

For citation: *Sabirova O.B. Estimating Combination Coefficients of Seismic and Ice Loads // Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 1, pp. 28-32. (In Russian).*

РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМНО-ИНФОРМАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА СТРАНИЦАХ ЖУРНАЛА «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

Реклама на обложке журнала

Размер в мм (+ по 5 мм в поле)		стоимость (в рублях)
2-я обложка	210x297	50 000
3-я обложка	210x297	40 000
4-я обложка	210x297	60 000
Первый разворот		75 000
Второй разворот		68 000

Горизонтальные модульные рекламные блоки на внутренних полосах журнала

1 полоса	210x297	25 000
1/2	210x145	15 000
1/3	210x98	8 000

Статья информационного характера

1 полоса	210x297	16 000
25 полос	210x297	160 000

Размещение баннера на сайте журнала (в течение двух месяцев)

88x31 пиксель	31x11	4 000
100x35 пиксель	35x35	4 500
468x60 пиксель	165x21	5 000

Расценки действительны с 1 января 2019 года, НДС не облагается.
СКИДКИ
Для рекламных агентств, членов РАСС – 15%.
За кратность: 2 публикации – 10%, 3 – 15%, 4 – 20%.

Условия размещения

Предоплата – 100%. Рекламный макет и документ, подтверждающий оплату, предоставляются не позднее 10 рабочих дней до даты сдачи номера в печать.
Иллюстративный материал необходимо предоставить в следующих форматах: рисунки – в EPS, AI, CDR; фотографии – в TIF, JPG; таблицы, схемы, диаграммы – в Exsel, Corel Draw; разрешение файлов – не менее 300 dpi.
Более подробную информацию можно найти на сайте www.seismic-safety.ru
Телефон: 8 (499) 174-70-65, e-mail: info@raee.su
Для тематических номеров действуют специальные условия. При заказе тематического выпуска Вы получаете 100 экз. журнала в подарок! Дополнительные экземпляры можно приобрести по 1 600 руб./экз.