

Научная статья
УДК 624.21.01/.09

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫСОТНЫХ ОТМЕТОК МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРОЕКТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Дмитрий Алексеевич Никишин¹, Варвара Сергеевна Ахлюстина²,
Сергей Николаевич Боярский³

¹⁻³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ nikish_ekb@mail.ru

² varvaraahlystina643@gmail.com

³ serg0761@ya.ru

Аннотация. Рассмотрена методика построения схемы компьютерного эксперимента для определения влияния отклонений геометрических параметров и высотных отметок на состояние автодорожного мостового сооружения.

Ключевые слова: предельное состояние, допускаемые отклонения, момент, моделирование, нагрузка

Для цитирования: Никишин Д. А., Ахлюстина В. С., Боярский С. Н. Определение влияния отклонений геометрических параметров и высотных отметок мостовых сооружений от проектных значений // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 938–942.

Original article

DETERMINING THE IMPACT OF DEVIATIONS IN GEOMETRICAL PARAMETERS AND ELEVATIONS OF BRIDGEWORKS FROM DESIGN VALUES

Dmitry A. Nikishin¹, Varvara S. Akhlyustina², Sergey N. Boyarsky³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ nikish_ekb@mail.ru

² varvaraahlyustina643@gmail.com

³ serg0761@ya.ru

Abstract. The article is devoted to the development of a methodology for constructing a computer experiment scheme to determine the influence of deviations in geometric parameters and elevations on the condition of a road bridge-work.

Keywords: limit state, allowable deviations, moment, modeling, load

For citation: Nikishin D. A., Akhlyustina V. S., Boyarsky S. N. (2026) Opredelenie vliyaniya otklonenij geometricheskix parametrov i vy'sotny'x otmetok mostovy'x sooruzhenij ot proektny'x znachenij [Determining the impact of deviations in geometrical parameters and elevations of bridge-works from design values]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 938–942. (In Russ).

При приемке результатов работ по возведению мостовых сооружений одним из основных вопросов является соответствие фактических геометрических параметров и высотных отметок требованиям проектной документации (допускаемые отклонения). Так, например, ГОСТ Р 70072–2022 устанавливает требования к отклонениям высотных отметок подферменников ± 5 мм, положения отметки верха насадки ± 10 мм, отклонения вертикальной оси стойки от прямолинейного положения менее ± 20 мм. Данные допускаемые отклонения являются результатом погрешности в геометрических измерениях, неизбежно возникающей при строительстве зданий и сооружений. Непосредственно влияние отклонений на физическое состояние сооружения, его способность выдерживать нагрузки и обеспечивать необходимую грузоподъемность в научной литературе малоизучено.

Исходя из вышеизложенного данная работа посвящена формированию методики построения схемы компьютерного эксперимента для определения влияния отклонений геометрических параметров и высотных отметок на состояние автодорожного мостового сооружения.

Наиболее логичным для решения поставленной задачи является определение вероятности (риска) наступления предельного состояния и, учитывая, что на стадии разработки проектной документации в первую очередь выполняются расчеты по первому предельному состоянию, рассмотрим именно его.

Расчет на прочность по первой группе предельных состояний выполняют для объектов строительства для различных сочетаний нагрузок по формуле [1]

$$S_{\max} \leq R_{\min}, \quad (1)$$

где $S_{\max}$ – внешний силовой расчетный фактор – момент, сила, перемещения;
 $R_{\min}$ – несущая способность сечения элемента конструкции мостового сооружения в предельном состоянии.

Для случая определения риска наступления первого предельного состояния балки пролетного строения мостового сооружения применяется изгибающий момент в нормальном сечении в середине пролета. Аналогично для определения риска потери устойчивости стоек опоры рассматриваем момент опрокидывающих сил. С учетом этого величину риска наступления первого предельного состояния определим относительно резерва прочности, который вычисляется по формуле [2]

$$S = M_{\text{пред}} - M_{\text{max}}, \quad (2)$$

где S – резерв прочности;

$M_{\text{пред}} = S_{\max}$ – предельный момент (изгибающий, опрокидывающих сил);

$M_{\text{max}} = R_{\min}$ – максимальный момент (изгибающий, опрокидывающих сил), определяемый в зависимости от действия сочетания постоянных и временных нагрузок в соответствии с требованиями [3, 4].

Вероятность (риск) наступления первого предельного состояния принято определять с использованием функции Лапласа [5]:

$$P = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (3)$$

Подынтегральная функция u при этом определяемая по формуле

$$u = \frac{m_{M_{\text{пред}}} - m_{M_{\text{max}}}}{\sqrt{\sigma_{M_{\text{пред}}}^2 + \sigma_{M_{\text{max}}}^2}}, \quad (4)$$

где $m_{M_{\text{пред}}}$ и $m_{M_{\text{max}}}$ – средние значения предельного и максимального моментов;

$\sigma_{M_{\text{пред}}}^2$ и $\sigma_{M_{\text{max}}}^2$ – среднеквадратические отклонения.

Среднеквадратическое отклонение предельного момента можно определить по формуле А. Р. Ржаницына:

$$\sigma_{M_{\text{пост}}} = \sqrt{\frac{\sum_i m_{M_i}^2 (\gamma_{fi} - 1)^2}{1,64}}, \quad (5)$$

где γ_{fi} – коэффициент надежности нагрузки, для которой определяется значение момента.

Задачи на вычисление риска наступления предельных состояний хорошо реализовываются в расчетных программных комплексах, основанных на методе конечных элементов, что позволяет планировать компьютерные эксперименты для дальнейшего построения зависимости. Алгоритм построения зависимости будет включать в себя следующие действия:

1) построение модели мостового сооружения либо его части в программном комплексе, основанном на методе конечных элементов (ЛИРА Софт, SCAD Office и т. д.);

2) моделирование нагрузок и их сочетаний на мостовое сооружение либо выбранный элемент;

3) моделирование отклонений геометрических параметров от проектных значений. Шаг изменений выбирается в зависимости от выбранного элемента;

4) полученные результаты компьютерного расчета выгружаются, оцениваются среднее значение и среднеквадратическое отклонение предельного момента, вычисляется значение риска наступления предельного состояния;

5) алгоритм повторяется требуемое количество раз для получения количества значений достаточного для построения зависимости.

Предложенный подход позволяет оценить возможные отклонения геометрических параметров и высотных отметок мостового сооружения от проектных не только как погрешность при измерениях, но и с точки зрения возможных последствий, вероятности наступления первого предельного состояния, как в нашем случае.

Список источников

1. Научные основы оценки предельного состояния мостовых сооружений по критериям допустимости риска нежелательного события / Ш. Н. Валиев, В. С. Надеждин, Д. А. Кочетков [и др.] // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2024. № 3. С. 30–40.

2. Сеницын А. П. Расчет конструкций на основе теории риска. М. : Стройиздат, 1985. 304 с.

3. ГОСТ 33390–2015. Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия. Межгосударственный стандарт / Разработан

АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт» (Технический комитет по стандартизации ТК 42 «Автомобильные дороги»). Введен 08.09.2016 // Техэксперт – центр нормативной технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200135142> (дата обращения: 10.05.2025).

4. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Свод правил / Разработан Научно-исследовательским институтом транспортного строительства. Введен 20.05.2011 // Техэксперт – центр нормативной технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849> (дата обращения: 06.11.2024).

5. Сафронов В. С., Горячев В. Н., Нгуен Х. К. Методика расчета риска возникновения предельных состояний в железобетонных пролетных строениях автодорожных мостов при землетрясениях // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 3. С. 36–43.