

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2021-2-72-85](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-72-85)

## Проектирование, строительство и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений

Многоуровневый подход к проектированию сооружений в цунамиопасных районах

Сабилова О.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе предложен двухуровневый подход к расчету сооружений на действие цунами. Введено понятие проектного цунами и максимального расчетного цунами и соответствующих им предельных состояний. Оценены расчетные нагрузки на мостовые опоры от проектного и максимального расчетного цунами в зависимости от опасности территории и ответственности моста. При этом мосты, в соответствии с подходом, принятым в транспортном строительстве, разделены по степени ответственности на четыре категории. Получена формула, которая позволяет оценивать расчетную величину заплеска для проектного и максимального расчетного цунами в зависимости от категории моста. Кроме того, приведены графики, показывающие повторяемость цунами и соответствующую этой повторяемости расчетную высоту волны. Для оценки коэффициентов сочетаний нагрузок от ветра и цунами рассмотрены их равновероятные пары. При этом для задания ветровой нагрузки использовано распределение Вейбулла, а для нагрузки от цунами – распределение, приведенное в Своде Правил по обеспечению цунамибезопасности. Учет таких пар нагрузок актуален для мостов с высокими опорами, когда высота заплеска не превосходит высоты опор и велика вероятность одновременного сочетания нагрузок от ветра и от цунами. В работе приведены расчеты заплесков для двух видов цунами: проектного с повторяемостью раз в 50 лет и максимального расчетного с повторяемостью раз в 500 лет применительно к Камчатскому региону и Курильским островам для мостов первой и второй категории. Исследования показывают, что для проектного цунами и максимального расчетного цунами коэффициенты сочетаний с ветровой нагрузкой существенно различаются.

**Ключевые слова:** многоуровневое проектирование, коэффициенты сочетаний, высота заплеска волн, цунамиопасность, категории мостов

**Благодарности:** Автор выражает благодарность профессору А.М. Уздину за помощь при подготовке статьи. Кроме того, благодарит к.т.н. Смирнову Л.Н. и Клячко М.А. за замечания в процессе проведения исследований и их обсуждения.

**Для цитирования:** Сабилова О.Б. Многоуровневый подход к проектированию сооружений в цунамиопасных районах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 2. С.72-85. DOI [10.37153/2618-9283-2021-2-72-85](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-72-85)

@ Сабилова О.Б., 2021

## ***Design, building and reconstruction of aseismic constructions***

### **Multi-level designing structures in tsunami-prone areas**

**Sabirova O.B.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>St. Petersburg State University of Railway Transport of the Emperor Alexander I  
Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract:** The paper proposes a two-level approach to the calculation of structures for the tsunami effect. The concept of the design tsunami and the maximum design tsunami and their corresponding limit states is introduced. The estimated loads on the bridge piers from the design and maximum design tsunami are estimated, depending on the territory danger and the bridge responsibility. At the same time, bridges, in accordance with the approach adopted in transport construction, are divided according to their degree of responsibility into four categories. A formula is obtained to estimate the design splash value for the design and maximum design tsunami, depending on the bridge category. In addition, graphs are provided showing the frequency of the tsunami and the calculated wave height corresponding to this frequency. To estimate the combination coefficient of wind and tsunami loads, their equally probable pairs are considered. At the same time, the Weibull distribution is used to set the wind load, and for the tsunami load, the distribution given in the Code of Rules for Ensuring Tsunami Safety is used. Taking into account such load pairs is relevant for bridges with high piers, when the height of the splash does not exceed the pier height and there is a high probability of a simultaneous combination of wind and tsunami loads. The paper presents the calculations of surges for two types of tsunamis: the design one with a repeatability of once in 50 years and the maximum design one with a repeatability of once in 500 years for the Kamchatka region and the Kuril Islands for bridges of the first and second categories. Studies show that for the design tsunami and the maximum design tsunami, the coefficients of combinations with wind load differ significantly.

**Keywords:** Multi-level design, combination coefficients, wave splash height, tsunami hazard, bridge categories

**Acknowledgements:** The author is grateful to Professor A. M. Uzdin for his help in preparing the article. In addition, he thanks L. N. Smirnova, Ph. D., and M. A. Klyachko, Ph. D., for their comments in the research process and when discussing results

**For citation:** Sabirova O. B. Multi-level designing structures in tsunami-prone areas. *Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 2, pp. 72-85. (In Russian)

DOI [10.37153/2618-9283-2021-2-72-85](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-72-85)

## Введение

В настоящее время во всем мире осуществляется переход к многоуровневому проектированию сооружений, подверженных сейсмическим нагрузкам. При этом задается несколько уровней сейсмического воздействия и несколько предельных состояний. На рисунке 1 воспроизведены предложения Еврокода-8 [1], адаптированные к нормам Италии [2,3], описывающие оценку повторяемости расчетных воздействий (design earthquake).

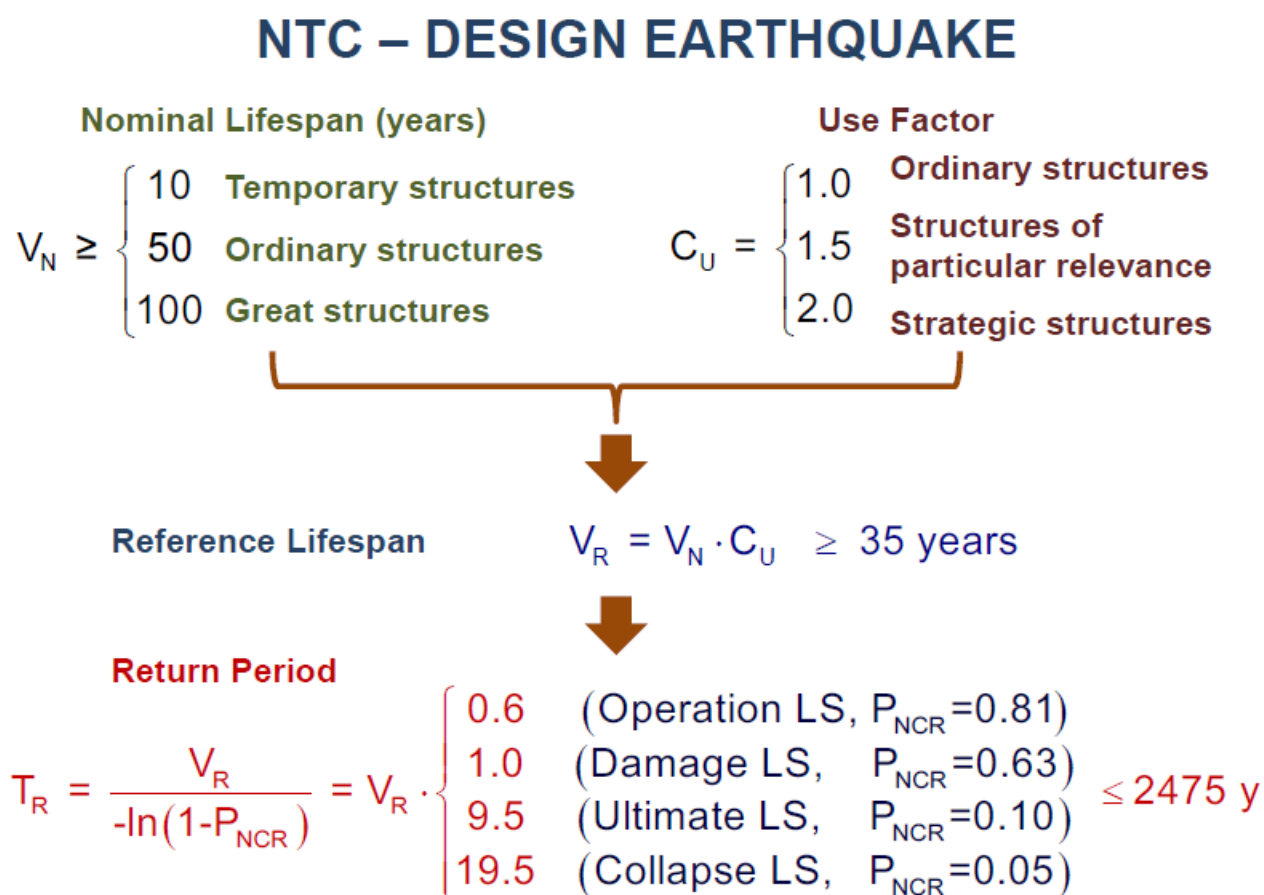


Рисунок 1 – Определение расчетных значений PGA по нормам Италии

Figure 1 – Determining the design PGA values according to Italian Guidelines

Базовыми для задания воздействий являются нормативный (номинальный) срок службы сооружения (nominal lifespan) и коэффициент важности (use factor). С их использованием определяется расчетный срок службы (reference lifespan). И уже с его помощью определяется минимальный период расчетного землетрясения  $T_R$ . При необходимости собственник может увеличить этот период. В соответствии с приведенным рисунком выделено 4 расчетных землетрясения.

1. Землетрясение безопасной эксплуатации с минимальной повторяемостью  $T_R=21$  год (предельное состояние - operation limit state или OLS).
2. Повреждающее землетрясение с минимальной повторяемостью  $T_R=36$  лет (предельное состояние - damage limit state или DLS).

3. Землетрясение, вызывающее серьезные повреждения сооружения, после которых сооружение не подлежит восстановлению или стоимость восстановления соизмерима со стоимостью нового объекта с минимальной повторяемостью  $T_R=333$  года (предельное состояние - ultimate limit state или ULS).

4. Землетрясение, вызывающее обрушение сооружения, с минимальной повторяемостью  $T_R=683$  года (предельное состояние – collapse limit state или CLS).

Приведенные цифры являются минимальными и повторяемость расчетных воздействий может быть увеличена, но, согласно рассматриваемому стандарту, не более чем до 2475 лет.

В СССР многоуровневый подход был заложен в середине 70-х годов прошлого века в работах Л.Ш. Килимника [4] и был реализован в Инструкции по оценке сейсмостойкости эксплуатируемых мостов РСН-44-88 [5]. В настоящее время двухуровневый расчет на действие проектного (ПЗ) и максимального расчетного (МРЗ) землетрясений обязателен только для расчета АЭС [6]. Действующие СП по сейсмостойкому строительству [7] ориентируются только на расчет с использованием МРЗ. При задании МРЗ спектральной кривой землетрясение называется расчетным, а при задании акселерограммой землетрясения – контрольным. В 2018 г. в России по инициативе и под руководством М.А. Клячко был разработан первый в мире СП по проектированию сооружений в цунамиопасных районах [8]. Естественно, что этот документ идеологически соответствовал действующему СП по сейсмостойкому строительству и оперировал только с редкими сильными цунами с повторяемостью реже, чем раз в 500 лет.

Если применить многоуровневый подход к цунами, то можно обозначить, например, цунами с повторяемостью раз в 50 лет, как проектное цунами (ПЦ); с повторяемостью раз в 100 лет, как умеренное или расчетное цунами (УЦ) и с повторяемостью раз в 500 лет – как максимальное расчетное цунами (МРЦ). Уточнение расчетной высоты волны следует дифференцировать в зависимости от срока службы и степени ответственности сооружения.

Следующий шаг – сочетание нагрузок. Если нагрузку с повторяемостью раз в 500 лет, очевидно, следует относить к особым нагрузкам, то нагрузку с повторяемостью раз в 50 лет, очевидно, к особым нагрузкам относить не следует. В первом приближении эта нагрузка должна рассматриваться как дополнительная. Уточнение коэффициентов сочетаний в этом случае можно рассмотреть отдельно в рамках настоящей работы в зависимости от зоны цунамиопасности и ветрового региона.

Попытка реализовать многоуровневый подход сделана автором ранее при пересмотре раздела СП [8] применительно к транспортным сооружениям.

### **Оценка параметров цунами для расчета мостовых конструкций**

При корректировке СП [8,9] автором введено два уровня нагрузки ПЦ и МРЦ. При расчете на действие ПЦ требуется полное сохранение эксплуатационных свойств моста после цунами. При ПЦ, как правило, не допускается перелив волны через мост. На действие ПЦ следует оценивать прочность тела опор и сохранность верхнего строения пути (*сохранность ВСП следует оценивать в случаях, когда уровень подъема воды при ПЦ превысит подмостовой габарит*).

На действие МРЦ необходимо считать опоры мостов на прочность, пролетные строения на сбрасывание их с опор и пролетные строения на опрокидывание. Расчет опор на прочность при воздействии ПЦ проводится с учетом упругой стадии работы опоры, как на действие нагрузки дополнительных сочетаний. Расчет опор на действие МРЦ ведется с учетом

пластических свойств опоры. В первом приближении представляется оправданным учитывать пластическую работу конструкции введением в расчетные формулы коэффициента предельных состояний (редукции)  $K_1 = 0.25$ .

При расчете балочных пролетных строений на действие МРЦ оценивается прочность их крепления к пролетному строению (прочность опорных частей). Допускается разрушение опорных частей и удар пролетного строения о стопор. В этом случае стопор рассчитывается на этот удар так же, как и при сбросе пролетного строения с опорных частей при землетрясении [9].

Задание расчетного уровня ПЦ и МРЦ должно зависеть от степени ответственности объекта, срока его службы и цунамиопасности территории. В нормах по транспортным сооружениям [11] все мосты по степени ответственности разделены на 4 категории. Для этих категорий автор предлагает повторяемости ПЦ и МРЦ, приведенные в таблице 1. Отметим, что эти повторяемости не могут быть обоснованы в рамках рассматриваемой теории, а должны задаваться заинтересованной стороной (собственником). Этот факт хорошо известен в теории принятия решений [10,12,13].

Таблица 1 Предлагаемые повторяемости ПЦ и МРЦ в зависимости от степени ответственности моста

Table 2 Weibull distribution parameters for wind head in different wind regions

Класс объекта	Тип моста	Категория дороги		Повторяемость цунами, годы	
		железная	автомобильная	проектного	максимального
1	Внеклассные мосты	I и II	I – III	100	500
2	Большие и средние мосты	I и II	I – III	50	300
3	Большие и средние мосты	III и IV	IV-V	30	200
4	Малые мосты	-	-	20	100

Естественно, встает вопрос об определении уровня заплеска цунами при расчете мостов разной степени ответственности. За основу расчетов автор принял функцию плотности распределения высоты волн цунами, приведенную в СП [8]. Опасность цунами измеряется вероятностью  $Z$  того, что в данном месте за время  $t$  произойдет хотя бы одно цунами с высотой вертикального заплеска, превышающей значение  $h$ :

$$Z = 1 - P_0(\text{высота заплеска} > h) = 1 - e^{-\varphi(h) \cdot t}, \quad (1)$$

где средняя частота  $\varphi(h)$  цунами с высотой заплеска, превышающей уровень  $h$ , носит название функции повторяемости. Эта функция, как показывает анализ данных наблюдений [7], хорошо аппроксимируется экспонентой при  $h > 0,5$  м:

$$\varphi(h) = f e^{-\frac{h}{h^*}}, \quad (2)$$

где  $f$  – частота повторяемости сильных цунами (региональный параметр);  
 $h^*$  – характеристическая высота цунами (локальный параметр).

Для редких событий повторяемость события равна приблизительно величине обратной вероятности его возникновения. Пользуясь формулой (1) можно получить уравнение для определения величины  $h$  заплеска расчетного цунами для регионов с различной повторяемостью цунами.

$$Z = 1 - e^{-f \cdot t \cdot e^{-\frac{h}{h^*}}} = \frac{1}{T_{ts}} \quad (3)$$

где  $T_{ts}$  – повторяемость расчетного цунами.

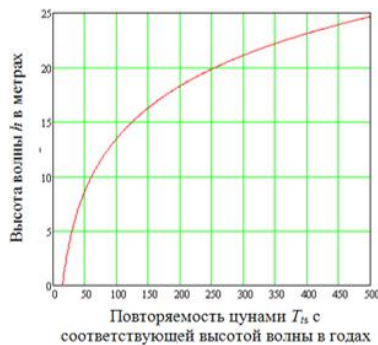
Решение уравнения (3) позволяет получить высоту заплеска, которая существенно зависит от цунамиопасности региона, определяемой параметрами  $f$  и  $h^*$ , и допускаемой повторяемости воздействия. В ряде случаев заплеск может быть весьма значительным. Так, для Камчатки или Курильских островов и мостов повышенной ответственности (расчетная повторяемость раз в 500 лет), заплеск волны составляет около 25 м. Можно отметить, что такие волны наблюдались ранее в регионе. В 1993 г. на о. Хоккайдо высота волны цунами достигла 31 м.

Теоретически и при такой высокой волне можно минимизировать потери. Конечно, мелкие объекты она уничтожит, но если опоры проектируемого моста достаточно мощные, снабжены волнорезами и, кроме того, обеспечено крепление пролетного строения к опоре, то после такого цунами железнодорожные пути, скорее всего, будут уничтожены (их смое), но опоры и пролетное строение моста могут остаться в проектном положении. Тут важно чтобы мост перенес землетрясение перед цунами без значительных потерь. На это следует обратить внимание при проектировании на сейсмические нагрузки. Если в районе проектирования ожидается цунами, то требования к пластической деформации опор должны быть повышены, а допустимая деформация понижена.

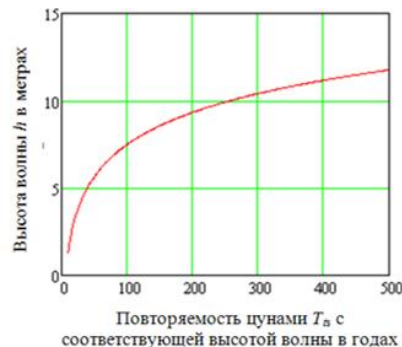
Базируясь на рекомендациях СП [8] целесообразно рекомендовать аналитическое решение уравнения (3) относительно величины  $h$  в зависимости от повторяемости.

$$h = \frac{-h^*}{t} \cdot \ln \left( \frac{-\ln \left( 1 - \frac{1}{T_{ts}} \right)}{f} \right) \quad (4)$$

На графиках показаны результаты расчетов по формуле (4) для Камчатского края и Курильских островов.



Тихий океан. Камчатский край. б. Ольга



Тихий океан. Курильские острова. о. Итуруп

Рисунок 2 – Расчетная высота волны цунами в зависимости от повторяемости цунами.

Figure 2 – Design tsunami height depending on it frequency

Из рисунка 2 видно, что высота волны на Камчатке вполне может достигать 25 метров, в то время как на Курильских островах за тот же период времени высота волны не достигает отметки 15 метров.

### Оценка коэффициентов сочетаний ветровой нагрузки с нагрузкой от цунами

Как отмечалось ранее, имеет смысл рассматривать сочетания нагрузок от цунами и от ветра для мостов, у которых высота опор выше, чем расчетная высота волны цунами. Для этого используется традиционный подход к оценке коэффициентов сочетаний, рассматривая множество равновероятных пар (цунами и ветер).

$$[P] = P_i \cdot P_j \quad (5)$$

где  $[P]$  – допустимая вероятность превышения расчетного значения данных событий;

$P_i$  и  $P_j$  – вероятности превышения каждого события, образующих равновероятную пару нагрузок «цунами-ветер».

Автор в качестве исходного значения задает допустимую вероятность превышения этих равновероятных пар, принимая во внимание рассмотренные выше вероятности при оценке высоты заплеска. Представляется целесообразным рассмотреть два крайних случая МРЦ с вероятностью превышения 0,002 раз в 500 лет и ПЦ с вероятностью превышения 0,02 раз в 50 лет. Задаваясь вероятностью  $Z$  превышения для цунами можно получить соответствующую ему вероятность  $P_w$  превышения ветровой нагрузки.

$$P_w = \frac{[P]}{Z} \quad (6)$$

Для того чтобы сочетать ветровую нагрузку с какой-либо другой нагрузкой необходимо подробно рассмотреть распределение ветровой нагрузки.

Ветровая нагрузка задается скоростным давлением ветра  $Q$ .

При оценке интенсивности ветровой нагрузки  $Q$ , сочетаемой с какой либо другой нагрузкой, необходимо учитывать соответствующую ей функцию плотности распределения. Статистические характеристики ветровой нагрузки детально изучены В.Д. Райзером [14]. В качестве функции распределения для ветровой нагрузки в [14,15] была рекомендована функция Вейбулла, имеющая вид:

$$P(Q) = 1 - e^{-\left(\frac{Q}{\theta}\right)^\beta} \quad (7)$$

где  $\theta$  – параметр масштаба, а  $\beta$  – параметр формы распределения.

Математическое ожидание  $\bar{Q}$  и среднеквадратичное отклонение  $\sigma_Q$  распределения Вейбулла выражаются через параметры распределения следующим образом:

$$\begin{cases} \bar{Q} = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ \sigma_Q^2 = \theta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\} \end{cases} \quad (8)$$

где  $\bar{Q}$  – математическое ожидание случайной величины;

$\sigma_Q$  – среднеквадратичное отклонение случайной величины;  
 $\Gamma$  – гамма функция.

Подробный расчет определения параметров  $\theta$  и  $\beta$  описан в работе Сахарова О.А. [16].  
 Данные по этим расчетам приведены ниже в Таблице 2.

Таблица 2 – Параметры распределения Вейбулла для ветрового напора в различных ветровых районах

Table 2 – Weibull distribution parameters for wind head in different wind regions

Ветровой район	Математическое ожидание скоростного давления, $\bar{Q}$ , Па	Скоростное давление с вероятностью превышения 10%, $Q$ , Па	Среднеквадратическое отклонение скоростного давления, $\sigma_Q$ , Па	Параметр масштаба, $\theta$	Параметр формы, $\beta$
I	200	318,348	88	225,573	2,421
II	270	401,842	99,9	302,618	2,941
III	360	509,616	115,2	400,373	3,457
IV	480	672,572	148,8	532,831	3,581
V	600	798,004	156	658,775	4,35
VI	700	940,86	189	770,416	4,173
VII	850	1,107E+3	204	928,5	4,751

На рисунке 3 приведена ФПР скоростного давления ветра. Так как прибрежные зоны, где выше всего вероятность возникновения таких нагрузок одновременно, считаются одними из самых сильных ветровых районов (относятся к VII ветровому району), то ветровой напор  $Q$  был принят как  $\text{const} = 1107 \text{ Па} = 1,107 \text{ кН/м}^2$ .

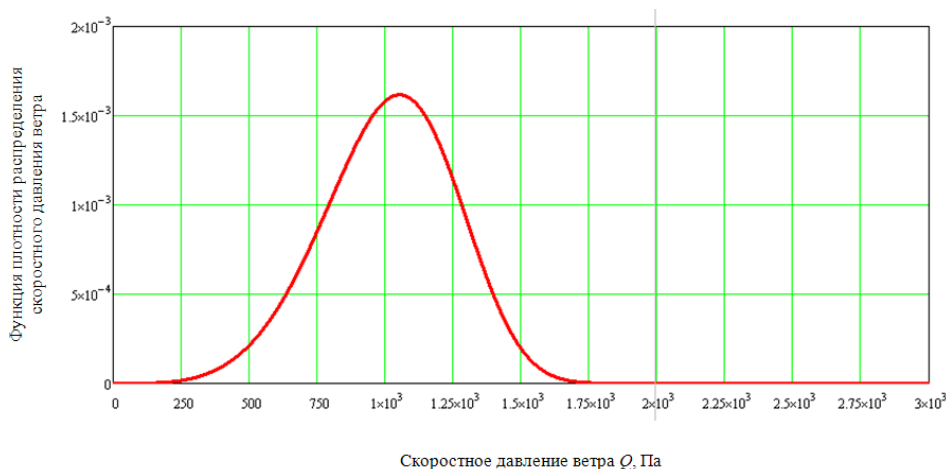


Рисунок 3 – Ф.П.Р. скоростного ветрового давления для VII ветрового района

Figure 3 – The probability density function of high-speed wind pressure for the VII wind region



Далее, получив распределение ветровой нагрузки, необходимо вернуться к коэффициентам сочетаний данных нагрузок.

Для наглядности результатов расчетов по указанной выше формуле (6) была построена Таблица 3 применительно к МРЦ в Камчатском крае, в которую вошли не только вероятности возникновения событий, но и уровень высоты волны  $h$ , в случае с цунами, и ветровой напор.

Таблица 3 – Коэффициенты сочетания ветровой нагрузки и нагрузки от цунами при МРЦ в Камчатском крае

Table 3 – Combination factor of wind load and tsunami load for the MRC in the Kamchatka Region

Ветер			Цунами		
$P_w$	$Q$ , кН/м <sup>2</sup>	$K_w$	$Z$	$h$ , м	$K_z$
0,1	1,320	1	0,02	8,47	0,343
0,2	1,224	0,927	0,01	13,39	0,543
0,3	1,151	0,871	0,0066	16,34	0,662
0,4	1,087	0,823	0,005	18,29	0,739
0,5	1,025	0,776	0,004	19,81	0,803
0,6	0,961	0,728	0,003	21,13	0,857
0,7	0,891	0,675	0,0028	22,18	0,899
0,8	0,807	0,611	0,0025	23,11	0,939
0,9	0,690	0,522	0,0022	23,89	0,968
1	0	0	0,002	24,66	1

Далее приведена идентичная Таблица 4 для того же района при ПЦ

Таблица 4 – Коэффициенты сочетания ветровой нагрузки и нагрузки от цунами при ПЦ в Камчатском крае

Table 4 – Combination factor of wind load and tsunami load for the PC in the Kamchatka Region

Ветер			Цунами		
$P_w$	$Q$ , кН/м <sup>2</sup>	$K_w$	$Z$	$h$ , м	$K_z$
0,1	1,320	1	0	0	0
0,2	1,224	0,927	0,1	0,01	0,011
0,3	1,151	0,871	0,066	0,10	0,012
0,4	1,087	0,823	0,05	2,16	0,250
0,5	1,025	0,776	0,04	3,74	0,433
0,6	0,961	0,728	0,033	5,03	0,583
0,7	0,891	0,675	0,028	6,12	0,709
0,8	0,807	0,611	0,025	7,05	0,817
0,9	0,690	0,522	0,022	7,88	0,914
1	0	0	0,02	8,62	1

В таблицах выше сиреневым цветом помечены коэффициенты сочетаний для этих двух событий (цунами и ветер). Для упрощения восприятия информации, представленной в данных таблицах, были построены графики зависимости коэффициента сочетаний ветровой нагрузки от коэффициента сочетаний к нагрузке от цунами (рис.4). Графики построены для двух предельных состояний ПЦ и МРЦ.

Предварительные расчеты показывают, что для проектирования мостового сооружения на МРЦ кроме расчета на цунами без ветра, необходимо сделать три дополнительных расчета. Расчеты следует производить по точкам, помеченным на картинке, на сплошной линии. Если смотреть на график слева направо, первая точка соответствует значениям  $K_w = 0,52$ ;  $K_z = 0,97$ . Вторая точка  $K_w = 0,80$ ;  $K_z = 0,76$ , третья  $K_w = 0,1$ ;  $K_z = 0,35$ .

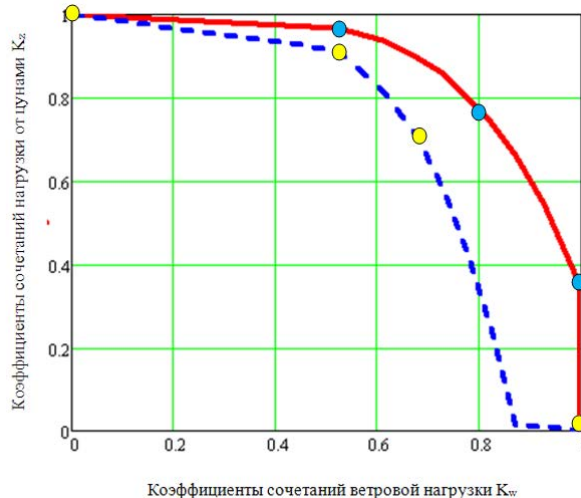


Рисунок 4 – Графическое изображение коэффициентов сочетаний ветровой нагрузки и нагрузки от цунами в Камчатском крае. (ПЦ – штрихпунктирная линия, МРЦ – сплошная)

Figure 4 – Dependence of the combination factor for the wind load on the combination factor for the tsunami load in the Kamchatka region. PC (Design tsunami) – dash-dotted line, MRC (Maximum design tsunami) – solid

Также для расчета на ПЦ кроме расчета на цунами без ветра, целесообразно сделать два дополнительных расчета. Точки помечены на штрихпунктирной линии в центре графика. При этом ветровая нагрузка без нагрузки от цунами не лимитирует. Первая точка соответствует значению коэффициентов сочетаний  $K_w = 0,52$ ;  $K_z = 0,91$ , а вторая  $K_w = 0,67$ ;  $K_z = 0,71$ .

## Выводы

Выполненная работа иллюстрирует практическую реализацию многоуровневого подхода к расчету сооружений на действие экстремальных нагрузок на примере нагрузки от цунами на мосты. В работе предложено задать цунами с повторяемостью раз в 50 лет, как проектное цунами (ПЦ); с повторяемостью раз в 100 лет, как умеренное или расчетное цунами (УЦ) и с повторяемостью раз в 500 лет – как максимальное расчетное цунами (МРЦ). При действии ПЦ сооружение должно работать в штатном режиме, не теряя эксплуатационных свойств, а при действии МРЦ должны сохраниться опоры моста, и предотвращен сброс пролетных строений с опор. Уточнение расчетной высоты волны следует для каждого района дифференцировать в зависимости от срока службы и степени ответственности сооружения.

Предложенные повторяемости ПЦ и МРЦ в зависимости от степени ответственности моста, вообще говоря, задаются волевым образом собственником объекта, который должен принимать решение, как часто он может допустить нарушение нормальной эксплуатации и полную потерю объекта.

Если МРЦ можно относить к особым нагрузкам, то УЦ и, тем более, ПЦ следует относить к дополнительным, и для них следует рассматривать сочетание нагрузки от цунами с другими нагрузками, в частности с ветровой нагрузкой. При этом можно рекомендовать

несколько опасных пар коэффициентов сочетаний к нагрузке от цунами  $K_z$  ветровой  $K_w$  нагрузкам.

Отметим, что зависимость коэффициента сочетаний к цунами  $K_z$  от коэффициента сочетаний к ветровой нагрузке  $K_w$  резко падает при стремлении  $K_w$  к 1. Это позволяет рекомендовать делать расчет на полную ветровую нагрузку в сочетании с нагрузкой от цунами при  $K_z=0,4$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. prEN 1998 – 1:2003 (E), part 2, p.15.
2. Le norme tecniche per le costruzioni. Il ministero delle infrastrutture e dei trasporti. 2018.
3. NTC-2018, Norme Tecniche per le Costruzioni (Italian Technical Code for Constructions – 2018).
4. Килимник Л.Ш. О проектировании сейсмостойких зданий и сооружений с заданными параметрами предельных состояний // Строительная механика и расчет сооружений. 1975. № 2. С.40-44.
5. Инструкция по оценке сейсмостойкости эксплуатируемых мостов на сети железных и автомобильных дорог (на территории Туркменской ССР). РСН-44-88. Ашхабад: Ылым. 1988. 106 с.
6. Бирбраер А.Н., Шульман С.Г. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях. М.: Энергоатомиздат. 1989. 304 с.
7. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81
8. СП 1325800-2017 Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования. Текст: Москва. 2017. 147 с.
9. Уздин А.М., Сабилова О.Б., Кузнецова И.О., Шульман С.А. Разработка проекта изменений к СП 292.1325800.2017 Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования». Этап 1. Предварительные предложения. Санкт-Петербург. 2020. 10 с.
10. Уздин А.М., Кузнецова И.О. Сейсмостойкость мостов. Саарбрюкен (Германия), Palmarium. 2014. 450 с.
11. ГОСТ Р 54257-2010 Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. М.: Стандартинформ. 2011. 32 с.
12. Уздин А.М., Воробьев В.А., Богданова М.А., Сигидов В.В., Ваничева С.С. Экономика сейсмостойкого строительства. М.: ФГПУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017, 176 с
13. Гольденблат И.И., Николаенко Н.А., Поляков С.В., Ульянов С.В. Модели сейсмостойкости сооружений. М.: Стройиздат. 1979. 251 с.
14. Райзер В.Д. Оценка риска при проектировании сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. №3. С. 15-18.
15. Сахаров О.А. К вопросу о назначении коэффициентов сочетаний сейсмической и других нагрузок // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2003. №2. С.9-11.

## REFERENCES

1. Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. prEN 1998 – 1:2003 (E), part 2, p.15.
2. Le norme tecniche per le costruzioni. Il ministero delle infrastrutture e dei trasporti. 2018.
3. NTC-2018, Norme Tecniche per le Costruzioni (Italian Technical Code for Constructions – 2018).
4. Kilimnik L.Sh. On the design of earthquake-resistant buildings and structures with specified parameters of limit states. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 1975, 2, pp. 40-44. [In Russian]
5. Instructions for assessing the seismic resistance of operated bridges on the railway and highway network (on the territory of the Turkmen SSR). RSN-44-88. Ashgabat: Ylym. 1988. 106 p. [In Russian]
6. Birbraer A.N., Shulman S.G. Strength and reliability of NPP structures under special dynamic impacts. M.: Energoatomizdat. 1989. 304 p. [In Russian]
7. SP 14.13330.2018 Construction in seismic areas. Updated version of SNiP II-7-81
8. SP 1325800-2017 Buildings and structures in tsunami-prone areas. Design rules. Text: Moscow. 2017. 147 p.
9. Uzdin A.M., Sabirova O.B., Kuznetsova I.O., Shulman S.A. Development of draft amendments to SP 292.1325800.2017 Buildings and structures in tsunami-prone areas. Design rules. Stage 1. Preliminary proposals. Saint Petersburg. 2020. 10 p. [In Russian]
10. Uzdin A.M., Kuznetsova I.O. Seismic stability of bridges. Saarbrücken (Germany), Palmarium, 2014, 450 p. [In English]
11. GOST R 54257-2010 Reliability of building structures and foundations. Basic provisions and requirements. Moscow: Standartinform. 2011. 32 p.
12. Uzdin A.M., Vorobyev V. A., Bogdanova M. A., Sigidov V. V., Vanicheva S. S. Economics of earthquake-resistant construction. Moscow: FSPU DPO "Educational and Methodological Center for Education in Railway transport", 2017, 176 p. [In Russian]
13. Goldenblat I.I., Nikolaenko N.A., Polyakov S.V., Ulyanov S.V. Models of earthquake resistance of structures. M.: Stroyizdat. 1979. 251 p. [In Russian]
14. Raiser V.D. Risk assessment in the design of structures. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2007, no. 3, pp. 15-18. [In Russian]
15. Sakharov O.A. On the assignment of coefficients of combinations of seismic and other loads. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2003, no. 2, pp. 9-11. [In Russian]

## Данные об авторе/Information about author

**Сабирова Оттоша Бурхоновна**, инженер, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (ПГУПС), кафедра «Промышленное и гражданское строительство». Российская Федерация, Санкт-Петербург  
[sabirovaanna95@yandex.ru](mailto:sabirovaanna95@yandex.ru)

**Ottosha B. Sabirova**, engineer, Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, "Industrial and civil construction" department. Russian Federation, St. Petersburg  
[sabirovaanna95@yandex.ru](mailto:sabirovaanna95@yandex.ru)

**Поступила в редакцию / Received** – 01.03.2021

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised** – 26.03.2021

**Принята к публикации / Accepted** – 02.04.2021