

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ПУТЕОЧИСТИТЕЛЯ

Р. В. ГУЧИНСКИЙ

*ООО «ТМХ Инжиниринг»; Институт проблем машиноведения РАН,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Оценка прочности при соударении и определение коэффициентов запаса сопротивления усталости при ходовых испытаниях являются основными этапами прочностных сертификационных испытаниях экипажной части. Ключевым прочностным испытанием является испытание на соударение, при котором не задействуется путеочиститель. Путеочистителем оборудуются локомотивы, головные вагоны моторвагонного подвижного состава и специальный подвижной состав. Путеочиститель отличается по назначению и специфике деформирования от остальных конструкций кузова. Не подвергаясь переменным нагрузкам и находясь фактически в недеформируемом состоянии в течение всей эксплуатации подвижного состава, он вступает в работу в экстренных единичных случаях столкновения с препятствием. При этом локальные пластические деформации не приводят к потере несущей способности конструкции, что позволяет продолжить эксплуатацию после столкновения. После снятия нагрузки в областях пластических деформаций будут присутствовать остаточные напряжения, которые при дальнейших ударах той же интенсивности не приведут к увеличению общих напряжений из-за локального упрочнения материала.

Путеочиститель при столкновении в эксплуатации может испытывать значительные нагрузки, поэтому нормативными документами предусматривается расчетная оценка его прочности. Регламентируются два режима нагружения путеочистителя: продольной центральной и продольной боковой нагрузкой, значения которых зависят от конструкционной скорости подвижного состава. Допускаемые расчетные напряжения при статическом приложении нагрузок для конструкции путеочистителя составляют 85 % предела прочности. Для малоуглеродистых сталей, используемых в конструкции путеочистителя (например, сталь 09Г2С или 09Г2Д), это значение обычно превышает предел текучести, поэтому необходимо учитывать упругопластические свойства стали. Высокие значения допускаемых напряжений материала путеочистителя связаны с повышенными значениями предела текучести и предела прочности при увеличении скорости нагружения.

В существующих нормативных документах содержится неопределённость учета поведения материала при расчете путеочистителя. При использовании рекомендуемых значений допускаемых напряжений и предположении о линейном поведении материала прочность недооценивается, проектирование в этом случае приводит к избыточной массе конструкции. Цель настоящей работы состоит в оценке неопределенностей, возникающих при расчете прочности путеочистителя, а также в разработке способов их разрешения.

В работе рассматривались три модели поведения материала: истинная диаграмма деформирования, ее билинейная аппроксимация и диаграмма Прандтля, характеризующаяся отсутствием упрочнения после достижения предела текучести. Для оценки прочности использовалась одна из проектных конструкций путеочистителя электропоезда ЭП2Тв при приложении центральной продольной нагрузки различной интенсивности.

При нагрузке 300 кН (для конструкционных скоростей не менее 160 км/ч) эквивалентные напряжения в наиболее нагруженной области отличаются в 3,2 раза при линейном и нелинейном поведении материала с истинной диаграммой деформирования (рисунок 1). Таким образом, условие прочности для упругопластического поведения материала оказывается выполненным, при этом эквивалентные упругопластические деформации достигают 2,1 %. Влияние пластичности начинает проявляться при нагрузке около 72 кН. Между тем, если рассматривать линейное поведение материала, допускаемая нагрузка составит около 95 кН.

Для значений нагрузки выше 120 кН отличия в напряжениях при использовании различных аппроксимаций диаграммы деформирования не превышают 5 %. Это позволяет адекватно учи-

тивать упругопластическое поведение материала в инженерных расчетах с использованием билинейной диаграммы.

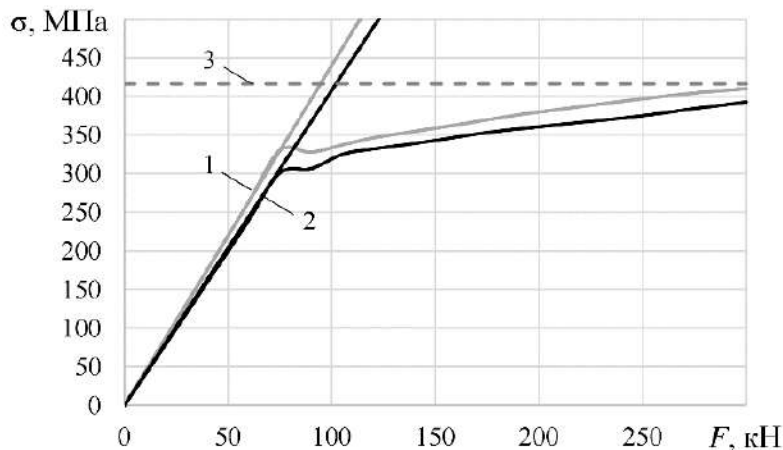


Рисунок 1 – Эквивалентные напряжения в зависимости от продольной нагрузки при линейном и нелинейном поведении материала с истинной диаграммой деформирования в отверстии скобы (1) и соединении кронштейна с отвалом (2) и допускаемые напряжения (3)

С увеличением внешней нагрузки в случае линейного поведения материала напряжения и деформации увеличиваются с равной скоростью. В этом случае контроль уровня напряжений эквивалентен контролю деформаций, который осуществляется при тензометрии. При развитии пластических деформаций степень изменения деформаций существенно превышает скорость изменения напряжений. Например, при возрастании нагрузки со 150 до 300 кН напряжения увеличиваются на 14 %, а деформации – в 4,3 раза. Поэтому при неупругих деформациях целесообразно контролировать состояние материала с использованием деформационного критерия. Такой критерий может устанавливать допускаемый уровень деформаций, например, по отношению к предельному равномерному относительному удлинению, после достижения которого поведение материала становится нестабильным. Для обеспечения консервативности расчета возможно использование диаграмм деформирования с заниженным параметром упрочнения и коэффициента запаса по деформациям около 10. Например, для истинной диаграммы уровень допускаемой деформации может быть принят около 1 %. Таким образом, для данного материала допускаемая нагрузка на путеочиститель составит 195 кН, уровень напряжений при этом составит 1,1 предела текучести или 0,77 предела прочности. Для билинейной аппроксимации допускаемая нагрузка в этом случае составляет 180 кН, для диаграммы Прандтля – 159 кН, что в 1,7–2 раза превышает допускаемую нагрузку для линейно-упругого материала.

Альтернативным подходом может быть оценка прочности по допускаемым напряжениям с использованием билинейной аппроксимации диаграммы с повышенным наклоном участка упрочнения. Наклон должен выбираться таким образом, чтобы участок упрочнения находился на графике выше участков истинных диаграмм для используемых в конструкции путеочистителя сталей. В этом случае напряжения будут переоцениваться, однако не так значительно, как в предположении линейного поведения материала, а деформации – недооцениваться.

При использовании допускаемых напряжений для оценки прочности необходимо конкретизировать в существующих нормативных документах способ учета упругопластических деформаций.

Выбор расчетной схемы для оценки прочности конструкций путеочистителя влияет на результаты расчета напряжений. При рассмотрении схемы с абсолютно жесткими креплениями кронштейнов путеочистителя (без учета податливости конструкции кузова) недооценка напряжений в отдельных элементах достигает 10 %, а переоценка – 40 % для рассмотренной конструкции. Поэтому при оценке прочности путеочистителя съемной конструкции необходимо учитывать в расчетной схеме податливость его креплений.