

А. В. СУЛТАН, к.т.н., доцент, ДИИТ (Украина);
Б. Н. ТОВТ, ДИИТ (Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРОНШТЕЙНА КРЕПЛЕНИЯ НАКЛОННОЙ ТЯГИ К БУФЕРНОМУ БРУСУ ЭЛЕКТРОВОЗА 2ЕЛ5

Виконано дослідження й аналіз напружено-деформованого стану кронштейна кріплення похилої тяги до буферного бруса електровоза 2ЕЛ5. За результатами дослідження запропоновано модернізацію конструкції кронштейна.

Выполнено исследование и анализ напряжённо-деформированного состояния кронштейна крепления наклонной тяги к буферному брусу электровоза 2ЕЛ5. По результатам исследования предложена модернизация конструкции кронштейна.

The research and analysis of the stressed-and-strained state of bracket of fastening of a sloping rod to a buffer squared beam of electric locomotive 2ЕЛ5 is executed. On the basis of research results the modernization of bracket design is offered.

Постановка задачи исследования

Электровозы 2ЕЛ5 производства ОАО «Лугансктепловоз» является аналогом российских электровозов 2ЭС5К «Ермак», которые эксплуатируются в настоящее время на Южной железной дороге (локомотивное депо ст. Котовск). За время эксплуатации электровозов 2ЭС5К на путях «Укрзалізниця» неоднократно наблюдались усталостные трещины на кронштейнах крепления наклонной тяги к буферному брусу кузова электровоза. Поэтому, не смотря на положительные результаты ходовых

прочностных испытаний электровоза 2ЕЛ5 в отношении выше указанного узла крепления наклонной тяги, было принято решение о проведении теоретического расчета его на прочность.

Исследуемая конструкция моделировалась в системе автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks 2009.

На рис. 1 представлена конечно-элементная расчетная схема тягового кронштейна с частью буферного бруса, составленная из объемных элементов.

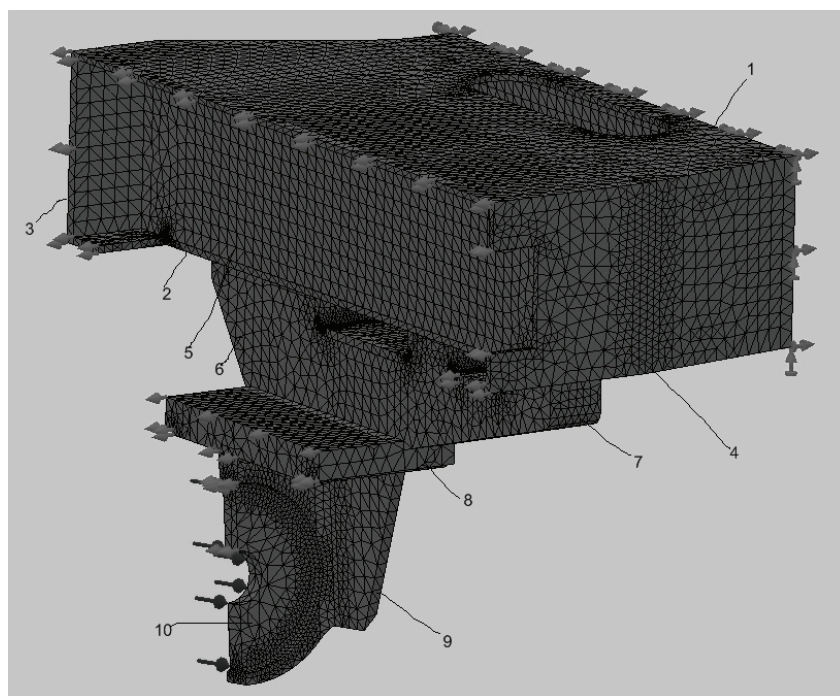


Рис. 1. Расчётная схема тягового кронштейна с частью буферного бруса

Буферный брус состоит из верхнего (позиция 1 на рис. 1) и нижнего (2) листов толщиной соответственно 12 и 14 мм, и связующих их восьми продольных вертикальных ребер (5) толщиной 20 мм. Спереди буферный брус обшит листом (4) толщиной 14 мм, сзади – листом (3) толщиной 20 мм. К нижнему листу буферного бруса приварен кронштейн наклонной тяги. Верхняя часть его состоит из четырех продольных вертикальных листов (6) толщиной 12 мм, которые попарно заварены двумя полосами (7) толщиной 16 мм. К нижним горизонтальным поверхностям полос восьмью болтами (по четыре болта к каждой полосе) прикреплена плита (8) толщиной 25 мм, к которой приварены два вертикальных продольных ребра (9) толщиной 20 мм. К плите и ребрам приварена наклонная сложной конфигурации литая деталь (10), образующая с вертикалью такой же угол, как и наклонная тяга с горизонталью, на которую передается через резинометаллический блок продольная сила посредством наклонной тяги. Все вышеуказанные элементы конструкции буферного бруса и кронштейна изготовлены из прокатной стали 09Г2С, литая деталь – стали 20Л. На продольной вертикальной плоскости задавалось условие симметрии, а на параллельной ей плоскости, ограничивающей буферный брус, - условие защемления. Продольное усилие, передаваемое наклонной тягой, на тяговый кронштейн распределялось равномерно по поверхности контакта литой детали с резинометаллическим блоком.

Исследование НДС существующего кронштейна наклонной тяги

Расчет тягового кронштейна производился на два вида нагружения:

- ✓ аварийное соударение с ускорением 3g на тележке;
- ✓ длительный режим тяги с силой 424 кН.

Согласно [1], инерционные силы для расчета деталей связи кузова с тележкой определялись исходя из ускорения 3g массы тележки, и прикладывались вдоль оси пути. Так как, масса тележки равна 21,3 т, поэтому расчет производился на силу 626 кН, передаваемую посредством наклонной тяги и исследуемого кронштейна на буферный брус электровоза.

На рис. 2, 3 и 4 приведены поля напряжений, рассчитанные по IV теории прочности, в конструкции тягового кронштейна при аварийном соударении. Как видно из рисунка 2, в конструкции тягового кронштейна в нижней части стыковки литой детали с вертикальными реб-

рами (зона 1п) имеется концентратор напряжений, в котором расчетное напряжение 566 МПа значительно превышает предел текучести стали 09Г2С $\sigma_T = 345$ МПа. Также из рисунков 2 и 3 видно, что хотя в конструкции тягового кронштейна имеются и другие концентраторы напряжений, но уровень напряжений в них гораздо меньше предела текучести. Так в зоне 2 расчетное напряжение составило 198 МПа, в зоне 3 соответственно – 235 МПа, в зоне 4 – 135 МПа и в зоне 5 – 144 МПа.

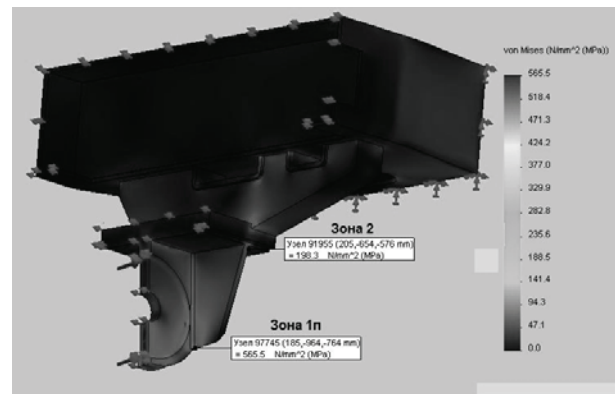


Рис. 2. Поля напряжений (МПа) в тяговом кронштейне при аварийном соударении (вид спереди)

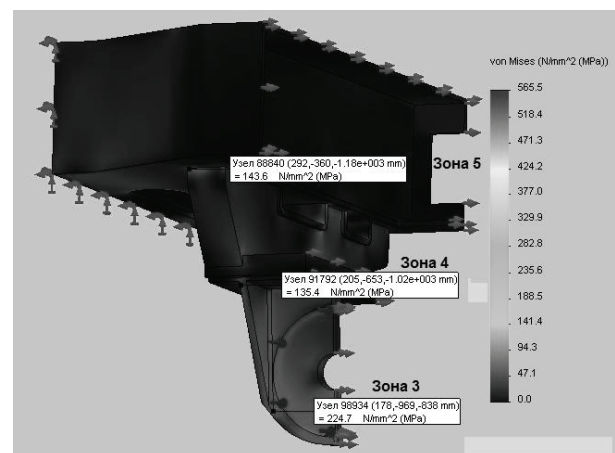


Рис. 3. Поля напряжений (МПа) в тяговом кронштейне при аварийном соударении (вид сзади)

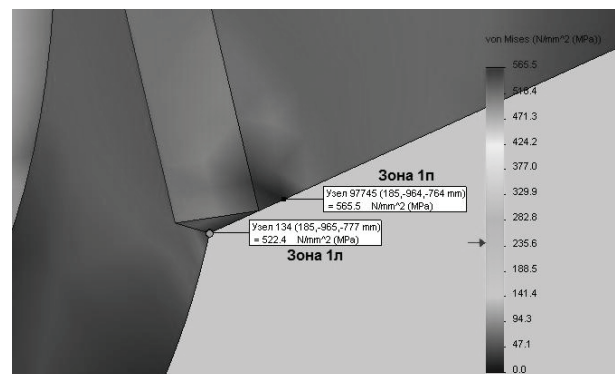


Рис. 4. Поля напряжений (МПа) в тяговом кронштейне при аварийном соударении

На рис. 4 зона 1 показана более подробно. Из рисунка видно, что в литой детали также имеется концентратор напряжений (зона 1л). Величина расчетного напряжения в ней составила 522 МПа, что в 2,5 раза превышает предел текучести для стали 20Л $\sigma_r = 216$ МПа.

С целью оценки усталостной прочности тягового кронштейна, также производился расчет на длительный режим тяги. Сила тяги двух секций электровоза 2ЕЛ5 при длительном режиме тяги равна 424 кН. Поэтому при расчете тягового кронштейна к нему прикладывалась сила 106 кН, реализуемая одной тележкой электровоза. В часовом режиме тяги две секции электровоза 2ЕЛ5 развивают силу тяги 464 кН.

Как и при расчете на аварийное соударение, максимальные напряжения возникают вместе примыкания литой детали к вертикальному ребру тягового кронштейна. В вертикальном ребре (зона 1п) расчетное напряжение составило 94 МПа, в литой детали (зона 1л) - 87 МПа. В других зонах напряжения оказались равными: зона 2 - 33 МПа, зона 3 - 37 МПа, зона 4 - 22 МПа и зона 5 - 23 МПа.

Исследование НДС модернизированного кронштейна наклонной тяги.

На рис. 5 приведен вид сбоку предлагаемого модернизированного варианта конструкции кронштейна крепления наклонной тяги к буферному брусу электровоза 2ЕЛ5. На рисунке пунктирной линией показан контур вертикального ребра существующего тягового кронштейна.

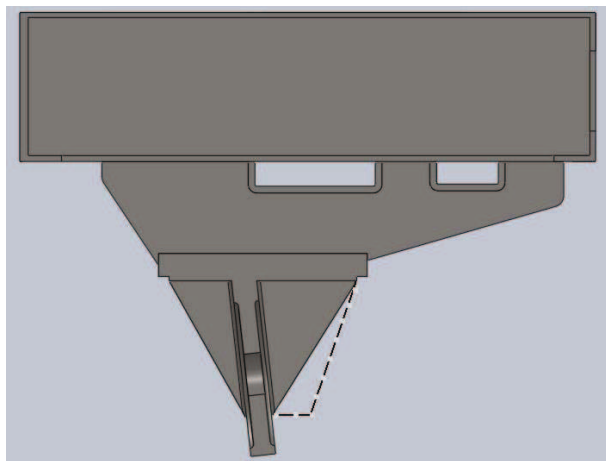


Рис. 5. Модернизированный вариант конструкции тягового кронштейна (вид сбоку)

На рис. 6, 7 и 8 приведены поля напряжений, рассчитанные по IV теории прочности, в конструкции модернизированного тягового кронштейна при аварийном соударении. Из ри-

сунков видно, что в месте стыковки вертикального ребра с литой деталью напряжения снизились в вертикальном ребре (зона 1п) до 320 МПа, в литой детали (зона 1л) до 270 МПа. В остальных концентраторах (зоны 2-5) напряжения остались на прежнем уровне.

Расчетные напряжения в модернизированном тяговом кронштейне при длительном режиме тяги составили: в зоне 1п - 56 МПа, в зоне 1л - 47 МПа. В зонах 2-5 напряжения изменились незначительно.

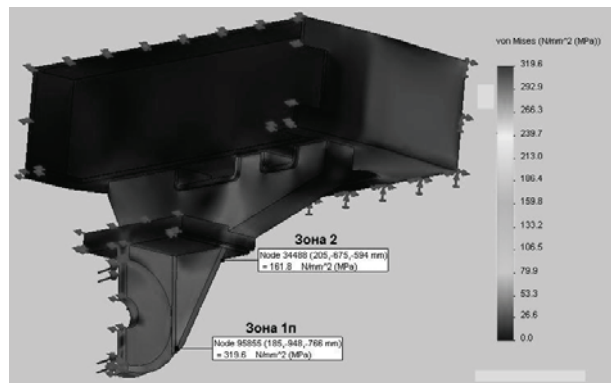


Рис. 6. Поля напряжений (МПа) в модернизированном тяговом кронштейне при аварийном соударении

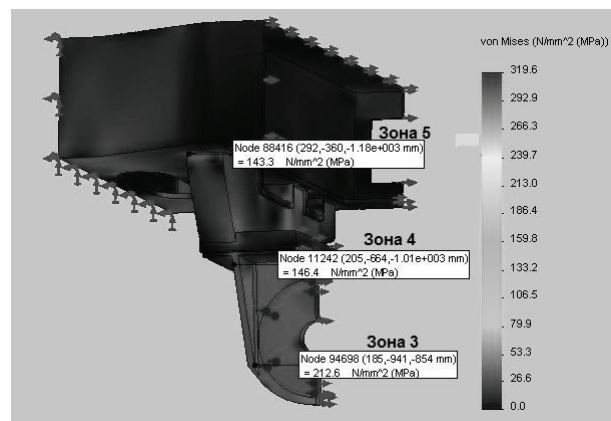


Рис. 7. Поле напряжений (МПа) в модернизированном тяговом кронштейне при аварийном соударении (вид сзади)

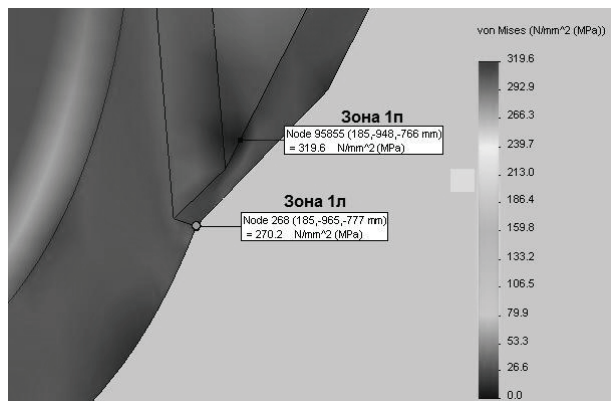


Рис. 8. Поле напряжений (МПа) в модернизированном тяговом кронштейне при аварийном соударении

Анализ и сопоставление результатов расчётов существующего и модернизированного тяговых кронштейнов электровоза 2ЭЛ5.

Результаты выше описанных расчетов сведены в таблице 1. Анализ результатов расчетов, позволяет сделать вывод, что предлагаемая модернизация кронштейна наклонной тяги позво-

ляет решить проблему по несущей способности тягового кронштейна, хотя напряжение 270 МПа в литой детали при I расчетном режиме не удовлетворяет условиям норм [1]. Прочность можно обеспечить, если изготовить эту деталь из прокатной стали 09Г2С.

Таблица 1

Результаты расчета существующего и модернизированного тягового кронштейна электровоза 2ЭЛ5

Режим нагружения	Конструкция кронштейна	Сила в наклон. тяге, кН	Напряжение, МПа					
			Зона 1п	Зона 1л	Зона 2	Зона 3	Зона 4	Зона 5
Расчётный 3g на тележке	Существующая	-626	566	522	198	235	135	144
	Модернизированная	-626	320	270	162	213	146	143
Длительный сила тяги 424 кН	Существующая	-106	93,6	86,5	32,8	37,2	22,4	23,8
	Модернизированная	-106	56	47	26	37,4	23,7	23,5

Результаты расчетов для длительного режима тяги, приведенные в таблице 1, использовались совместно с данными ходовых прочностных испытаний при определении коэффициентов запаса усталостной прочности тягового кронштейна [2].

С точки зрения усталостной прочности, коэффициенты запаса усталостной прочности модернизированного кронштейна наклонной тяги представляют интерес в зонах 1п и 1л, где напряжения снизились и соответственно повысились коэффициенты запаса на усталость.

Минимальные коэффициенты усталостной прочности n_v для модернизированного кронштейна наклонной тяги повысились:

- ✓ в зоне 1п - с 2,89 до 4,84;
- ✓ в зоне 1л - с 2,10 до 3,87.

Выводы по результатам исследований

Прочность по несущей способности кронштейна крепления наклонной тяги к буферному брусу электровоза 2ЭЛ5 не удовлетворяет требованиям норм [1], так как, по результатам расчетов, при аварийном соударении в вертикальном ребре и литой детали кронштейна напряжения превышают пределы текучести.

Рекомендации

1. Несущую способность кронштейна крепления наклонной тяги можно обеспечить, проведя его модернизацию. Изменение формы вертикального ребра в месте приварки к литой детали (см. рис. 5) позволяет снизить напряжения:

- ✓ в зоне 1п с 566 МПа до 320 МПа при допустимом напряжении для стали 09Г2С $[\sigma] = 0.95\sigma_T = 0.95 \times 345 = 328$ МПа;
- ✓ в зоне 1л с 522 МПа до 270 МПа при допустимом напряжении для стали 20Л $[\sigma] = 0.9\sigma_T = 0.9 \times 216 = 194$ МПа.

Так как условие прочности по 1-ому расчетному режиму для литой детали модернизированного кронштейна также не выполняется, эту деталь следует изготавливать из прокатной стали 09Г2С.

2. В пользу модернизации конструкции кронштейна наклонной тяги свидетельствует также тот факт, что в случае её проведения повысится коэффициент запаса усталостной прочности n_v в зоне 1л тягового кронштейна с 2,1 до 3,87 при допустимом значении 2,0.

3. Так как кронштейн наклонной тяги является съёмной деталью, предлагаемую модернизацию можно провести в условиях депо ст. Котовск на уже эксплуатирующихся электровозах 2ЭЛ5 во время ремонтных и профилактических работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. НОРМЫ для расчёта и оценки несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм [Текст] / ВНИИЖТ. – М., 1998. – 145 с.
2. Результаты прочностных испытаний электровоза 2ЭЛ5 [Текст] / Е. Блохин и др. – ДИИТ, 2009.

Поступила в редколлегию 29.07.2009