

УДК 625.71.8

Б. А. Бондарев^а, Т. К. Акчури^б, О. В. Душко^б, В. А. Стурова^а, В. К. Жидков^а

^а *Липецкий государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ОЦЕНКА ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРИЛЬНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Описаны дефекты и износ перил, перечислены виды повреждений, распространенность (длина поврежденных участков перил) и определены максимальные значения износа. Приведены графические изображения потери устойчивости перильных ограждений, интенсивного разрушения бетона с обнажением арматуры, сплошной коррозии металлической поверхности элементов конструкции, а также разрушения крепления элементов к мостовому сооружению и потери вертикальности и устойчивости. Предложена альтернатива традиционным материалам, и приведены результаты проведенных испытаний.

К л ю ч е в ы е с л о в а: износ, устойчивость, коррозия, перильные ограждения.

Перилами моста именуются ограждающие устройства по тротуарам [1]. Они могут быть различного типа: железобетонные, металлические, стоечные, бесстоечные, с колоннами освещения или без них и т. д. Современными являются бесстоечные перила.

По способу закрепления можно различать перильные ограждения омоноличенные с тротуарным блоком, установленные в анкерные стаканы или закрепленные с помощью сварки на закладные детали.

Перила рассчитываются на горизонтальное сосредоточенное давление на верх поручня ($h = 1,10$ м) величиной в 130 кг и ветра 180 кг/м² с коэффициентом сплошности перильной решетки 0,3...0,8 [2].

Иногда в плоскости перил устанавливают улавливающее тросовое ограждение. Тогда расчет перильных стоек ведется индивидуально. Такой случай возможен, если габарит моста менее 7 м и нельзя установить ограждения обычного типа.

Перила, особенно городских мостов, играют роль не только защитного приспособления, предохраняющего пешехода от падения с моста, но являются хорошо обозреваемой архитектурной деталью (например, Сокольский путепровод в г. Липецке).

В 1960—1980-е годы большое распространение получили железобетонные перила, состоящие из стоек, нижнего обвязочного бруса, поручня и наборных элементов заполнения различного рисунка, входящих в пазы обвязочных брусов и поручня.

Соответствие функциональному назначению (предотвращение падения людей с моста) оценивается для перил по величине поперечного усилия, которое перила могут воспринять без повреждения, и по высоте перил. Поскольку нормами определено расчетное сосредоточенное усилие, равное 140 кг при высоте перил 1,1 м, износ перил следует определять как снижение несущей способности узла крепления стоек по сравнению с предельным моментом в заделке, $M_{пред} = 0,154$ тм. Снижение на 50 % требуемой несущей

способности перил на длине $\geq 50\% L_m$ (по одной стороне) считается предельным.

Вторым критерием оценки функциональных качеств перил является их высота. Показатель износа по критерию высоты считается предельным, если на длине $\geq 50\% L_m$ (по одной стороне) безопасная высота снижена на 25 %, т. е. до величины $H_\phi = 0,82 \text{ м}$ ¹.

Значение износа перил определяется по формуле:

$$И = Д \cdot K_n \frac{L_\phi}{L_m} 100\%, \quad И \leq 100\%, \quad (1)$$

где $Д$ — показатель дефектности поврежденного участка перил, определяемый по формуле

$$Д = 1 - \frac{N_\phi}{N}$$

или

$$Д = 1 - \frac{H_\phi}{1,1}, \quad (2)$$

где N_ϕ , N — фактическая и требуемая несущая способность перил; L_ϕ — фактическая длина поврежденного участка перил (принимается по наиболее поврежденной нитке перил); L_m — длина моста; H_ϕ — фактическая высота перил; K_n — коэффициент опасности повреждения перил ($K_n = 5$ — при оценке износа по критерию «высота» или $K_n = 3$ — при оценке износа по критерию «несущая способность»).

Различают 3 пороговых уровня износа перил:

- $И = 10\%$ — дефекты и повреждения не влияют на безопасность прохода пешеходов;

- $И = 30\%$ — допустимый износ — предел удобства прохода пешеходов, при котором имеет место незначительное снижение безопасности прохода; повышение указанной величины износа требует введения ограничений движения пешеходов (уменьшается ширина или число полос пешеходного прохода, устанавливаются временные дополнительные стойки или барьеры и т. д.);

- $И = 75\%$ — предельный износ, при достижении которого движение по тротуару должно быть закрыто.

Для ориентировочной оценки износа по внешним признакам при $H_\phi \geq 1,1 \text{ м}$ можно использовать классификационную табл. 1².

На рисунках 1—5 приведены наиболее характерные дефекты и повреждения перил мостовых сооружений.

¹ РДН 218.05.001—2010. Региональные дорожные нормы. Оценка и прогнозирование состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах Краснодарского края, планирование работ по их содержанию, ремонту, капитальному ремонту и реконструкции. Краснодар, 2010. 230 с.

² Там же.

Таблица 1

Дефекты и износ перил

Вид повреждения	Распространенность (длина поврежденных участков перил), % суммарной длины	Максимальное значение износа, И, %
1. Повреждение окраски или штукатурки	100	10
2. Повреждение на ширину до 5 см кромок бетона плиты, в которую заделываются стойки перил	50	20
3. Повреждение заполнений в секции перил (в каждой секции не менее 50 % заполнения) или расшатывание перил из-за повреждения консолей плит	50	50
4. Падение секций перил	25	75



Рис. 1. Пролет 1. Верховая сторона. Блок 1. Перильное ограждение. Потеря устойчивости ограждения. Опасность обрушения



Рис. 2. Пролет 2. Низовая сторона. Перильное ограждение. Блок 14. Интенсивное разрушение бетона с обнажением арматуры



Рис. 3. Перильное ограждение. Сплошная коррозия металлической поверхности элементов конструкции



Рис. 4. Крен конструкции перильного ограждения. Разрушение крепления элементов к мостовому сооружению



Рис. 5. Крен конструкции перильного ограждения. Потеря вертикальности и устойчивости

Результат диагностики мостовых сооружений показывает, что в большинстве случаев (80 %) перильные ограждения теряют свою работоспособность, и дальнейшая их эксплуатация становится невозможной. Одним из способов повышения долговечности и работоспособности перильных ограждений является применение для их изготовления полимерных композиционных материалов (стеклопластиков) [3—5], которые имеют ряд неоспоримых преимуществ:

- прочность, не уступающую металлу;
- малый удельный вес;
- электроизоляционные свойства;
- устойчивость к перепадам температуры;
- низкую теплопроводность;
- сопротивляемость влаге;
- внешний вид;
- устойчивость к коррозии;
- долгий срок службы³.

Стеклопластик — композиционный материал, состоящий из стеклянного наполнителя и синтетического полимерного связующего. Наполнителем служат, в основном, стеклянные волокна в виде нитей, жгутов (ровингов), тканей, матов, рубленых волокон; связующим — полиэфирные, фенолформальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические смолы, полиимиды, алифатические полиамиды, поликарбонаты и др. Для стеклопластика характерно сочетание высоких прочностных, диэлектрических свойств, сравнительно низкой плотности и теплопроводности, высокой атмосферо-, водо- и химстойкости [6—8].

³ Технические условия: ТУ 1104—001—39910803—2018. Ограждения пешеходные из композитных материалов. М., 2018. 37 с.

Для изучения возможности применения полимерных композиционных материалов в элементах конструкции перил необходимо провести комплексные испытания на следующие виды механических воздействий:

- сжатие (ГОСТ 25.602—80)⁴;
- изгиб (ГОСТ 33344—2015)⁵;
- ударная прочность (ГОСТ 4547—2015)⁶.

Испытания на сжатие [7, 8]

Предел прочности на сжатие в направлении 0° не менее 150 МПа. Предел прочности на сжатие в направлении 90° не менее 70 МПа. Определяется по ГОСТ 33344—2015 (прил. Д) и ГОСТ 9550—81⁷ (рис. 6).



Рис. 6. Испытания элемента на сжатие

Предел прочности на сжатие в направлении 0°:

$$\text{образец 1} \quad \sigma_p = \frac{148000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 148 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 2} \quad \sigma_p = \frac{153000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 153 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 3} \quad \sigma_p = \frac{156000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 156 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 4} \quad \sigma_p = \frac{149000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 149 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 5} \quad \sigma_p = \frac{157000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 157 \text{ МПа};$$

среднее значение для всех образцов:

$$\sigma_p^{\text{ср}} = \frac{148 + 153 + 156 + 149 + 157}{5} = 152,6 \text{ МПа.}$$

Предел прочности на сжатие в направлении 90°:

$$\text{образец 1} \quad \sigma_p = \frac{76000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 76 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 2} \quad \sigma_p = \frac{73000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 73 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 3} \quad \sigma_p = \frac{68000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 68 \text{ МПа};$$

⁴ ГОСТ 25.602—80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах. М.: Изд-во стандартов, 1981. 13 с.

⁵ ГОСТ 33344—2015. Профили пултрузионные конструкционные из полимерных композитов. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2016. 34 с.

⁶ ГОСТ 4647—2015. Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи. М.: Изд-во стандартов, 2017. 25 с.

⁷ ГОСТ 9550—81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе. М.: Изд-во стандартов, 1982. 8 с.

$$\text{образец 4} \text{ — } \sigma_p = \frac{70000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 70 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 5} \text{ — } \sigma_p = \frac{73000}{50 \cdot 60 - 40 \cdot 50} = 73 \text{ МПа};$$

среднее значение для всех образцов:

$$\sigma_p = \frac{76 + 73 + 68 + 70 + 73}{5} = 72 \text{ МПа.}$$

Сводная ведомость результатов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на сжатие

№ образца	Сжатие в направлении 0°, МПа	Сжатие в направлении 90°, МПа
1	148	76
2	153	73
3	156	68
4	149	70
5	157	73
Среднее значение	152,6	72

Таким образом, прочность материала на сжатие соответствует нормам.

Испытания на изгиб [7, 8]

По ГОСТ 33344—2015 композиционные материалы подверглись испытаниям на изгиб. Сущность метода заключается в том, что образец, представляющий собой однонаправленно-армированный тонкостенный пултрузионный профиль полного сечения, свободно лежащий на двух опорах, нагружают в середине между опорами до достижения заданного значения прогиба (рис. 7).

Предел прочности при поперечном изгибе:

$$\text{образец 1} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 283 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 106,125 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 2} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 276 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 103,5 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 3} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 264 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 99 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 4} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 268 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 100,5 \text{ МПа};$$

$$\text{образец 5} \text{ — } \sigma_{\text{В}}^{\text{И}} = \frac{1,5 \cdot 260 \cdot 20}{5 \cdot 4^2} = 97,5 \text{ МПа};$$

среднее значение предела прочности при изгибе для пяти образцов:

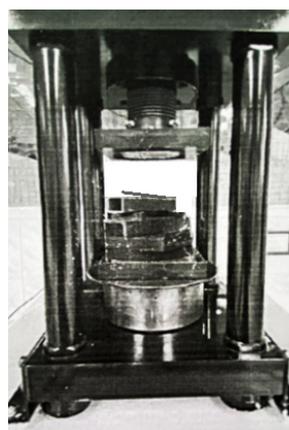


Рис. 7. Испытания элемента на поперечный изгиб

$$\sigma_{\text{В ср}}^{\text{И}} = \frac{106,125 + 103,5 + 99 + 100,5 + 97,5}{5} = 101,325 \text{ МПа.}$$

Сводная ведомость результатов приведена в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на изгиб

№ образца	Предел прочности при изгибе, МПа
1	106,125
2	103,5
3	99
4	100,5
5	97,5
Среднее значение	101,325

Таким образом, прочность материала при изгибе соответствует нормам.

Испытания на ударную вязкость [7, 9, 10]

Испытания проводили по ГОСТ 25.602—80, ГОСТ 33344—2015 и ГОСТ 4647—2015. Сущность метода заключается в том, что образец, лежащий на двух опорах, подвергается удару маятника с постоянной скоростью (при ударе «плашмя» или «в ребро»). Причем линия удара находится посередине между опорами и непосредственно напротив надреза у образцов с надрезом. Удар наносится по поверхности образца, противоположной надрезу.

Для испытания используют маятниковые копры по ГОСТ 10708—82⁸, обеспечивающие измерение энергии удара, затраченной на разрушение образца и определяемой как разность между первоначальным запасом потенциальной энергии маятника и энергией, оставшейся у маятника после разрушения испытуемого образца [11, 12].

Всего было испытано 10 образцов длиной 80 мм, шириной 10 мм, толщиной 4 мм, при расстоянии между опорами 60 мм.

$$\text{Образец 1 — } a = \frac{143}{2000} \cdot 10^3 = 71,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 2 — } a = \frac{152}{2000} \cdot 10^3 = 76 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 3 — } a = \frac{137}{2000} \cdot 10^3 = 68,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 4 — } a = \frac{154}{2000} \cdot 10^3 = 77 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 5 — } a = \frac{137}{2000} \cdot 10^3 = 68,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 6 — } a = \frac{166}{2000} \cdot 10^3 = 83 \text{ кДж/м}^2;$$

⁸ ГОСТ 10708—82. Копры маятниковые. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1999. 8 с.

$$\text{образец 7 — } a = \frac{146}{2000} \cdot 10^3 = 73 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 8 — } a = \frac{146}{2000} \cdot 10^3 = 73 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 9 — } a = \frac{159}{2000} \cdot 10^3 = 79,5 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{образец 10 — } a = \frac{139}{2000} \cdot 10^3 = 69,5 \text{ кДж/м}^2;$$

среднее значение

$$a = \frac{71,5 + 76 + 68,5 + 77 + 68,5 + 83 + 73 + 73 + 79,5 + 69,5}{10} = 73,95 \text{ кДж/м}^2.$$

Сводная ведомость результатов приведена в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость

№ образца	Ударная вязкость, кДж/м ²
1	71,5
2	76
3	68,5
4	77
5	68,5
6	83
7	73
8	73
9	79,5
10	69,5
Среднее значение	73,95

Таким образом, ударная вязкость материала соответствует установленным значениям.

Исследование показало, что полимерные композитные материалы являются хорошей заменой классическим материалам в транспортном строительстве по ряду свойств: долговечности, прочности, сопротивлению коррозии, хорошему внешнему виду, относительной дешевизне использования и превосходят аналоги, выполненные из металла и железобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русско-английский терминологический словарь инженера-дорожника = Russian-english dictionary of road-building terms : ок. 3000 терминов / под ред. В. П. Подольского. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1999. 323 с.
2. Вольнов О. И., Дудукин Д. О. Стеклопластик. История развития, технология производства, формообразование деталей и современное применение // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. 2014. № 5(107). 2014. С. 400—404.
3. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Мандрик-Котов Б. Б., Михалдыкин Е. С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве // «Наукоедение». 2016. Т. 8. № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf>.

4. Савкин Д. А. Перильные ограждения из композитных материалов — эффективные решения // Дорожник. 2015. № 3. С. 54—55.
5. Каблов Е. Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36—39.
6. Антюфеева Н. В., Алексахин В. М., Столянков Ю. В. Современное методическое обеспечение термоаналитических исследований полимерных композитов и препрегов // Композиты и наноструктуры. 2014. Т. 6. № 3. С. 176—184.
7. Дубинчик Е. В., Пастушков В. Г., Янковский Л. В. Особенности применения композитных материалов в строительстве // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 175—181.
8. Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Глазунов И. И. Влияние жесткости основания на напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 97—105.
9. Макаров А. В., Калиновский С. А., Ерещенко Т. В., Павлова М. А. Вопросы экономического восстановления эксплуатационных свойств мостов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 96—104.
10. Kalashnikov V. I. Super- and hyper-plasticizers. Silica fumes. A new generation of concretes with low specific cement consumption per strength unit // ALITINFORM Concrete. 2011. Vol. 4. No. 21. Pp. 52—60.
11. The Influence of Plasticizer on the Composition of Cement Stone Hydration Products / O. V. Tarakanov, E. A. Belyakova, V. I. Kalashnikov, O. V. Grintsova, N. I. Makridin. // Advances Engineering Research. International Symposium on Mechanical Engineering and material Science. 2016. Vol. 93. Pp. 186—191.
12. Tarakanov O. V., Belyakova E. A., Yurova V. S. On the issue of expanding the base of mineral and complex additives for cement (Scopus) // E3S Web of Conferences. 2019. DOI: 10.1051/e3sconf/201913501018.

© Бондарев Б. А., Акчурин Т. К., Душко О. В., Стурова В. А., Жидков В. К., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка износа элементов перильных ограждений и пути повышения их долговечности / Б. А. Бондарев, Т. К. Акчурин, О. В. Душко, В. А. Стурова, В. К. Жидкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 18—27.

Об авторах:

Бондарев Борис Александрович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и конструкций, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; LNSP-48@mail.ru

Акчурин Талгаты Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Душко Олег Викторович — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, первый проректор, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

Стурова Виктория Андреевна — ассистент каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; v-livenceva@mail.ru

Жидков Владимир Константинович — магистрант каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; mailbox@stu.lipetsk.ru

**Boris A. Bondarev^a, Talgat K. Akchurin^b, Oleg V. Dushko^b, Victoria A. Sturova^a,
Vladimir K. Zhidkov^a**

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

EVALUATION OF THE WEAR OF THE ELEMENTS OF THE RAILINGS AND WAYS TO INCREASE THEIR DURABILITY

The paper describes defects and wear of railings, lists the types of damage, prevalence (length of damaged railing sections) and determines the maximum wear value. Graphic images of railings of stability loss, intensive destruction of concrete with exposure of reinforcement, continuous corrosion of the metal surface of structural elements, as well as destruction of the fastening of elements to the bridge structure and loss of verticality and stability are given. An alternative to traditional materials has been proposed and tested.

Key words: wear, stability, corrosion, railings.

For citation:

Bondarev B. A., Akchurin T. K., Dushko O. V., Sturova V. A., Zhidkov V. K. [Evaluation of the wear of the elements of the railings and ways to increase their durability]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 18—27.

About authors:

Boris A. Bondarev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; LNSP-48@mail.ru

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Oleg V. Dushko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

Victoria A. Sturova — Assistant of Building Materials Science and Road Technologies Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; v-livenceva@mail.ru

Vladimir K. Zhidkov — Master' Degree student of Building Materials Science and Road Technologies Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; mailbox@stu.lipetsk.ru