

вует очищению стали от вредных примесей, прежде всего серы и газов. В разработанной нами технологии это является актуальным способом снижения или «сдерживания» роста концентрации серы в наплавленном металле. Поэтому потери содержания церия в его химическом составе требуют дальнейшего исследования.

В проведенных нами ранее исследованиях технологии дуговой сварки с модификацией защитной газовой атмосферы был выявлен положительный эффект воздействия  $SF_6$  на снижение количества диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле [4]. Причем процентное содержание галогенидной добавки в составе  $Ar + CO_2$  составляло 0,5 %, что говорит о возможности благоприятного воздействия на происходящие процессы при сварке с минимальным вводом модификатора. В связи с этим исследования химического состава наплавленного металла проводились именно с таким процентным содержанием  $SF_6$  в составе традиционной защитной смеси.

Однако, выявленные закономерности в ходе проведения анализа, например, снижение некоторых легирующих элементов от количества, введенного галогенидного модификатора, говорит о том, что для пояснения полученной картины, необходимо провести дополнительные исследования с концентрацией  $SF_6$  в составе  $Ar$  (82 %) +  $CO_2$  (18 %) составляющей от 0,5 до 2 %. Таким образом, работы в данном направлении будут продолжены.

#### Литература

1. Фетисова, Е. А. Особенности металлургических процессов при дуговой сварке с модификацией защитной газовой атмосферы галоидными соединениями / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, А. А. Коротева // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2022. – № 1 (74). – С. 87–96.
2. Фетисова, Е. А. Установка для смешивания трехкомпонентной защитной газовой среды при сварке / Е. А. Фетисова [и др.] // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т». – 2022. – С. 88.
3. Технологические особенности выбора значений параметров режима дуговой сварки в защитной газовой смеси  $Ar + CO_2$  / А. О. Коротеев [и др.] // Наука и техника. – 2023. – № 22 (4). – С. 269–277.
4. Фетисова, Е. А. Влияние гексафторида серы в составе газовой защитной атмосферы при дуговой сварке на содержание водорода в наплавленном металле / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, А. А. Коротева // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 174.

### **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ ПОД СИЛОВУЮ УСТАНОВКУ И ГИДРОПЕРЕДАЧУ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ТИПА ДР1Б**

**К. С. Щербатый**

*Моторвагонное депо, Минск, Республика Беларусь*

**И. В. Певнев, М. В. Выходцев**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
университет транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель Л. В. Огородников

*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 модернизируемой. Разработана конечно-элементная модель измененной конструкции рамы под силовую установку, проанализировано напряженно-деформированное состояние рассматриваемой рамы, что позволило на основании напряженно-деформированного состояния разработать наиболее точную схему установки тензорезисторов. Проведены натурные испытания на соударение и ходовые прочностные испытания дизель-поезда с модернизированной конструкцией рамы.

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

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 [1, 2].

Оригинальная рама под силовую установку и гидропередачу дизель-поезда типа ДР1Б имеет сварную конструкцию. На одной части рамы закреплен силовой агрегат М756, а на второй – устанавливается гидропередача ГДП-1000. Материал всей рамы – сталь Ст3.

В измененной конструкции была модернизирована часть рамы под силовую установку, так как силовой агрегат имеет иную систему крепления, он закрепляется через четыре демпфирующие подушки. В измененной конструкции рамы отсутствует перепад по высоте в месте соединения двух частей рамы, измененная часть выполнена из прямоугольных профильных труб из Стали 20, которая по механическим свойствам близка к стали Ст3. На рис. 1 представлен изначальный вид рамы и рама после модернизации.

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

Расчет напряженно-деформированного состояния производился методом конечных элементов. Была создана пространственная конечно-элементная модель. По результатам расчета установлено, что прочность несущей конструкции измененной рамы соответствует требованиям [3]. Результаты оценки прочности приведены на рис. 2 в виде распределения эквивалентных по Мизесу напряжений.

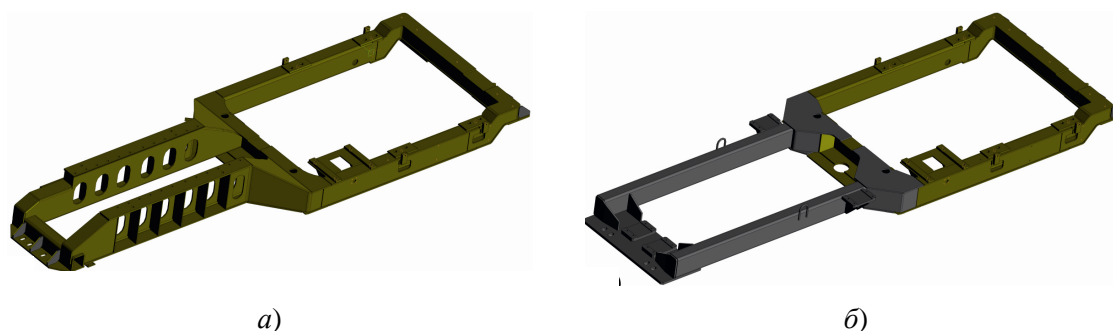


Рис. 1. Рама под силовую установку и гидропередачу:  
а – рама оригинальной конструкции; б – рама измененной конструкции

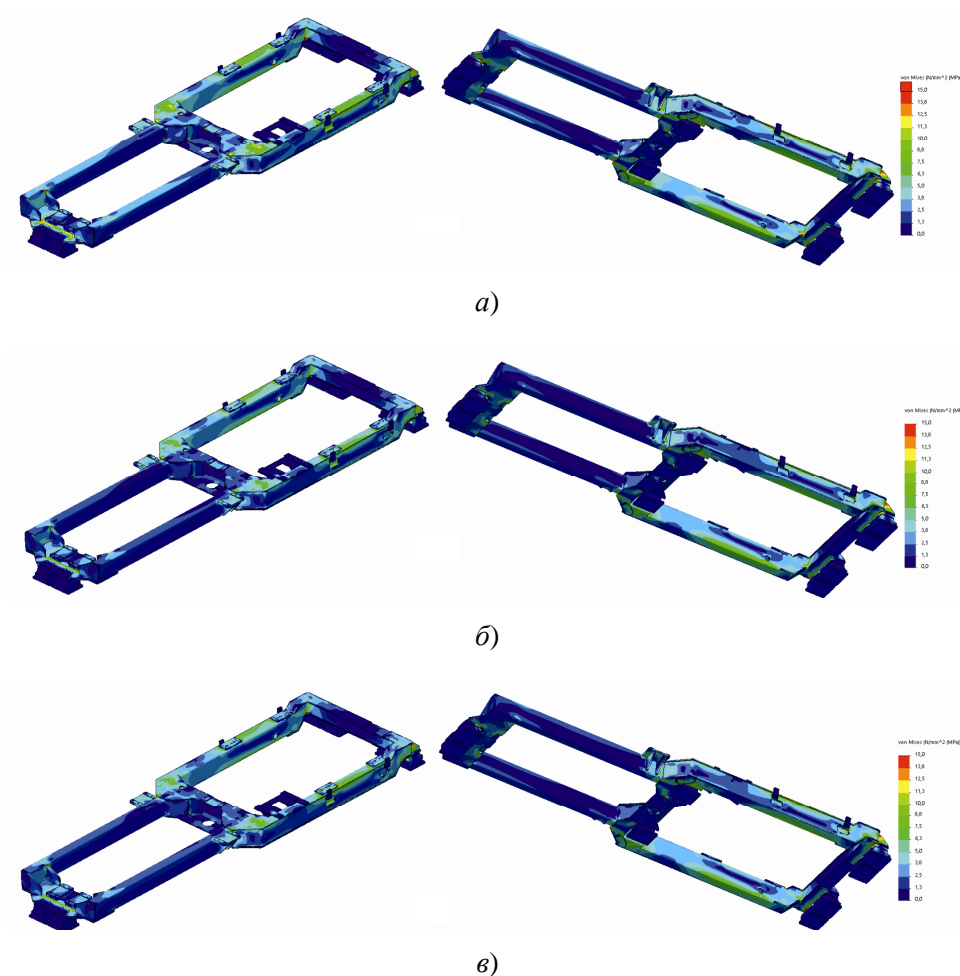


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений (МПа) в раме (для наглядности распределения значений эквивалентных напряжений, по всей конструкции измененной рамы приведены от 0 до 15 МПа): а – режим нагружения 1; б – режим нагружения 2; в – режим нагружения 3

Проведение натурных испытаний по определению характеристик прочности методом тензометрирования невозможно без грамотно разработанной схемы размещения тензорезисторов (контрольных точек). Схема разрабатывалась в соответствии с проведенными прочностными расчетами в нескольких режимах, а также с учетом опыта специалистов испытательного центра, проводящих испытания сварных рамных конструкций.

Испытания на соударение выполнялись путем соударения вагона-бойка с испытываемым головным вагоном в груженом состоянии, установленным перед вагонами подпора. Удар проводился в груженом состоянии. Масса груза, имитирующего сидящих пассажиров, составляла 4,76 т, масса тары с заправкой 66 % экипировки – 60 т. Скорость соударения регистрировалась путем измерения времени прохождения вагоном-бойком (тележкой) фиксированного расстояния, а сила соударения – тензометрической автосцепкой. Соударения осуществлялись с постепенным увеличением скорости (силы соударения). Расчетная (максимальная) сила соударения для вагона в соответствии с [3] составляет 2000 кН для передней консоли головного вагона. После окончания соударений был произведен заключительный осмотр испытываемого

образца с проверкой работоспособности автосцепного оборудования и установленных на вагоне механизмов. Неисправностей и повреждений не выявлено.

При проведении ходовых прочностных испытаний контролировались динамические напряжения в наиболее нагруженных сечениях элементов измененной рамы. Испытания проводились в груженом состоянии. Опытный поезд для проведения испытаний был загружен щебнем крупной фракции в мешках, исходя из условия 100 кг на одно пассажироместо, и был сформирован из двух моторных (головных) и двух немоторных вагонов. Требуемый массив экспериментальной информации по исследуемым величинам при ходовых прочностных испытаниях получен путем последовательного набора записей (реализации) процессов при движении дизель-поезда по прямым и кривым участкам пути, а также на стрелочном переводе во всем проектном диапазоне допускаемых эксплуатационных скоростей вплоть до конструкционной скорости, при движении прямым и обратным ходом.

Также регистрировались значения напряжений при трогании с места, переходные процессы (тяга – сброс тяги – выбег) для различных скоростей и участков движения. Непосредственно перед началом заездов на каждый из исследуемых участков снимались показания тензорезисторов и принимались за нулевое значение. Записи выполнялись с частотой дискретизации не менее 400 Гц и аппаратной фильтрацией частотой 40 Гц. Регистрация измеряемых процессов производилась кадрами различной длительности в зависимости от длины опытного участка пути и скорости движения.

При обработке результатов ходовых прочностных испытаний производилась систематизация зарегистрированных параметров в зависимости от характера пути и режимов движения опытного поезда и производилась отбраковка недостоверных данных.

По результатам проведенной расчетно-экспериментальной оценки установлено, что модернизированная рама под силовую установку и гидropередачу дизель-поезда типа ДР1Б удовлетворяет требованиям [3] в части соответствия прочности при действии максимальных продольных ударных сил (максимальное значение 212,5 МПа).

#### Литература

1. Оценка прочности несущих конструкций вагонов метрополитена с учетом прогнозирования их технического состояния / П. М. Афанаськов [и др.] // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2 (45). – С. 79–84.
2. Afanaskou, P. Estimation of the Residual Resource of a Dumping Wagon for Transportation of Bulky Cargo after Long-term Operation / P. Afanaskou, R. Charnin // Transport means 2021. – 2021. – Part I. – P. 402–405.
3. ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – Минск : Госстандарт, 2017. 35 с.

### **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ МЕТОДОМ ЭХОЛОКАЦИИ**

**Н. В. Бочаров, У. В. Ключко**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. С. Шепелева

*Рассмотрен принцип определения динамического уровня жидкости в затрубном пространстве нефтяных скважин при помощи эхометрии, а также приведен обзор основных неопределенностей, связанных с уровневными замерами, и пути их решения.*