

УДК 699.84

DOI [10.37153/2618-9283-2021-2-86-92](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-86-92)

## **Проектирование, строительство и реконструкция сейсмостойких зданий и сооружений**

### **Об учете вертикальной нагрузки от цунами на мостовые сооружения**

**Яковлев А.Д.<sup>1</sup>**

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

**Аннотация:** В настоящее время большое внимание уделяется развитию восточных регионов Российской Федерации, на территории которых сосредоточены большие запасы нефти, газа и редких ископаемых. Для успешного освоения этих богатств требуется развитая транспортная инфраструктура, включающая в себя различные инженерные сооружения, такие как мосты, эстакады, виадуки и другие. При этом следует отметить, что строительство этих объектов осуществляется в сложных инженерных условиях возможного воздействия сейсмических сил и волн цунами. Причем эти воздействия могут оказать существенное влияние на функционирование сооружений. В настоящее время сложились определенные требования и рекомендации по проектированию таких объектов в различных условиях. В области цунамистойкого строительства разработан нормативный документ СП 292.1325800.2017. Этот документ является первым регламентирующим документом в области цунамистойкого строительства на территории Российской Федерации. Но, несмотря на наличие данного документа, вопрос учета нагрузок от цунами на различные сооружения остается актуальным. В частности, в СП 292.1325800.2017 нет четких указаний по учету вертикальных нагрузок от волн цунами на мостовые сооружения. Этой проблеме посвящается настоящая статья. С помощью проведенных исследований по компьютерному моделированию наката волны на мостовое сооружение, доказана необходимость учета вертикальной составляющей при проектировании подобных сооружений, а также предложена методика по определению ее численных значений. Таким образом, данная методика может стать дополнением к основной методике определения нагрузок от волн цунами на мостовые сооружения и помочь проектировщикам в полной мере учесть такое опасное стихийное бедствие как цунами.

**Ключевые слова:** цунамистойкость, нагрузка от цунами, мост, пролетное строение моста, моделирование наката волны

**Для цитирования:** Яковлев А.Д. Об учете вертикальной нагрузки от цунами на мостовые сооружения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 2. С.86-92

DOI [10.37153/2618-9283-2021-2-86-92](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-86-92)

@ Яковлев А.Д., 2021

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

### **Consideration of the vertical load from a tsunami on bridge structures**

**Yakovlev A.D.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University.  
Saint-Petersburg, Russian Federation

**Abstract:** A significant part of the territory of the Russian Federation is exposed to various natural disasters. One of the most destructive are tsunami waves. At the same time, for the development of these territories, there is a need for the development of transport infrastructure, which implies, among other things, the design of bridges. To ensure the reliability of bridges in the event of tsunami, it is necessary to fully take into account the possible impacts from these waves. In Russia, there is a document to determine the load from the tsunami. But, despite the existence of this document, the issue of taking into account the loads from the tsunami on various structures remains relevant. In particular, there are no clear guidelines for accounting for vertical loads from tsunami waves on bridge structures. With the help of the studies carried out on computer modelling of the wave roll-up on the bridge structure, this article proves the need to take into account the vertical loads from the tsunami, and also proposes a method for determining its numerical values. This study can complement the basic methodology for determining the loads from tsunami waves on bridge structures and help designers fully account for this dangerous natural disaster.

**Keywords:** tsunami resistance, load from tsunami, bridge, bridge span structure, modelling of the wave roll-up

**For citation:** Yakovlev A.D. Consideration of the vertical load from a tsunami on bridge structures. *Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 2, pp. 86-92. (In Russian) DOI [10.37153/2618-9283-2021-2-86-92](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-86-92)

### **Введение**

На территории восточных регионов Российской Федерации сосредоточено большое количество полезных ископаемых и природных рекреационных ресурсов, что приводит к развитию данного района. Освоение территорий становится возможным благодаря расширению транспортной инфраструктуры. При этом для развития автодорожной или железнодорожной сети появляется необходимость в возведении различных мостовых сооружений. Сам по себе мост достаточно сложное инженерное сооружение, но, если мост проектируется для использования в районах с возможным возникновением стихийных бедствий, то его проектирование является еще более сложной задачей, в процессе решения которой необходимо учесть все возможные факторы и варианты развития чрезвычайной ситуации, тем самым обеспечив безопасность будущего сооружения. Большинство возможных воздействий на мостовые сооружения учтены в СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*» [1]. Проектирование мостов в сейсмоопасных регионах регламентируется в СП 268.1325800.2016 «Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования» [2]. Но в данной статье речь пойдет о СП 292.1325800.2017 «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования», в котором представлен учет нагрузки от волн цунами на мостовые сооружения.

Пункт 5.7.2 СП 292.1325800.2017 предписывает располагать отметку низа пролетного строения выше максимального расчетного заплеска волны цунами с зазором не менее 0,5 м [3]. Соблюдение данного требования значительно повышает цунамистойкость сооружения. Но

поднять одно только пролетное строение недостаточно, необходимо приподнимать и насыпь, сохраняя при этом приемлемый уклон. Кроме того, при близком расположении мостов друг к другу появится необходимость поднимать всю трассу. Поэтому нужно понимать, что в большом количестве случаев соблюдение данного положения экономически не выгодно. Наиболее рациональным в таких случаях будет заложить в конструкцию сооружения необходимый запас прочности, который позволит строению выдержать нагрузку от волн цунами, которые выше пролетного строения.

Чтобы заложить в конструкцию этот запас прочности, необходимо учесть все возможные нагрузки. При этом с горизонтальными нагрузками от волн цунами в СП 292.1325800.2017 все достаточно понятно: их нужно учитывать и приведены формулы по которым можно найти численные значения этих нагрузок. Но очевидно, что в случае, когда волна цунами выше пролетного строения, часть этой волны окажется на пролетном строении и будет влиять в том числе и на вертикальную нагрузку. Следует отметить, что в пункте 5.7.4 указано на необходимость в расчете мостовых сооружений учитывать вертикальную нагрузку, но конкретных рекомендаций по ее определению нет.

### Описание проведенного исследования

Данная статья посвящена исследованиям по определению величины вертикальных нагрузок от волны цунами на пролетное строение. Исследование выполнено в модуле «Fluid Flow (Fluent)» программного комплекса ANSYS 2021. Для этого был смоделирован фрагмент моста и расчетная область вокруг него размерами 42x31x10 метров. Высота моста составляет 5 метров, его габарит – 12 метров, что согласно ГОСТ Р 52748-2007 соответствует мостам для дорог II категории с двумя полосами движения [4]. Опоры приняты диаметром 1 метр с шагом 12 метров. Основные размеры модели представлены на рисунке 1.

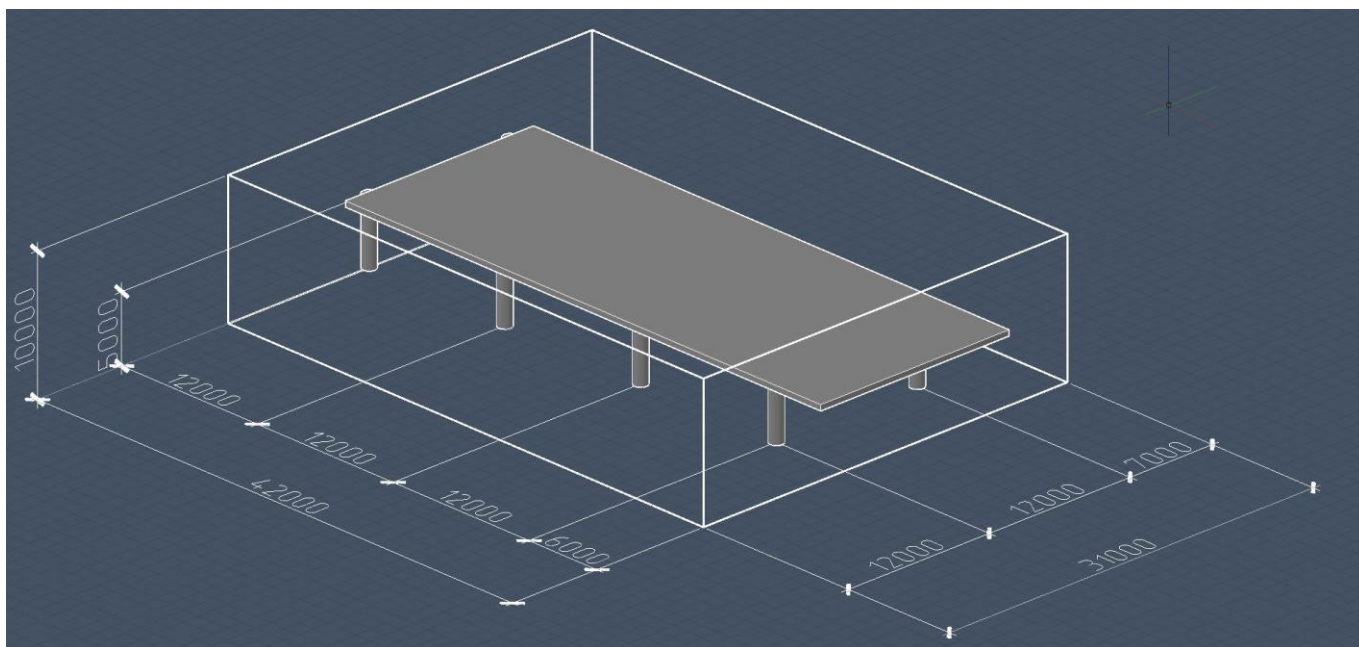


Рисунок 1 – Расчетная модель

Figure 1 – Calculation model

На данное сооружение был смоделирован накат волн различной высоты. Картина наката волны высотой 8 метров на сооружение представлено на рисунке 2. Картина давления от этой волны на сооружение представлена на рисунке 3.

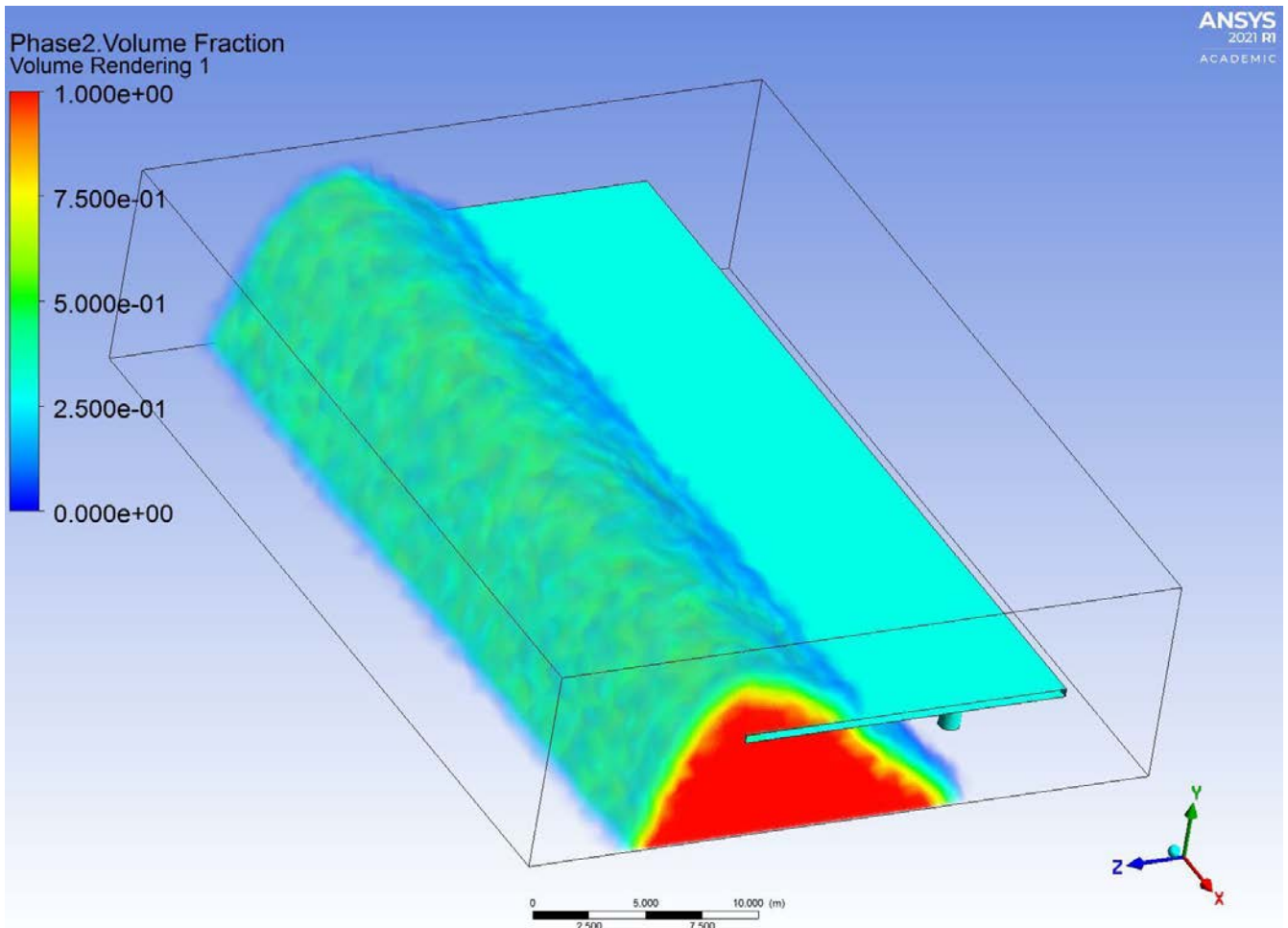


Рисунок 2 – Накат волны на фрагмент моста

Figure 2 – Wave rolling on a fragment of the bridge

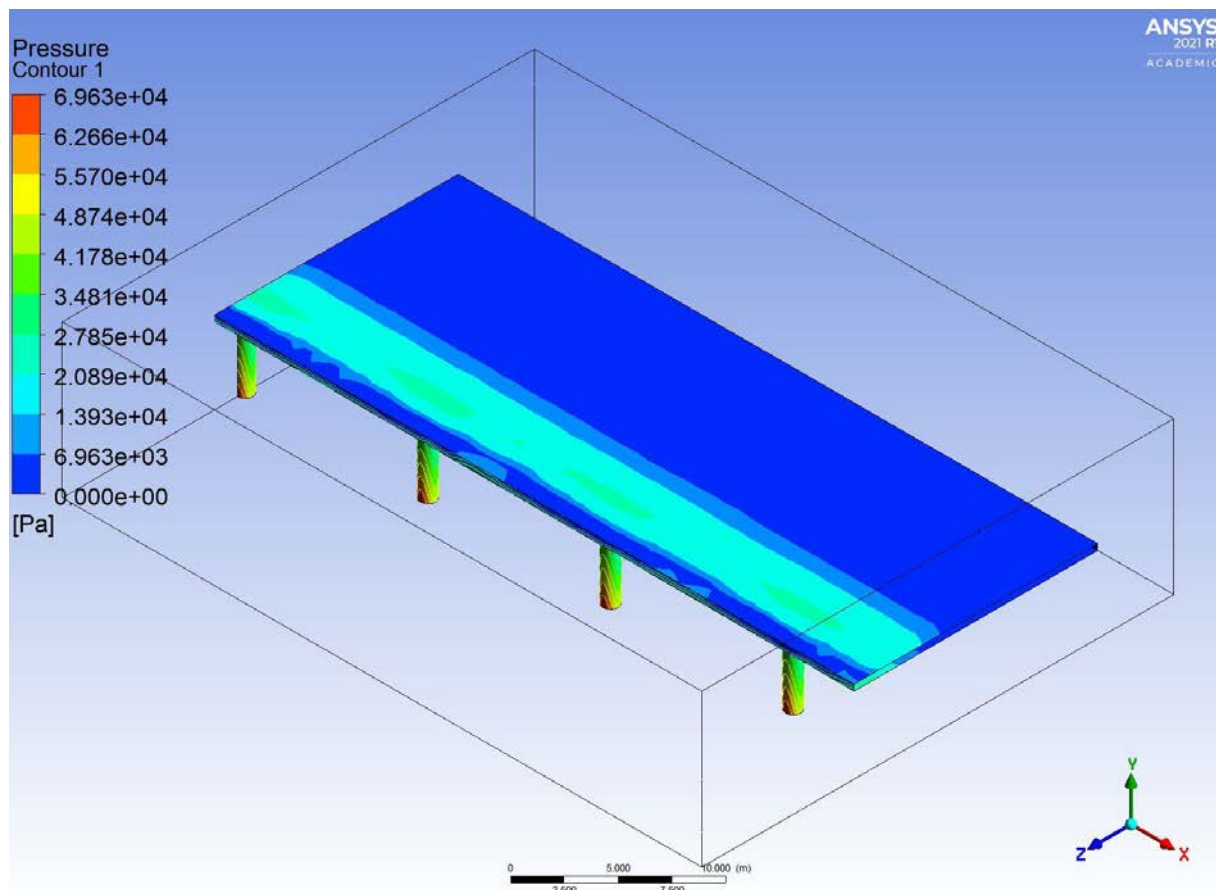


Рисунок 3 – Давление от волны на сооружение

Figure 3 – Pressure from the wave on the structure

Как видно из рисунка 3, максимальное давление испытывают на себе опоры в нижней точке. При этом сам пролет моста также испытывает на себе давление со стороны волны. И подобная картина распределения давления характерна для рассмотренных волн, высота которых превышает высоту пролетного строения. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Table 1 – Calculation results

Высота волны, м	Превышение волны над пролетным строением ( $H_B$ ), м	Максимальное давление на сооружение ( $p$ ), Па	Давление на пролет моста ( $p_B$ ), Па	Отношение давления на пролет к максимальному значению
6	1	56340	16990	0,3
7	2	59790	19220	0,32
8	3	69630	23820	0,34
9	4	78630	31040	0,39
10	5	86200	40200	0,47



Как видно из таблицы 1, вертикальное давление от волны есть, оно составляет минимум 30% от максимального давления, и, следовательно, его необходимо учитывать при расчете пролетного строения на волну цунами высота которой превышает высоту сооружения.

Предлагается учитывать вертикальное давление от волны цунами по формуле ниже:

$$p_v = p \cdot k_v ,$$

где  $p_v$  – вертикальное давление на пролетную конструкцию;

$p$  – максимальное горизонтальное давление на сооружение;

$k_v$  – коэффициент перехода, определяемый по графику на рисунке 4.

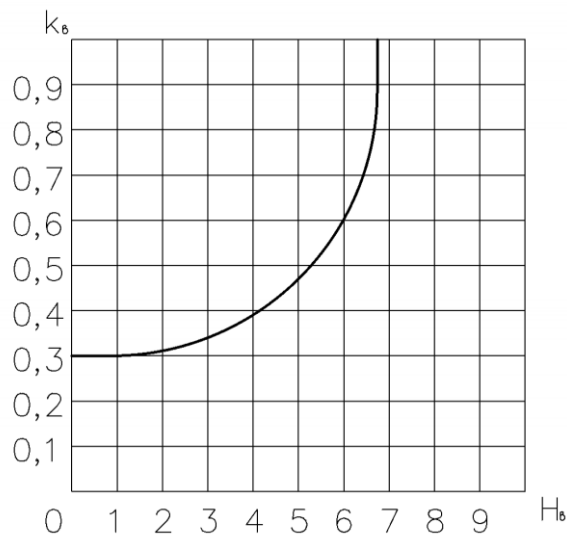


Рисунок 4 – Зависимость  $k_v$  от превышения высоты волны цунами над высотой сооружения ( $H_b$ )

Figure 4 – Dependence of  $k_v$  on the excess of the height of the tsunami wave over the height of the structure

График на рисунке 4 получен путем аппроксимации данных из таблицы 1 и, как и вся предлагаемая методика учета вертикальной нагрузки от волн цунами, требует дальнейшего исследования для уточнения.

### Заключение

1) В ходе проведенного исследования по компьютерному моделированию наката волн цунами на фрагмент мостового сооружения установлено, что в случаях, когда высота волны превышает высоту сооружения, часть волны оказывает вертикальное воздействие на пролетное строение.

2) Показано, что вертикальное воздействие имеет большое значения, что необходимо учитывать при проектировании.

3) По данным моделирования получена зависимость между вертикальной и горизонтальной составляющих нагрузки от волны, а также разработана методика по определению численного значения вертикального давления от цунами на пролетное строение.

## Список литературы

1. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*. Введ. 2011-05-20. М.: ОАО "ЦПП", 2011. 285 с.
2. СП 268.1325800.2016 Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования. Введ. 2017-12-24. М.: Стандартинформ, 2017. 150 с.
3. СП 292.1325800.2017. Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования. Введ. 2017-06-23. М.: Минстрой России, 2017. 146 с.
4. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. Введ. 2008-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.

## References

1. SP 35.13330.2011. Mosty i truby. Aktualizirovannaia redaktsiia SNiP 2.05.03-84\*. Vved. 2011-05-20. M.: OAO "CPP", 2011. 285 p. [In Russian]
2. SP 268.1325800.2016 Transportnye sooruzheniia v sejsmicheskikh raionah. Pravila proektirovaniia. Vved. 2017-12-24. M.: Standartinform, 2017. 50 p. [In Russian]
3. SP 292.1325800.2017. Zdaniia i sooruzheniia v cunamiopasnykh raionah. Pravila proektirovaniia. Vved. 2017-06-23. M.: Ministroi Rossii, 2017. 146 p. [In Russian]
4. GOST R 52748-2007. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovaniia. Normativnye nagruzki, raschetnye shemy nagruzheniia i gabarity priblizheniia. Vved. 2008-01-01. M.: Standartinform, 2008. 16 p. [In Russian]

## Сведения об авторах/Information about author

**Яковлев Антон Дмитриевич** – аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (ПГУПС), кафедра «Здания». Российская Федерация, Санкт-Петербург

[anton.yakovlev.94@mail.ru](mailto:anton.yakovlev.94@mail.ru)

**Anton D. Yakovlev** – postgraduate student, Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, "Buildings" department. Russian Federation, St. Petersburg.

[anton.yakovlev.94@mail.ru](mailto:anton.yakovlev.94@mail.ru)

**Поступила в редакцию / Received** – 29.03.2021

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised** – 16.04.2021

**Принята к публикации / Accepted** – 23.04.2021