

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ ТЕАТРАЛЬНОЙ ЛЕСТНИЦЫ БАЛКОНА ДЛЯ МИЗАНЦЕНЫ В ПЬЕСЕ

Зеньков Е.В., Толмачева И.А.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

Ключевые слова: теория упругости, вычислительный эксперимент, театральная лестница, напряженно-деформированное состояние.

Аннотация. В статье рассматривается методика расчетного анализа напряженно-деформированного состояния и прочности театальной лестницы, разработанной для постановки в пьесе и изготовленной из металлопроката, на основе использования вычислительного моделирования методом конечных элементов и решения задачи механики упругого деформирования. Результаты численного расчета НДС показали, что уровень расчетных напряжений имеет двойной запас по прочности материала лестницы, обеспечивая ее надежную эксплуатацию.

MODELING THE STRESS-STRAIN STATE AND STRENGTH OF A THEATRICAL BALCONY STAIRCASE FOR THE MISE-EN-SCENE IN THE PLAY

Zenkov E.V., Tolmacheva I.A.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Keywords: elasticity theory, computational experiment, theatre staircase, stress-strain state.

Abstract. The article discusses the methodology of calculation analysis of the stress-strain state and strength of a theater staircase used for staging a play and made of rolled metal, based on the use of computational modeling by the finite element method and solving the problem of elastic deformation mechanics. The results of the numerical calculation of the SSS showed that the level of calculated stresses has a double reserve of strength of the staircase material, ensuring its reliable operation.

В рамках постановки пьесы Юджина О'Нила «Любовь под вязами» на сцене театра им. Охлопкого в городе Иркутске в различных мизансценах действия осуществляются на балконе (рис. 1). Для выхода на этот балкон используется лестница. По замыслу режиссера пьесы лестница в некоторых мизансценах должна визуально «парить» в воздухе, поэтому она должна монтироваться с разных сторон с помощью крюков и болтов. Кроме того, предполагается размещение на лестнице одного или двух актеров. Для указанных целей была разработана конструкция металлической лестницы из проката, что потребовало оценку её прочностной надежности.

Лестница (рис. 1, в) представляет собой сварную конструкцию из профильной трубы коробчатого сечения с размерами 20×20×1,5 мм. Верхняя часть лестницы крепится к балкону с помощью крюков, нижняя часть с помощью болтового соединения. Соответствующие условия закрепления представлены на (рис. 1, в).

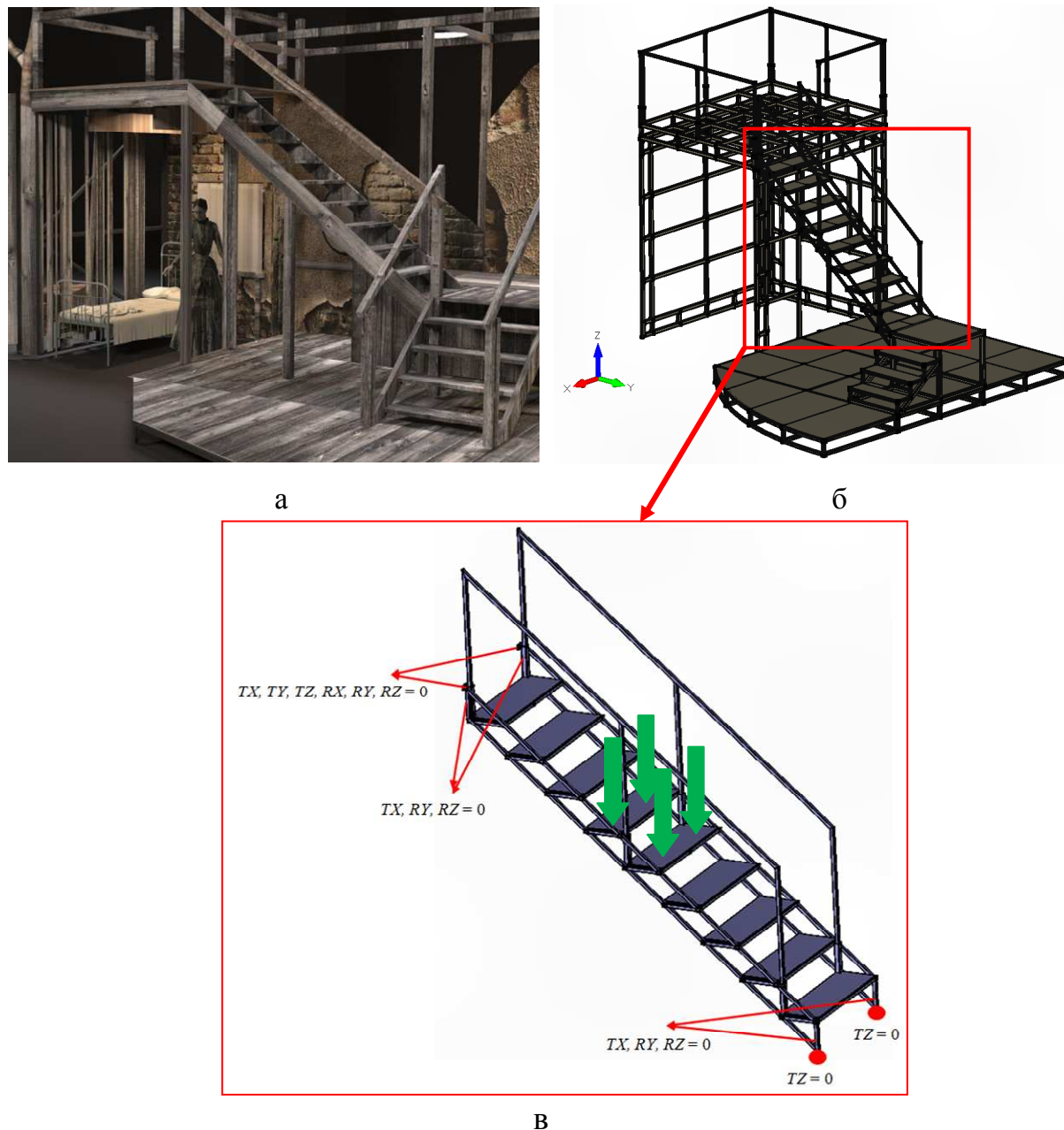


Рис. 1. Театральный балкон с лестницей: а – общий вид балкона; б – геометрическая модель каркаса балкона; в – граничные условия закрепления и нагружения модели лестницы для решения по МКЭ

Нагружение лестницы осуществляется силами, распределенными по поверхности двух ступеней, расположенных в середине лестницы по схеме, приведенной на рисунке 1, в. Значение этих сил приравнивались к значению силы тяжести двух стоящих на лестнице людей (около 100 кг каждый).

Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) и последующий анализ статической прочности лестницы осуществлялся численно на основе использования метода конечных элементов (МКЭ) [1-3]. При моделировании НДС лестницы принято:

- все соприкасающиеся между собой конструктивные элементы лестницы соединены без проскальзывания, так что в процессе расчета её НДС она представляется как монолитное однородное и изотропное тело;
- механические свойства (модуль продольной упругости, предел текучести и предел прочности) материала лестницы принимались для Стали 20 по ГОСТ [4];

– принята математическая модель деформирования, основанная на уравнениях механики упругого деформирования.

Дискретная конечно-элементная (КЭ) модель лестницы, необходимая для ее инженерного анализа НДС, приведена на рисунке 2, а. КЭ модель состояла из 1300 одномерных конечных элементов типа BEAM. Плотность КЭ разбивки на КЭ принималась равномерной по объему всех конструктивных элементов лестницы. Результаты моделирования НДС лестницы приведены на рисунке 2.

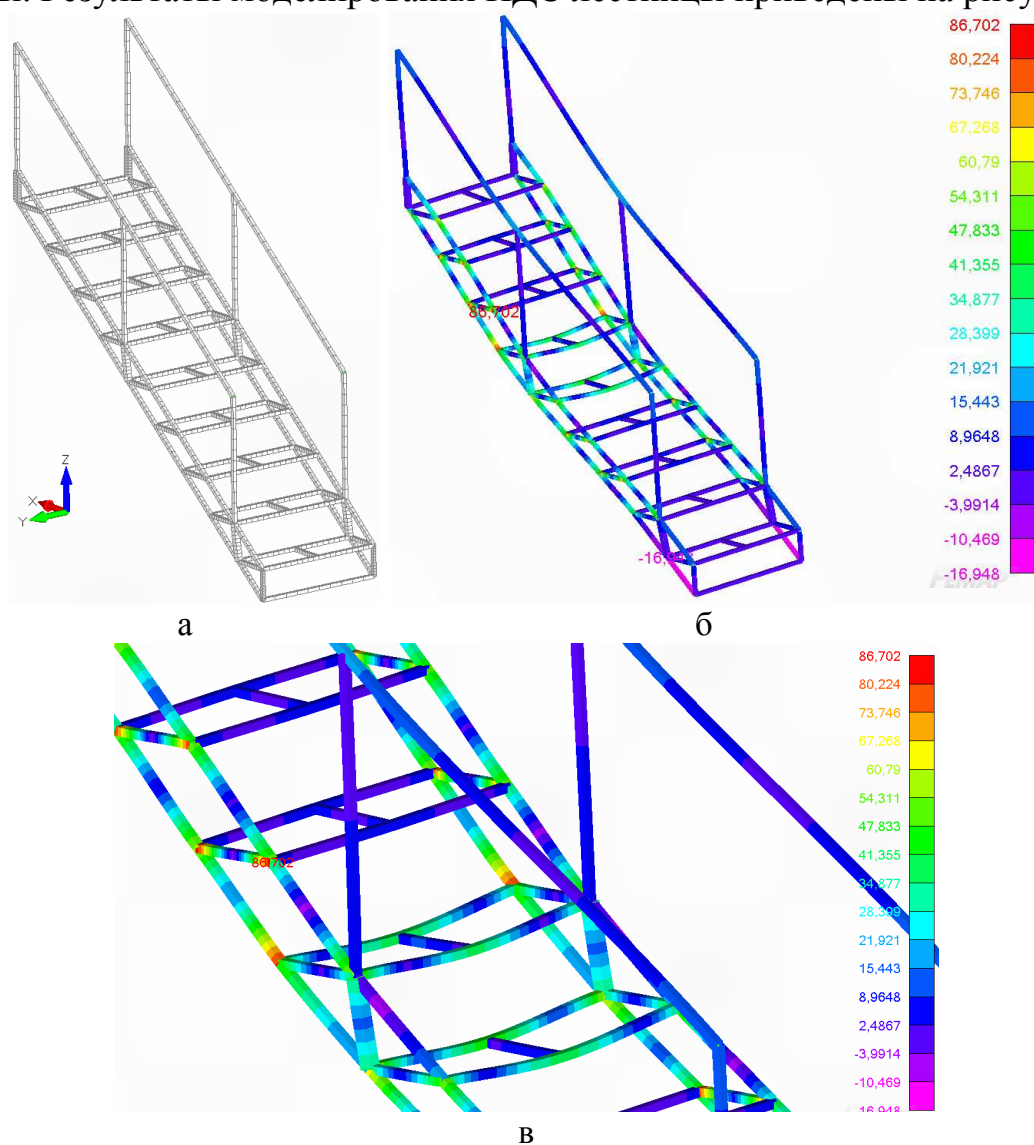


Рис. 2. Математическая модель лестницы: а – дискретная модель; б – распределение изгибных напряжений; в – распределение изгибных напряжений в зонах концентрации

Результаты расчетного моделирования НДС показали, что максимальный уровень изгибных напряжений в конструктивных элементах лестницы, обусловленные силами от действия двух стоящих людей с массой примерно 200 кг, локализован в зонах сопряжения ступеней с продольными направляющими (рис. 2, в). Для данного уровня дискретизации модели лестницы указанный уровень напряжений не превышает 90 МПа (рис. 2, в). Это значение также не превышает предела текучести материала лестницы, равного не менее 245 МПа по ГОСТ 1050-2013. Таким образом, материал лестницы имеет как минимум двойной запас по прочности на растяжение, что обеспечивает ее надежную эксплуатацию.

Список литературы

1. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
2. Цвик Л.Б., Зеньков Е.В. Физические основы теории упругости и метода конечных элементов: учебное пособие. – Иркутск: ИрГУПС, 2022. – 116 с.
3. Цвик Л.Б., Зеньков Е.В. Трехмерный инженерный анализ модельных напряженных состояний упругих тел: лабораторный практикум. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 132 с.
4. ГОСТ 1050-2013Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 36 с.

Сведения об авторах:

Зеньков Евгений Вячеславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры управления качеством и инженерная графика.

Толмачева Ирина Александровна – студентка.