

## Интегральная оценка конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий морских волн

Г.В. Тлявлиная<sup>1,2✉</sup>

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства (ЦНИИТС), Обособленное подразделение «НИЦ “Морские берега”», Сочи, Россия

<sup>2</sup>Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

**Аннотация.** При принятии решений по размещению планов трассы автомобильных и железных дорог, расположению мостовых переходов и других объектов транспортной инфраструктуры важно заранее оценить размеры капитальных вложений. Значительную часть затрат занимает обеспечение инженерной защиты. В настоящей работе предложена методика интегральной оценки необходимости возведения и выбора защитных конструкций транспортных сооружений от гидродинамических воздействий морских волн. Описан алгоритм определения степени необходимости инженерной защиты транспортных сооружений и их инфраструктуры на основе анализа и экспертной оценки состояния берега, объектов и процессов в береговой зоне морей. Учет влияния объектов и процессов в береговой зоне при выборе типа конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды предлагается определять путем количественной интегральной оценки. Приводится предварительная укрупненная оценка стоимости мероприятий по инженерной защите в зависимости от степени необходимости защиты, которая, в свою очередь, численно выражена степенью необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты. Результаты исследования могут быть использованы для оценки риска аварии (путем определения коэффициента опасности по показателю, учитывающему возможные последствия и величину материального ущерба вследствие аварии), а также для определения укрупненных экономических показателей стоимости строительства.

**Ключевые слова:** берегозащита, буна, волноотбойная стена, защитная волногасящая полоса, размыв, транспортные сооружения

**Для цитирования:** Тлявлиная Г.В. Интегральная оценка конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий морских волн // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 745–755. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-745-755>. EDN: UTEJLD.

### Original article

## Integral assessment of engineering protection structures of transport structures from hydrodynamic effects of sea waves

Galina V. Tlyavlina<sup>1,2✉</sup>

<sup>1</sup>Central research institute of Transport Construction, R&D Centre “Morskie berega”, Sochi, Russia

<sup>2</sup>Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

**Abstract.** When making decisions on the placement of road and railway route plans, the location of bridge crossings and other transport infrastructure facilities, it is important to assess the size of capital investments. A significant part of the cost is the provision of engineering protection. In this paper, a method is proposed for the integral assessment of the need for the construction and selection of protective structures of transport facilities from the hydrodynamic effects of sea waves. An algorithm is described for determining the degree of need for engineering protection of transport facilities and their infrastructure based on an analysis and expert assessment of the state of the coast, facilities and processes in the

coastal zone of the seas. Consideration of the influence of objects and processes in the coastal zone when choosing the type of engineering protection structures from the hydrodynamic effects of the natural aquatic environment is proposed to be determined by quantitative integral assessment. A preliminary consolidated estimate of the cost of engineering protection measures is given, depending on the degree of need for protection, which, in turn, is numerically expressed by the degree of need for the construction and selection of the type of engineering protection structures. The results of the study can be used to assess the risk of an accident (by determining the hazard coefficient based on an indicator that takes into account the possible consequences and the amount of material damage caused by the accident), as well as to determine the aggregated economic indicators of the construction cost.

**Keywords:** coastal protection, buna, breakwater wall, protective wave-extinguishing strip, washout, transport facilities

**For citation:** Tlyavlina G.V. Integral assessment of engineering protection structures of transport structures from hydrodynamic effects of sea waves. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(4):745-755. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-745-755>. EDN: UTEJLD.

## ВВЕДЕНИЕ

На стадии выбора вариантов размещения трассы автомобильных и железных дорог, а также при принятии принципиальных решений по локализации объектов транспорта (например, мостов) и их инфраструктуры, выполняются расчеты экономической эффективности капитальных вложений [1, 2]. Вблизи побережий гидродинамическое воздействие естественной водной среды может создавать угрозу безопасной эксплуатации дорог и мостов [3–6]. На таких участках, как правило, требуется возведение дополнительных конструкций инженерной защиты от размыва.

Следовательно, при вариантной проработке требуется оценка необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений для выбора земельных участков с учетом инвестиционной привлекательности. В настоящей работе предложен метод интегральной оценки необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды для учета экономических показателей стоимости строительства.

## МЕТОДЫ

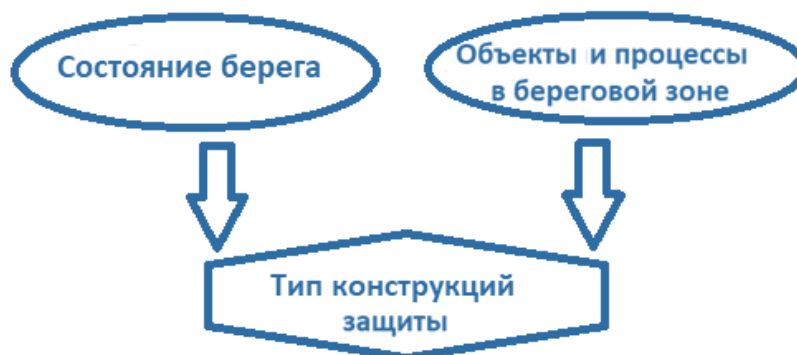
Работа выполнена аналитическим методом путем экспертной оценки возможности применения вариантов конструкций инженерной защиты транспортных сооружений в береговой зоне морей. Использованы материалы проектных проработок и сметных расчетов по объектам инженерной защиты Северо-Кавказской, Дальневосточной и Восточно-Сибирской железных дорог, выполненные автором [1, 7, 8].

Применительно к транспортным сооружениям необходимость возведения конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды возникает при расположении таких сооружений в береговой зоне если в ней наблюдаются либо прогнозируются опасные природные процессы (размывы, переработка берегов, затопление и т. п.) (рис. 1). Степень необходимости возведения и выбор типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды определяется типом и состоянием берега, а также наличием объектов и процессов в береговой зоне [7, 9, 10, 11] (рис. 2).



**Рис. 1. Схема оценки необходимости защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды**

**Fig. 1. Scheme for assessing the need to protect transport facilities from hydrodynamic effects of the natural aquatic environment**



**Рис. 2. Схема выбора типа защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды**

**Fig. 2. Scheme for selecting the type of protection for transport facilities from hydrodynamic effects of the natural aquatic environment**

Кроме того, следует учитывать наличие потока наносов, комплексную работу и взаимное влияние отдельных конструкций [12–15]. Так, например, не допускается строительство волноотбойных стен без волногасящих сооружений перед ними, не допускается строительство бун без отсыпки волногасящей полосы и т. п [7, 9]. За основу предлагаемой количественной интегральной оценки степени необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды принят подход получения нормирующих коэффициентов, характеризующий долю от наиболее неблагоприятной ситуации,

принимаемой за единицу. Аналогичный подход используется для оценки риска аварий на гидротехнических сооружениях, а также в гидротехнике и смежных областях в целом [16–19].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состояние берега характеризуется размывами. С точки зрения необходимости возведения и выбора вариантов конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды состояние берега предлагается оценивать в соответствии с табл. 1.

Количественно состояние берега оценивается коэффициентом состояния берега  $K_B$ , принимаемом согласно табл. 1.

**Таблица 1. Оценка состояния берега**

**Table 1. Assessment of the shore condition**

| Категория                            | Код | Признаки   | $K_B$ |
|--------------------------------------|-----|--|-------|
| Нормальная                           | 0   | Берег устойчив, размывы отсутствуют  | 0     |
| Предельно допустимая                 | 1   | Периодические (сезонные) размывы   | 0,9   |
| Предаварийная (потенциально опасная) | 2   | Берег размывается. Размывы, в том числе низовые, на подводном склоне ограничены глубинами в прибойной зоне | 0,95  |
| Аварийная                            | 3   | Угрожающий размыв берега. Размывы подводного склона распространяются мористее прибойной зоны               | 1     |

На участках нормальной категории, где берег устойчив и размывы отсутствуют (т. е. при  $K_B=0$ ), необходимость защиты возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды также отсутствует (т. е. равна нулю).

Учет влияния объектов и процессов в береговой зоне при выборе типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от

гидродинамических воздействий естественной водной среды предлагается определять путем количественной интегральной оценки по следующим признакам:

1. Для оценки необходимости создания защитной волногасящей полосы в виде пляжа определяющим является назначение земельного участка и фактическое наличие пляжа. Так как береговая зона морей вблизи транспортных сооружений практически во всех случаях

используется в рекреационных целях (например, Черное и Азовское моря), действующие нормативные документы не допускают игнорирование этого фактора. Кроме того, пляжи являются наилучшими волногасящими сооружениями, максимально приближенными к природным. Поэтому, при выборе метода инженерной защиты, преимущество отдается созданию волногасящей полосы в виде пляжа, исходя из условия рекреационного использования берега [20]. Также учитывается наличие потока наносов. От данного параметра зависят технические решения по созданию волногасящей полосы [21, 22], параметры пляжеудерживающих бун и/или возможности строительства волноломов [23] (табл. 2).

2. Для оценки необходимости строительства волноотбойных стен и откосных береговых укреплений анализируются склоновые процессы в береговой зоне [8]. В зависимости от наличия оползневых процессов на склоне возможно потребуются строительство подпорно-волноотбойных стен либо откосных береговых укреплений (табл. 3).

3. Необходимость возведения волногасящих берм и прикритий из камня или фасонных массивов определяется наличием (планируемым строительством) опор мостов и стен на участке [24, 25]. Также оценивается наличие рекреации ввиду того, что имеются ограничения по применению некоторых типов защитных конструкций в рекреационных зонах (табл. 4).

**Таблица 2.** Защитная волногасящая полоса в виде пляжа

**Table 2.** Protective breakwater in the form of a beach

| Условия   | Код $q_i$ | Технические решения  |
|---|-----------|--|
| Берег не используется в рекреационных целях. Либо на участке имеется волногасящая полоса шириной, обеспечивающей достаточное волногашение   | 0         | Не требуется   |
| Берег рекреационный. Волногасящая полоса необходимой ширины отсутствует, но возможно создание свободного пляжа  | 1         | Отсыпка материала с периодическими пополнениями                          |
| Берег рекреационный. Существование свободной волногасящей полосы невозможно. Поток наносов восполняет потери материала на истирание и вдольбереговой перенос более 60 %                     | 2         | Отсыпка материала и строительство волноломов и/или бун для его удержания |
| Берег рекреационный. Существование свободной волногасящей полосы невозможно. Поток наносов отсутствует либо восполняет потери материала на истирание и вдольбереговой перенос не более 60 % | 3         | Отсыпка материала и строительство бун для его удержания                  |

**Таблица 3.** Волноотбойные стены и откосные береговые укрепления

**Table 3.** Sea walls and slope coastal protection structures

| Условия   | Код $q_i$ | Технические решения          |
|---|-----------|------------------------------|
| Склоновые процессы не прогнозируются  | 0         | Не требуется                 |
| Возможно развитие склоновых процессов; угол берегового откоса не превышает угол естественного откоса грунта, слагающего склон; высота расчетной волны до 4 м  | 1         | Гибкие бетонные покрытия     |
| Возможно развитие склоновых процессов; угол берегового откоса не превышает угол естественного откоса грунта, слагающего склон   | 2         | Откосно-ступенчатые стены    |
| Наблюдаются оползневые процессы либо сооружение врезается в откос (требуется строительство подпорных стен), крутые склоны (угол берегового откоса превышает угол естественного откоса грунта, слагающего склон) | 3         | Подпорно-волноотбойные стены |

**Таблица 4.** Волногасящие бермы и покрытия из камня или фасонных массивов

**Table 4.** Wave-absorbing berms and coverings made of stone or artificial armor

| Условия  | Код $q_i$ | Технические решения  |
|--|-----------|--|
| На участке имеется волногасящая полоса достаточной ширины либо планируется ее создание                   | 0         | Не требуется   |
| Имеются опоры мостов либо планируется их строительство   | 1         | Защитные волногасящие наброски из камня либо фасонных массивов у опор для их защиты                |
| Волногасящая полоса отсутствует или недостаточной ширины и участок не используется в рекреационных целях | 2         | Волногасящие бермы; наброски из камня либо фасонных массивов                                       |
| Волногасящая полоса отсутствует или недостаточной ширины и участок используется в рекреационных целях    | 3         | Волногасящие бермы; наброски из камня либо фасонных массивов при условии создания пляжа перед ними |

Интегральная оценка необходимости возведения и типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды характеризуется коэффициентом  $Z$ , который представляет собой долю от наиболее неблагоприятных условий. При наиболее неблагоприятном сочетании условий коэффициент  $Z$  будет равен 1. В остальных случаях  $0 \leq Z < 1$ . Численные значения  $Z$  получаются в зависимости от интегрального кода берегозащитных конструкций с учетом коэффициента их весомости  $\beta$ :

$$Z = \sum_{i=1}^3 \beta_i \times q_i \times z_0 \quad (1)$$

где  $\beta_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го типа защитных конструкций;  $q_i$  – значение кода типа защитной конструкции;  $z_0$  – нормирующий множитель.

Значения коэффициента весомости  $\beta$  определены в зависимости от стоимости строительства различных вариантов конструкций [1, 7] и представлены в табл. 5.

В табл. 6 приведены расчетные значения коэффициентов защитных конструкций  $Z$ .

**Таблица 5.** Значения коэффициента весомости  $\beta$  типов защитных конструкций

**Table 5.** Values of the weighting coefficient  $\beta$  for types of protective structures

| Типы защитных конструкций                                    | Коэффициент весомости $\beta$ |
|--|-------------------------------|
| Волногасящий пляж  | 0,58                          |
| Волноотбойные стены и откосные береговые укрепления          | 0,24                          |
| Волногасящие бермы и покрытия из камня или фасонных массивов | 0,18                          |

**Таблица 6.** Значения коэффициентов защитных конструкций  $Z$

**Table 6.** Values of protective structures  $Z$  coefficients

| код   | Z      | код   | Z      | код   | Z      | код   | Z      |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 0 0 0 | 0,0000 | 1 0 0 | 0,1933 | 2 0 0 | 0,3867 | 3 0 0 | 0,5800 |
| 0 0 1 | 0,0600 | 1 0 1 | 0,2533 | 2 0 1 | 0,4467 | 3 0 1 | 0,6400 |
| 0 0 2 | 0,1200 | 1 0 2 | -      | 2 0 2 | -      | 3 0 2 | -      |
| 0 0 3 | 0,1800 | 1 0 3 | 0,3733 | 2 0 3 | 0,5667 | 3 0 3 | 0,7600 |
| 0 1 0 | 0,0800 | 1 1 0 | 0,2733 | 2 1 0 | 0,4667 | 3 1 0 | 0,6600 |
| 0 1 1 | 0,1400 | 1 1 1 | 0,3333 | 2 1 1 | 0,5267 | 3 1 1 | 0,7200 |
| 0 1 2 | 0,2000 | 1 1 2 | -      | 2 1 2 | -      | 3 1 2 | -      |
| 0 1 3 | 0,2600 | 1 1 3 | 0,4533 | 2 1 3 | 0,6467 | 3 1 3 | 0,8400 |
| 0 2 0 | 0,1600 | 1 2 0 | 0,3533 | 2 2 0 | 0,5467 | 3 2 0 | 0,7400 |
| 0 2 1 | 0,2200 | 1 2 1 | 0,4133 | 2 2 1 | 0,6067 | 3 2 1 | 0,8000 |
| 0 2 2 | 0,2800 | 1 2 2 | -      | 2 2 2 | -      | 3 2 2 | -      |

**Окончание табл. 6**

| код   | Z      | код   | Z      | код   | Z      | код   | Z      |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 0 2 3 | 0,3400 | 1 2 3 | 0,5333 | 2 2 3 | 0,7267 | 3 2 3 | 0,9200 |
| 0 3 0 | 0,2400 | 1 3 0 | 0,4333 | 2 3 0 | 0,6267 | 3 3 0 | 0,8200 |
| 0 3 1 | 0,3000 | 1 3 1 | 0,4933 | 2 3 1 | 0,6867 | 3 3 1 | 0,8800 |
| 0 3 2 | 0,3600 | 1 3 2 | -      | 2 3 2 | -      | 3 3 2 | -      |
| 0 3 3 | 0,4200 | 1 3 3 | 0,6133 | 2 3 3 | 0,8067 | 3 3 3 | 1,0000 |

*Примечание: знак «-» означает, что сочетание невозможно*

Численно степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты предлагается оценить коэффициентом степени необходимости защиты  $K_z$ :

$$K_z = K_b \times Z, \quad (2)$$

где  $K_b$  – коэффициент состояния берега, определяемый по табл. 1;  $Z$  – коэффициент

защитных конструкций, определяемый по табл. 6.

В таблице 7 приводятся вычисленные значения коэффициентов степени необходимости защиты  $K_z$  для различных вариантов состояния берега и коэффициентов защитных конструкций.

**Таблица 7. Значения коэффициентов степени необходимости защиты  $K_z$**

**Table 7. Values of the  $K_z$  protection coefficient**

| $K_b=0,9$ |        |        |       |        |        | $K_b=0,95$ |        |        |       |        |        | $K_b=1$ |        |        |       |        |        |
|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|------------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|--------|--------|
| код       | Z      | $K_z$  | код   | Z      | $K_z$  | код        | Z      | $K_z$  | код   | Z      | $K_z$  | код     | Z      | $K_z$  | код   | Z      | $K_z$  |
| 0 0 0     | 0,0000 | 0,0000 | 1 3 1 | 0,4933 | 0,4440 | 0 0 0      | 0,0000 | -      | 1 3 1 | 0,4933 | 0,4687 | 0 0 0   | 0,0000 | -      | 1 3 1 | 0,4933 | 0,4933 |
| 0 0 1     | 0,0600 | 0,0540 | 1 3 3 | 0,6133 | 0,5520 | 0 0 1      | 0,0600 | 0,0570 | 1 3 3 | 0,6133 | 0,5827 | 0 0 1   | 0,0600 | 0,0600 | 1 3 3 | 0,6133 | 0,6133 |
| 0 0 2     | 0,1200 | 0,1080 | 2 0 0 | 0,3867 | 0,3480 | 0 0 2      | 0,1200 | 0,1140 | 2 0 0 | 0,3867 | 0,3673 | 0 0 2   | 0,1200 | 0,1200 | 2 0 0 | 0,3867 | 0,3867 |
| 0 0 3     | 0,1800 | 0,1620 | 2 0 1 | 0,4467 | 0,4020 | 0 0 3      | 0,1800 | 0,1710 | 2 0 1 | 0,4467 | 0,4243 | 0 0 3   | 0,1800 | 0,1800 | 2 0 1 | 0,4467 | 0,4467 |
| 0 1 0     | 0,0800 | 0,0720 | 2 0 3 | 0,5667 | 0,5100 | 0 1 0      | 0,0800 | 0,0760 | 2 0 3 | 0,5667 | 0,5383 | 0 1 0   | 0,0800 | 0,0800 | 2 0 3 | 0,5667 | 0,5667 |
| 0 1 1     | 0,1400 | 0,1260 | 2 1 0 | 0,4667 | 0,4200 | 0 1 1      | 0,1400 | 0,1330 | 2 1 0 | 0,4667 | 0,4433 | 0 1 1   | 0,1400 | 0,1400 | 2 1 0 | 0,4667 | 0,4667 |
| 0 1 2     | 0,2000 | 0,1800 | 2 1 1 | 0,5267 | 0,4740 | 0 1 2      | 0,2000 | 0,1900 | 2 1 1 | 0,5267 | 0,5003 | 0 1 2   | 0,2000 | 0,2000 | 2 1 1 | 0,5267 | 0,5267 |
| 0 1 3     | 0,2600 | 0,2340 | 2 1 3 | 0,6467 | 0,5820 | 0 1 3      | 0,2600 | 0,2470 | 2 1 3 | 0,6467 | 0,6143 | 0 1 3   | 0,2600 | 0,2600 | 2 1 3 | 0,6467 | 0,6467 |
| 0 2 0     | 0,1600 | 0,1440 | 2 2 0 | 0,5467 | 0,4920 | 0 2 0      | 0,1600 | 0,1520 | 2 2 0 | 0,5467 | 0,5193 | 0 2 0   | 0,1600 | 0,1600 | 2 2 0 | 0,5467 | 0,5467 |
| 0 2 1     | 0,2200 | 0,1980 | 2 2 1 | 0,6067 | 0,5460 | 0 2 1      | 0,2200 | 0,2090 | 2 2 1 | 0,6067 | 0,5763 | 0 2 1   | 0,2200 | 0,2200 | 2 2 1 | 0,6067 | 0,6067 |
| 0 2 2     | 0,2800 | 0,2520 | 2 2 3 | 0,7267 | 0,6540 | 0 2 2      | 0,2800 | 0,2660 | 2 2 3 | 0,7267 | 0,6903 | 0 2 2   | 0,2800 | 0,2800 | 2 2 3 | 0,7267 | 0,7267 |
| 0 2 3     | 0,3400 | 0,3060 | 2 3 0 | 0,6267 | 0,5640 | 0 2 3      | 0,3400 | 0,3230 | 2 3 0 | 0,6267 | 0,5953 | 0 2 3   | 0,3400 | 0,3400 | 2 3 0 | 0,6267 | 0,6267 |
| 0 3 0     | 0,2400 | 0,2160 | 2 3 1 | 0,6867 | 0,6180 | 0 3 0      | 0,2400 | 0,2280 | 2 3 1 | 0,6867 | 0,6523 | 0 3 0   | 0,2400 | 0,2400 | 2 3 1 | 0,6867 | 0,6867 |
| 0 3 1     | 0,3000 | 0,2700 | 2 3 3 | 0,8067 | 0,7260 | 0 3 1      | 0,3000 | 0,2850 | 2 3 3 | 0,8067 | 0,7663 | 0 3 1   | 0,3000 | 0,3000 | 2 3 3 | 0,8067 | 0,8067 |
| 0 3 2     | 0,3600 | 0,3240 | 3 0 0 | 0,5800 | 0,5220 | 0 3 2      | 0,3600 | 0,3420 | 3 0 0 | 0,5800 | 0,5510 | 0 3 2   | 0,3600 | 0,3600 | 3 0 0 | 0,5800 | 0,5800 |
| 0 3 3     | 0,4200 | 0,3780 | 3 0 1 | 0,6400 | 0,5760 | 0 3 3      | 0,4200 | 0,3990 | 3 0 1 | 0,6400 | 0,6080 | 0 3 3   | 0,4200 | 0,4200 | 3 0 1 | 0,6400 | 0,6400 |
| 1 0 0     | 0,1933 | 0,1740 | 3 0 3 | 0,7600 | 0,6840 | 1 0 0      | 0,1933 | 0,1837 | 3 0 3 | 0,7600 | 0,7220 | 1 0 0   | 0,1933 | 0,1933 | 3 0 3 | 0,7600 | 0,7600 |
| 1 0 1     | 0,2533 | 0,2280 | 3 1 0 | 0,6600 | 0,5940 | 1 0 1      | 0,2533 | 0,2407 | 3 1 0 | 0,6600 | 0,6270 | 1 0 1   | 0,2533 | 0,2533 | 3 1 0 | 0,6600 | 0,6600 |
| 1 0 3     | 0,3733 | 0,3360 | 3 1 1 | 0,7200 | 0,6480 | 1 0 3      | 0,3733 | 0,3547 | 3 1 1 | 0,7200 | 0,6840 | 1 0 3   | 0,3733 | 0,3733 | 3 1 1 | 0,7200 | 0,7200 |
| 1 1 0     | 0,2733 | 0,2460 | 3 1 3 | 0,8400 | 0,7560 | 1 1 0      | 0,2733 | 0,2597 | 3 1 3 | 0,8400 | 0,7980 | 1 1 0   | 0,2733 | 0,2733 | 3 1 3 | 0,8400 | 0,8400 |
| 1 1 1     | 0,3333 | 0,3000 | 3 2 0 | 0,7400 | 0,6660 | 1 1 1      | 0,3333 | 0,3167 | 3 2 0 | 0,7400 | 0,7030 | 1 1 1   | 0,3333 | 0,3333 | 3 2 0 | 0,7400 | 0,7400 |
| 1 1 3     | 0,4533 | 0,4080 | 3 2 1 | 0,8000 | 0,7200 | 1 1 3      | 0,4533 | 0,4307 | 3 2 1 | 0,8000 | 0,7600 | 1 1 3   | 0,4533 | 0,4533 | 3 2 1 | 0,8000 | 0,8000 |
| 1 2 0     | 0,3533 | 0,3180 | 3 2 3 | 0,9200 | 0,8280 | 1 2 0      | 0,3533 | 0,3357 | 3 2 3 | 0,9200 | 0,8740 | 1 2 0   | 0,3533 | 0,3533 | 3 2 3 | 0,9200 | 0,9200 |
| 1 2 1     | 0,4133 | 0,3720 | 3 3 0 | 0,8200 | 0,7380 | 1 2 1      | 0,4133 | 0,3927 | 3 3 0 | 0,8200 | 0,7790 | 1 2 1   | 0,4133 | 0,4133 | 3 3 0 | 0,8200 | 0,8200 |
| 1 2 3     | 0,5333 | 0,4800 | 3 3 1 | 0,8800 | 0,7920 | 1 2 3      | 0,5333 | 0,5067 | 3 3 1 | 0,8800 | 0,8360 | 1 2 3   | 0,5333 | 0,5333 | 3 3 1 | 0,8800 | 0,8800 |
| 1 3 0     | 0,4333 | 0,3900 | 3 3 3 | 1,0000 | 0,9000 | 1 3 0      | 0,4333 | 0,4117 | 3 3 3 | 1,0000 | 0,9500 | 1 3 0   | 0,4333 | 0,4333 | 3 3 3 | 1,0000 | 1,0000 |

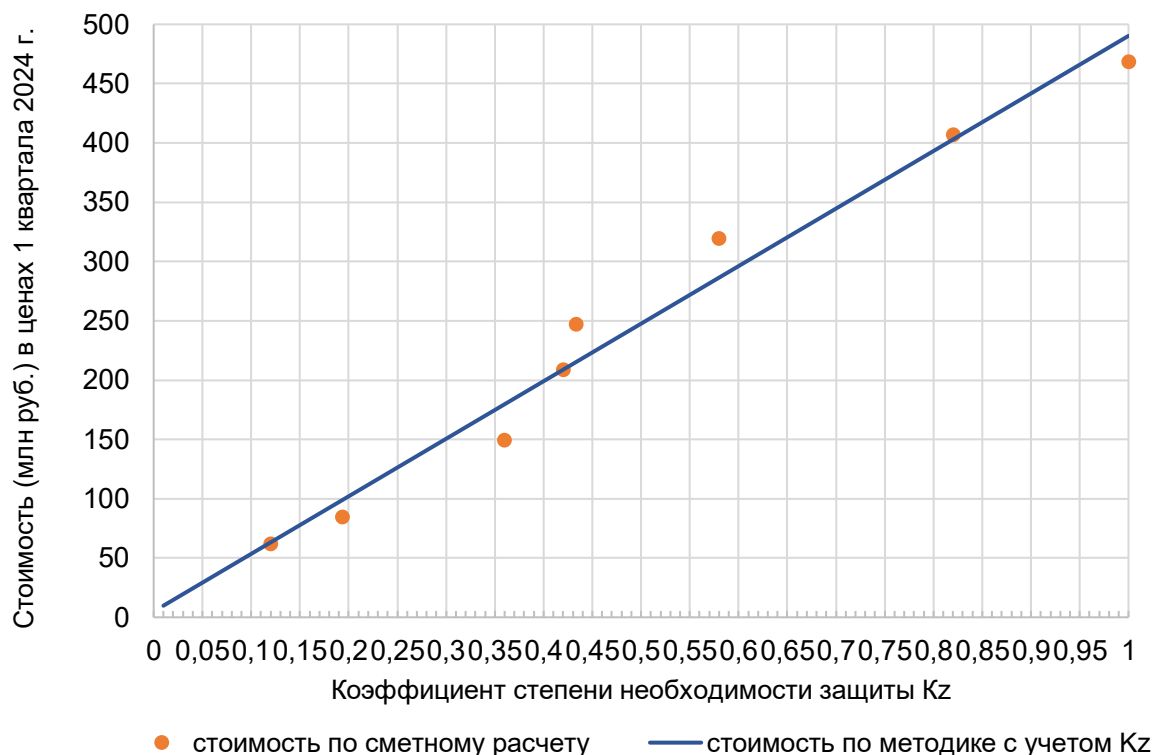
«-» означает, что сочетание невозможно

0 ≤  $K_z$  < 0,38; 0,38 ≤  $K_z$  < 0,55; 0,55 ≤  $K_z$  < 1.

На основании выполненных расчетов сметной стоимости [1, 7] определен размер затрат на строительство и эксплуатацию 100 п.м раз-

личных вариантов защитных конструкций в зависимости от значений коэффициента степени необходимости защиты  $K_z$  (рис. 3).





**Рис. 3. Стоимость вариантов защиты 100 п.м участков в зависимости от коэффициента степени защиты  $K_z$**

**Fig. 3. The cost of protection options for 100 square meters of land, depending on the coefficient of degree of protection  $K_z$**

При значениях коэффициента степени необходимости защиты  $0 \leq K_z < 0,38$  степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты оценивается как низкая. Объем капитальных вложений на строительство и эксплуатацию конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды составит менее 182 млн руб. на 100 п.м сооружений (в ценах по состоянию на 1 квартал 2024 г.). При значениях коэффициента степени необходимости защиты  $0,38 \leq K_z < 0,55$  степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты оценивается как средняя. Объем капитальных вложений на строительство и эксплуатацию конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды составит, ориентировочно, от 182 до 260 млн руб. на 100 п.м сооружений (в ценах по состоянию на 1 квартал 2024 г.).

При значениях коэффициента степени необходимости защиты  $0,55 \leq K_z \leq 1$  степень необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты оценивается как высокая. Объем капитальных вложений на

строительство и эксплуатацию конструкций инженерной защиты от гидродинамических воздействий естественной водной среды составит, ориентировочно, от 260 до 490 млн руб. на 100 п.м сооружений (в ценах по состоянию на 1 квартал 2024 г.).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод интегральной оценки необходимости возведения и выбора типа конструкций инженерной защиты транспортных сооружений от гидродинамических воздействий естественной водной среды. На основе анализа и экспертной оценки определяется степень необходимости защиты транспортного сооружения (либо его инфраструктуры). Приведенный метод может использоваться для оценки риска аварии (путем определения коэффициента опасности по показателю, учитывающему возможные последствия и величину материального ущерба вследствие аварии) [26–28], а также укрупненных сметных расчетов стоимости строительства. Данный подход позволяет выполнять количественную интегральную оценку, что согласуется с современными направлениями в строительстве и гидро-технике [29, 30].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Мегрелишвили И.Ю. Сравнение показателей различных типов берего-защитных сооружений // Транспортное строительство. 2011. № 5. С. 10–12. EDN: NZAHFJ.
2. Быкова О.Н., Путихин Ю.Е., Репникова В.М. Разработка сценариев развития транспортной инфраструктуры Владимирской области // Экономика, предпринимательство и право. 2022. Т. 12. № 3. С. 1031–1050. <https://doi.org/10.18334/epp.12.3.114308>. EDN: PIPPKY.
3. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas // Journal of Coastal Research. 2007. Vol. 23. Iss. 5. P. 1304–1317. <https://doi.org/10.2112/05-0465.1>.
4. Saengsupavanich C. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters // Arabian Journal of Geosciences. 2022. Vol. 15. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>.
5. Ataei N., Steams M., Padgett J.E. Response Sensitivity for Probabilistic Damage Assessment of Coastal Bridges Under Surge and Wave Loading // Transportation Research Record. 2010. Vol. 2202. Iss. 1. P. 93–101. <https://doi.org/10.3141/2202-12>.
6. Wandji Zoumb, P. A. Fourier regression model predicting train-bridge interactions under wind and wave actions / P. A. Wandji Zoumb, X. Li // Structure & Infrastructure Engineering. 2023. Vol. 19, No. 10. P. 1489–1503. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2033281>.
7. Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Емельянова Г.А. Сценарии аварий сооружений инженерной защиты объектов транспорта от гидродинамических воздействий морских волн // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 292–300. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-292-300>. EDN: LIKCR.
8. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways // 14<sup>th</sup> Medcoast Congress On Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation (Marmaris, 22–26 October, 2019). Marmaris, 2019. P. 841–852. EDN: JWHEBE.
9. Тлявлиная Г.В., Ярославцев Н.А., Петров В.А., Тлявлин Р.М. О методах защиты транспортных сооружений на открытых песчаных берегах внутренних морей // Транспортное строительство. 2015. № 6. С. 14–16. EDN: SGDDMX.
10. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines // Coastal Engineering. 2021. Vol. 164. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>.
11. Deping Cao, Weikai Tan, Jing Yuan Assessment of Wave Overtopping Risk for Pedestrian Visiting the Crest Area of Coastal Structure // Applied Ocean Research. 2022. Vol. 120. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102985>.
12. Lira-Loarca A., Caceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in The Mediterranean Sea // Applied Ocean Research. 2022. Vol. 122. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118>.
13. Chenlei Guan, Damin Dong, Feng Shen, Xin Gao, Linyan Chen Hierarchical Structure Model of Safety Risk Factors in New Coastal Towns: A Systematic Analysis Using the DEMATEL-ISM-SNA Method // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. Iss. 17. P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710496>.
14. Khavansky A., Latun V., Khoroshev O., Merinova Yu., Nedoseka L. Risk Assessment of Hazardous Abrasion and Landslide Processes in The Coastal Zone of the Azov Sea // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. P. 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017506008>.
15. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts on a Storm Wall for a Dike-Promenade Structure // Coastal Engineering. 2020. Vol. 155. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598>.
16. Латыпов А. И., Гараева А. Н., Лунова О. В., Королев Э. А. Интегральная оценка суффозионной опасности территории Бугульминского плато Бугульминско-Белебеевской возвышенности // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022. № 6. С. 37–45. <https://doi.org/10.31857/S0869780922060066>. EDN: PRRXAQ.
17. Архипов Д.Э., Едемский К.Е., Кожевникова С.И., Дмитриев В.В. Развитие мониторинга водных объектов на основе интегральной оценки экологического статуса и моделирования экологических функций // European Journal of Natural History. 2022. № 2. С. 31–37. EDN: WEMDZL.
18. Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Зырянова Д.С., Овсепян А.А., Почепако С.Ю., Немчинова А.В. и др. Оценка экологического статуса водоемов на основе построения композитных индексов: методика, результаты, перспективы // Гидрометеорология и экология. 2024. № 75. С. 293–309. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-75-293-309>. EDN: LJPOAJ.



19. Александрова Л.В., Васильев В.Ю., Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Огурцов А.Н., Третьяков В.Ю. и др. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. М.: Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2000. 275 с. EDN: ZVPHGF.
20. Лищишин И.В., Тлявлин Р.М., Тлявлиная Г.В. Защита транспортных сооружений от волнового воздействия в условиях использования побережья в рекреационных целях // Транспортное строительство. 2011. № 3. С. 2–5. EDN: NYJPNF.
21. Petrov V.A. Stability of an Artificial Pebble Beach in Front of Slope Structures during Upsurge // Power Technology and Engineering. 2022. Vol. 55. P. 659–666. <https://doi.org/10.1007/s10749-022-01413-8>.
22. Тлявлиная Г.В., Тлявлин Р.М., Ярославцев Н.А. Защита транспортных сооружений от волнового воздействия путем создания песчаного волногасящего пляжа // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5. С. 24–33. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>. EDN: HJTUGM.
23. Тлявлин Р.М. Волноломы для защиты прижимных участков железных дорог // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2. С. 23–32. [https://doi.org/10.52170/1815-9265\\_2024\\_69\\_23](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2024_69_23). EDN: GTCJLN.
24. Cervantes M.S., Diaz-Carrasco P., Moragues M.V., Clavero M., Losada M.A. Uncertainties of the Actual Engineering Formulas for Coastal Protection Slopes. The Dimensional Analysis and Experimental Method // Proceedings of the 39th IAHR World Congress (Granada, 19–24 June 2022). Granada, 2022. P. 1–8. <https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC252171192022900>.
25. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8. Iss. 6. P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/jmse8060446>.
26. Финагенов О.М., Бешлиян А.Р. Риск в гидротехнике // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2007. Т. 246. С. 107–112. EDN: IBWITV.
27. Финагенов О.М., Штильман В.Б., Шульман С.Г., Юделевич А.М. Развитие методов оценки надежности гидротехнических сооружений // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 7–20. EDN: IANMJK.
28. Кузьмина Т.К., Волков Р.В., Карнаухова Д.О. Комплексная методология оценки рисков строительных проектов в современных условиях // Строительное производство. 2022. № 2. С. 37–41. [https://doi.org/10.54950/26585340\\_2022\\_2\\_37](https://doi.org/10.54950/26585340_2022_2_37). EDN: CVEYGZ.
29. Овсепян А.А., Панютин Н.А., Дмитриев В.В. Потенциальная устойчивость водоема: от балльно-индексных оценок к интегральной оценке на основе композитных индексов // Международный студенческий научный вестник. 2024. № 1. С. 1–10. <https://doi.org/10.17513/msnv.21434>. EDN: MKRPLE.
30. Ahmed I., Das (Pan) N., Debnath J., Bhowmik M., Bhattacharjee S. Flood Hazard Zonation Using GIS-Based Multi-Parametric Analytical Hierarchy Process // Geosystems and Geoenvironment. 2024. Vol. 3. Iss. 2. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100250>.

## REFERENCES

1. Tliavlina G.V., Tliavlin R.M., Megrelishvili I.Yu. Comparison of the Indices of Various Coast-Protection Structures. *Transport Construction*. 2011;5:10-12. (In Russ.). EDN: NZAHFJ.
2. Bykova O.N., Putikhin Yu.E., Repnikova V.M. Scenarios for the Transport Infrastructure Development in the Vladimir Region. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2022;12(3):1031-1050. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/epp.12.3.114308>. EDN: PIPPKY.
3. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas. *Journal of Coastal Research*. 2007;23(5):1304-1317. <https://doi.org/10.2112/05-0465.1>.
4. Saengsupavanich C. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022;15:1-17. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2>.
5. Ataei N., Steams M., Padgett J.E. Response Sensitivity for Probabilistic Damage Assessment of Coastal Bridges Under Surge and Wave Loading. *Transportation Research Record*. 2010;2202(1):93-101. <https://doi.org/10.3141/2202-12>.
6. Wandji Zoumb, P. A. Fourier regression model predicting train-bridge interactions under wind and wave actions / P. A. Wandji Zoumb, X. Li // Structure & Infrastructure Engineering. 2023. Vol. 19, No. 10. P. 1489-1503. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2033281>.
7. Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Emelianova G.A. Scenarios of Accidents of Engineering Structures Protecting Transport Facilities from the Hydrodynamic Effects of Sea Waves. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):292-300. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-292-300>. EDN: LIKCR.
8. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal

- Railways. In: *14<sup>th</sup> Medcoast Congress On Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation*. 22–26 October 2019, Marmaris. Marmaris; 2019. P. 841–852. EDN: JWHEBE.
9. Tlyavlina G.V., Yaroslavl'tsev N.A., Petrov V.A., Tlyavlin R.M. Protection Methods of Transportation Facilities on Open Sandy Shores of Inner Seas. *Transport Construction*. 2015;6:14-16. (In Russ.). EDN: SGDDMX.
10. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines. *Coastal Engineering*. 2021;164:1-17. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827>.
11. Deping Cao, Weikai Tan, Jing Yuan Assessment of Wave Overtopping Risk for Pedestrian Visiting the Crest Area of Coastal Structure. *Applied Ocean Research*. 2022;120:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102985>.
12. Lira-Loarca A., Caceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in the Mediterranean Sea. *Applied Ocean Research*. 2022;122:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118>.
13. Chenlei Guan, Damin Dong, Feng Shen, Xin Gao, Linyan Chen Hierarchical Structure Model of Safety Risk Factors in New Coastal Towns: A Systematic Analysis Using the DEMATEL-ISM-SNA Method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(17):1-17. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710496>.
14. Khavansky A., Latun V., Khoroshev O., Merinova Yu., Nedoseka L. Risk Assessment of Hazardous Abrasion and Landslide Processes in The Coastal Zone of the Azov Sea. *E3S Web of Conferences*. 2020;175:1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017506008>.
15. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts on a Storm Wall for a Dike-Promenade Structure. *Coastal Engineering*. 2020;155:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598>.
16. Latypov A.I., Garaeva A.N., Luneva O.V., Korolev E.A. Integral Assessment of the Suffosion Hazard at the Bugulma Plateau, the Bugulma-Belebey Upland. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2022;6:37-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780922060066>. EDN: PRRXAQ.
17. Arkhipov D.E., Edemsky K.E., Kozhevnikova S.I., Dmitriev V.V. Development of Monitoring Of Water Bodies Based On Integrated Assessment of Ecological Status and Modeling of Ecological Functions. *European Journal of Natural History*. 2022;2:31-37. (In Russ.). EDN: WEMDZL.
18. Dmitriev V.V., Tretiakov V.Yu., Zyryanova D.S., Ovsepyan A.A., Pochepko S.Yu., Nemchinova A.V. et al. Assessment of The Ecological Status of Reservoirs Based on The Construction of Composite Indices: Methodology, Results, Prospects Article Title. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2024;75:293-309. (In Russ.). <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2023-75-293-309>. EDN: LJPOAJ.
19. Aleksandrova L.V., Vasilev V.Yu., Dmitriev V.V., Myakisheva N.V., Ogurtsov A.N., Tretiakov V.Yu. et al. *Multicriteria Geographical and Ecological Assessments of The State and Stability of Natural and Urbanized Systems*. Moscow: All-Russian Institute of Scientific and Technical Information, Russian Academy of Sciences, 2000. 275 p. (In Russ.). EDN: ZVPHGF.
20. Lishchishin I.V., Tlyavlin R.M., Tlyavlina G.V. Protection of Transport Constructions Against Wave Influence in the Conditions of Coast Use for the Recreational Purposes. *Transport Construction*. 2011;3:2-5. (In Russ.). EDN: NYJPNF.
21. Petrov V.A. Stability of an Artificial Pebble Beach in Front of Slope Structures during Upsurge. *Power Technology and Engineering*. 2022;55:659-666. <https://doi.org/10.1007/s10749-022-01413-8>.
22. Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Yaroslavl'tsev N.A. Protection of Transport Structures from Wave Action by Creating a Sandy Wave-Damping Beach. *World of Transport and Transportation*. 2023;21(5):24-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>. EDN: HJTUGM.
23. Tlyavlin R.M. Breakwaters for the Protection of Clamping Sections of Railways. The Siberian Transport University Bulletin. 2024;2:23-32. (In Russ.). [https://doi.org/10.52170/1815-9265\\_2024\\_69\\_23](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2024_69_23). EDN: GTCJLN.
24. Cervantes M.S., Diaz-Carrasco P., Moragues M.V., Clavero M., Losada M.A. Uncertainties of the Actual Engineering Formulas for Coastal Protection Slopes. The Dimensional Analysis and Experimental Method. In: *Proceedings of the 39th IAHR World Congress*. 19–24 June 2022, Granada. Granada; 2022. P. 1–8. <https://doi.org/10.3850/IAHR-39WC252171192022900>.
25. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020;8(6):1-21. <https://doi.org/10.3390/jmse8060446>.
26. Finagenov O.M., Beshlian A.R. Risk in Hydroengineering. *Proceedings of the VNIIG*. 2007;246:107-112. (In Russ.). EDN: IBWITV.
27. Finagenov O.M., Shtilman V.B., Shulman S.G., Yudelevich A.M. Development of Methods for Assessing the Reliability of Hydraulic Structures. *Proceedings of the VNIIG*. 2021;300:7-20. (In Russ.). EDN: IANMJK.

28. Kuzmina T.K., Volkov R.V., Karnaukhova D.O. Comprehensive Methodology of Risk Assessment of Construction Projects in Current Circumstances. *Construction Production*. 2022;2:37-41. (In Russ.). [https://doi.org/10.54950/26585340\\_2022\\_2\\_37](https://doi.org/10.54950/26585340_2022_2_37). EDN: CVEYGZ.
29. Ovsepyan A.A., Panyutin N.A., Dmitriev V.V. Potential Stability of A Reservoir: From Point-Index Estimates to An Integral Assessment Based on Composite Indices. *Mezhdunarodnyi studentcheskii nauchnyi vestnik*. 2024;1:1-10. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/msnv.21434>. EDN: MKRPLE.
30. Ahmed I., Das (Pan) N., Debnath J., Bhowmik M., Bhattacharjee S. Flood Hazard Zonation Using GIS-Based Multi-Parametric Analytical Hierarchy Process. *Geosystems and Geoenvironment*. 2024;3(2):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100250>.

**Информация об авторе**

**Тлявлиная Галина Вячеславовна**,  
к.т.н., заведующий лабораторией  
моделирования, расчетов и нормирования  
в гидротехническом строительстве,  
ОП АО ЦНИИТС «НИЦ “Морские берега”»,  
354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1,  
Россия,  
докторант кафедры мосты и тоннели,  
Российский университет транспорта (МИИТ).  
127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9,  
Россия,  
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsniiis.com  
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>  
Author ID: 604630

**Information about the author**

**Galina V. Tlyavlina**,  
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory  
of Modeling, Calculations and Standardization  
in Hydraulic Engineering, Joint Stock Company  
Central Research Institute of Transport  
Construction, R&D Centre “Morskije berega”,  
1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,  
Doctoral Student of Bridge and Tonnels  
Department,  
Russian University of Transport (MIIT),  
9 House, 9 Bldg. Obraztsova St., Moscow 127994,  
Russia,  
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsniiis.com  
<https://orcid.org/0000-0003-4083-9014>  
Author ID: 604630

**Вклад автора**

Автор выполнил исследовательскую работу,  
на основании полученных результатов провел  
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Автор имеет на статью исключительные  
авторские права и несет ответственность  
за плагиат.

**Contribution of the author**

The author performed the research,  
made generalization based on the results obtained  
and prepared the copyright for publication.

Author has exclusive author's right and bear  
responsibility for plagiarism.

**Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта  
интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный  
вариант рукописи.

**Conflict of interests**

The author declare no conflict of interests  
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved  
by the author.

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 10.06.2025.  
Одобрена после рецензирования 14.07.2025.  
Принята к публикации 28.07.2025.

**Information about the article**

The article was submitted 10.06.2025.  
Approved after reviewing 14.07.2025.  
Accepted for publication 28.07.2025.