

Научный сотрудник П.М. Афанаськов (Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель)

Кандидат технических наук Л.В. Огородников (Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель)

Ведущий инженер К.С. Щербатый (Моторвагонное депо «Минск», г. Минск)

Прочность измененной конструкции рамы под силовую установку и гидropередачу дизель-поезда типа ДР1Б

Аннотация. Целью настоящего исследования является проверка соответствия нормативным требованиям модернизируемой части дизель-поезда. В качестве объекта исследования выступает измененная конструкция рамы под новую силовую установку и гидropередачу дизель-поезда типа ДР1Б. Разработана конструкция рамы под новую силовую установку, представлен сравнительный анализ оригинальной конструкции рамы с модернизируемой, а также описана их конструкция. Приведены нормативные режимы нагружения и описаны нагружающие факторы для проведения оценки прочности исследуемой конструкции рамы. Разработана конечно-элементная модель измененной конструкции рамы под силовую установку, проанализировано напряженно-деформированное состояние рассматриваемой рамы, что позволит разработать наиболее точную схему установки тензорезисторов на основании напряженно-деформированного состояния, для последующего проведения натурных испытаний модернизированной конструкции рамы и оценки ее усталостной прочности.

Ключевые слова: прочность, моторная рама, дизель-поезд, моделирование, конструкция

Researcher P.M. Afanaskov (Belarusian State University of Transport, Republic of Belarus)

Candidate of Technical Sciences L.V. Ogorodnikov (Belarusian State University of Transport, Republic of Belarus)

Lead engineer K.S. Shcherbaty (Minsk Motor Car Depot, Republic of Belarus)

Assessment of the strength of the modified frame design for the power unit and hydraulic transmission of a DR1B type diesel train

Abstract. The purpose of this study is to verify compliance with regulatory requirements of the modernized part of the diesel train. The object of study is a modified frame design for a new power plant and hydraulic transmission of a diesel

train of the DR1B type. A frame design for a new power plant has been developed, a comparative analysis of the original frame design with the modernized one is presented, and their design is also described. Standard loading modes are given and loading factors for assessing the strength of the frame structure under study are described. A finite element model of the modified frame design for the power plant has been developed, the stress-strain state of the frame under consideration has been analyzed, which will make it possible to develop the most accurate scheme for installing strain gauges based on the stress-strain state, for subsequent full-scale testing of the modernized frame design and assessment of its fatigue strength.

Keywords: strength, motor frame, diesel train, modeling, design

При проектировании нового подвижного состава и при его модернизации важным является анализ напряженно-деформированного состояния эксплуатируемого подвижного состава, поэтому рамы кузова и их тонкостенные элементы рассчитываются на прочность в соответствии с нормативными требованиями. Критерием соответствия конструкции является недопущение превышения напряжений (от нагрузок, которым они могут подвергаться в процессе эксплуатации), полученных расчетным путем и в результате проведения испытаний (методом тензометрирования), допускаемых значений, а также обеспечение безопасной эксплуатации в течение всего срока службы.

Оригинальная рама под силовую установку и гидропередачу дизель-поезда типа ДР1Б имеет сварную конструкцию, выполненную из сварных балок коробчатого сечения. Конструктивно состоит из двух частей с перепадом по высоте в месте их соединения. На более широкую часть (см. рис. 1) устанавливается гидропередача ГДП-1000. На более узкой части по всей длине закреплен силовой агрегат М756. Материал всей рамы — сталь Ст3.

Изменениям подверглась часть рамы под силовую установку. Она выполнена из прямоугольных профильных труб. Силовой агрегат имеет иную систему крепления к раме, закреплен через четыре демпфирующих подушки. Одно из основных отличий в геометрии рамы — отсутствует перепад по высоте в месте соединения двух частей рамы. Материал измененной части рамы — Сталь 20 по механическим свойствам близок к стали Ст3.

На рисунке 1 представлен изначальный вид рамы и рама после модернизации.

Стоит отметить то, что места крепления рамы под силовую установку и гидропередачу к главной раме кузова головного вагона дизель-поезда типа ДР1Б сохранены.

Расчет производился методом конечных элементов. Для расчета была создана пространственная конечно-элементная модель несущей конструкции измененной рамы под силовую установку и гидropередачу дизель-поезда типа ДР1Б. Элементы рамы имитировались объемными параболическими конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле.

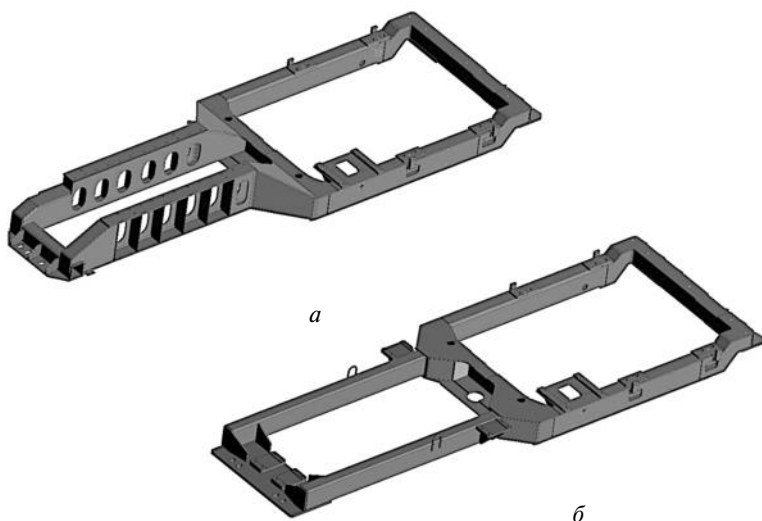


Рис. 1. Трехмерные модели рам:

а — рама оригинальной конструкции; *б* — рама измененной конструкции

В качестве исходных данных для выполнения оценки напряженно-деформированного состояния приняты:

- геометрические размеры, места расположения двигателя и гидropередачи, толщины конструктивных элементов;
- материал несущей конструкции: Сталь 20 и сталь Ст3 с модулем упругости — $2,1 \cdot 10^{11}$ Па и модулем упругости — 0,3;
- в модели учтено место расположения двигателя и его масса (масса брутто — 3450 кг) и гидropередачи и ее масса (масса брутто — 3850 кг);
- схемы нагружения, в том числе силовые граничные условия, приняты в соответствии с [1].

Создание конечно-элементной модели рамы включает в себя исследование влияния размера конечного элемента и количества элементов

в модели на результаты вычислений. За сходимость результатов принят шаг, на котором максимальное эквивалентное напряжение, по Мизесу, меняется менее чем на 3,5 МПа при последовательном измельчении сеток. Установлено, что оптимальной является сетка с величиной ребра в диапазоне 2,0–10,0 мм. Модель рамы под силовую установку и гидропередачу дизель-поезда типа ДР1Б состоит из 1 545 767 элементов и 2543 477 узлов.

При проведении оценки прочности рассмотрено одновременное действие на раму следующих нагружающих факторов:

- действие вертикальных сил тяжести оборудования и размещенного на нем груза при вертикальном ускорении, равном $(1 \pm c)g$, где $c = 2$ в конце вагона и линейно убывает до значения 0,5 в середине вагона (режим 1);
- совместное действие вертикальных сил тяжести оборудования и размещенного на нем груза при вертикальном ускорении $1g$ и инерционных сил, вызванных продольными ускорениями $3g$ (режим 2);
- совместное действие вертикальных сил тяжести оборудования и размещенного на нем груза при вертикальном ускорении $1g$ и инерционных сил, вызванных боковым ускорением $1g$ (режим 3).

Для каждого из приведенных режимов нагружения напряжения в элементах крепления оборудования не должны превышать 0,9 от предела текучести материала. Предел текучести Стали 20 – 245 МПа [2], для стали Ст3 – 235 МПа [3].

Результаты расчета показали, что на режиме нагружения 1 максимальный уровень эквивалентных напряжений достигает значения в 83,7 МПа при вертикальном ускорении $(1 + c)g$. При оценке прочности на нагрузки, соответствующие режиму нагружения 2, с учетом инерционных сил, вызванных продольными ускорениями $+3g$, наибольшие эквивалентные напряжения достигают значения в 96,9 МПа. Максимальный уровень эквивалентных напряжений достигает значения в 87,4 МПа при действии нагрузок согласно режиму нагружения 3. Результаты оценки прочности приведены на рис. 2 в виде распределения эквивалентных, по Мизесу, напряжений.

По результатам расчета установлено, что максимальные значения расчетных эквивалентных напряжений, возникающих в несущей конструкции измененной рамы под силовую установку и гидропередачу дизель-поезда типа ДР1Б, не превышают допустимых значений, из этого следует, что прочность несущей конструкции измененной рамы соответствует требованиям [1].

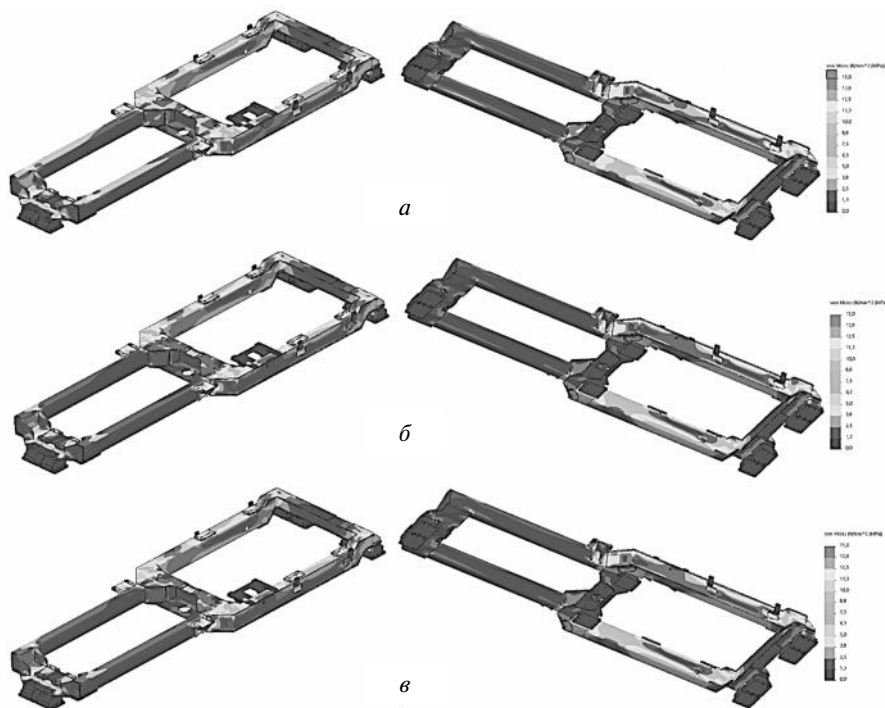


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений (МПа) в раме (для наглядности распределения значений эквивалентных напряжений по всей конструкции измененной рамы приведены от 0 до 15 МПа):
a — режим нагружения 1; *б* — режим нагружения 2; *в* — режим нагружения 3

Список литературы

1. ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам [Текст]. — Минск: Госстандарт, 2017. — 35 с.
2. ГОСТ 535–2005. Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия [Текст]. — Минск: Госстандарт, 2006. — 14 с.
3. ГОСТ 1050–2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия [Текст]. — Минск: Госстандарт, 2015. — 32 с.