



МРНТИ 73.01.61

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-9-21>

Научная статья

Метод расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения

Галина Хромова¹, Даврон Раджибаев¹, Адхам Мавлянов¹

Ташкентский государственный университет транспорта, Ташкент, Узбекистан

(E-mail: davronmail@bk.ru)

Аннотация. В данной статье предлагается новый обобщенный аналитико-численный метод расчета на динамическую прочность несущего каркаса рамы локомотива сложной конфигурации в предположении ее колебаний по схеме балочного типа с упругим защемлением концов при действии гармонической нагрузки, при движении электровоза по пути с периодической стыковой неровностью, при повышенных скоростях движения.

Далее представлены алгоритм расчета, блок-схема для моделирования напряженно-деформированного состояния несущего каркаса рамы локомотива сложной конфигурации в виде упругого стержня переменного сечения с переменной массой, изгибной и продольной жесткостью.

Приведены результаты численного исследования по напряженно-деформированному состоянию несущего каркаса рамы кузова локомотива с учетом установки усиливающих накладок при модернизации и выполнено сопоставление результатов математической модели рамы кузова локомотива сложной конфигурации с моделью, построенной по методу конечных элементов в программном продукте Solid Works.

С учетом результатов экспериментальных исследований при натуральных динамических испытаниях рам тележек и главных рам кузовов электровозов ВЛ-80с при движении их по рельсовому пути при различных режимах нагружения проводится научное обоснование способа модернизации рам тележек и главных рам кузовов данного типа локомотивов при проведении капитально-восстановительного ремонта.

Предложен инженерный метод аналитико-численного расчета, который позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированным усиленным несущим каркасом на базе программ для численного расчета, на которые получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан (№ DGU 07664, 31.04.2020 г. и № DGU 10286 от 24.02.2021 г.).

Ключевые слова: электровоз, главная рама кузова электровоза, рама тележки, динамические нагрузки, напряженно-деформированное состояние главных рам и рам тележек электровозов, коэффициент запаса усталостной прочности, капитально-восстановительный ремонт главных рам электровозов

Поступила 17.03.2025. Доработана 17.03.2025. Одобрена 26.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

¹автор для корреспонденции

Введение

В современной иностранной патентной и научно-технической литературе широко исследуются проблемы повышения надежности и прочности рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации в процессе их проектирования, эксплуатации и модернизации [1÷5]. Очевидно, что общее напряженное состояние главной рамы кузова и рам тележек локомотивов, а также их несущих эквивалентных каркасов будет значительным образом зависеть от продольных, поперечных и крутильных динамических составляющих тяговых усилий, возникающих в рамных каркасах сложной конфигурации, а также рациональной конструкции установки усиливающих накладок при модернизации и контактных напряжений, возникающих при резких перепадах температур. Эти факторы вызывают снижение общего срока эксплуатации локомотивов в 1.2-1.5 раза.

В мире исследования в области анализа напряженно-деформированного состояния конструкций транспортных средств проводятся в научных центрах, университетах и научно-исследовательских институтах ведущих стран мира, в том числе: Wessex Institute of Technology (Великобритания), University of Naples di Napoli (Италия), Ryerson University (Канада), University of La Coruna (Испания), Saga University, (Япония). В странах СНГ над поставленными вопросами работали авторитетные научные школы и крупные ученые Российского университета транспорта (МИИТ) (Россия), Петербургского государственного университета путей сообщения (Россия), Московского авиационного института, Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта «ВНИИЖТ», ОАО «ВНИКТИ», ОАО «Российские железные дороги», Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Ростовского государственного университета путей сообщения (Россия), Алматинского университета энергетики и связи (АУЕС) (Казахстан), Института цифровой экономики и права (ИЦЕиП) (Казахстан), Ташкентского государственного транспортного университета (Узбекистан) и других образовательных и научных центрах инженеров железнодорожного транспорта. В решении сложных задач, связанных с изучением прочности и надежности рам тележек и главных рам кузовов подвижного состава внесли Российский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС) и Российский научно-исследовательский институт вагоностроения (НИИВ), которые проводили теоретико-экспериментальные исследования по данной проблеме [1-7].

В мире для усовершенствования методов расчета напряженно-деформированного состояния рам подвижного состава для транспортного машиностроения и разработке технических средств их функциональной диагностики характерно одновременное использование методов теоретических исследований с численной обработкой результатов на ЭВМ и данных эксперимента по напряженно-деформированному состоянию конструкций с выполнением расчетов на динамическую прочность. При этом широко используются численные технологии, в том числе применение среды программирования *MATHCAD* при расчетах механической части локомотивов и метода граничных элементов (the Boundary Element Technology) при подборе рациональных параметров узлов и деталей механической части локомотивов [1,2,3,5,6].

В Республике Узбекистан проблемами динамического расчета на прочность рам подвижного состава занимались академик АН РУз, профессор, д.т.н. А.Д. Глущенко, профессора Ш.С. Файзибаев, Г.А. Хромова, А.А. Шермухамедов, Р.В. Рахимов, З.Г. Мухамедова, О.Р. Хамидов, Д.О. Раджибаев, а также их ученики [8,9,11-15].

Вместе с тем, в существующих научно-исследовательских работах не уделено достаточного внимания усовершенствованию методов расчета напряженно-деформированного состояния рам подвижного состава для транспортного машиностроения и разработке технических средств их функциональной диагностики с целью продления срока полезной эксплуатации. Наличие изгибных и крутильных колебаний кузовов, их несущих рам, рессорного подвешивания и ходовой части приводит к резкому снижению показателей усталостной прочности и надежности конструкций. В связи с этим при проводимой модернизации подвижного состава должна быть обеспечена достаточная жесткость усиливаемых механических узлов и деталей, чтобы обеспечить их надежную эксплуатацию в последующие 8-10 лет в подразделениях АО «Узбекистон темир йуллари».

В статье впервые предложен инженерный метод аналитико-численного расчета, который позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированным усиленным несущим каркасом на базе программ для численного расчета, на которые получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан (№ DGU 07664, 31.04.2020 г. и № DGU 10286 от 24.02.2021 г.) [10,11], базирующийся на результатах численного расчета, моделирования и симуляции в программных продуктах *Mathcad 15* и *Solid Works*, а также сравнительном анализе данных теоретических и экспериментальных исследований.

Методология

Объектом исследования являются модернизируемая рама тележки и главная рама кузова электровозов, эксплуатируемых на АО «Узбекистон темир йуллари», конкретно для электровозов ВЛ80 и ВЛ80с.

Предметом исследования являются методы математического моделирования колебаний рам тележек и главных рам кузовов электровозов с учетом воздействия продольных, поперечных и крутильных составляющих нагрузок при повышенных скоростях движения, а также влияния контактных динамических и тепловых воздействий в процессе капитально-восстановительного ремонта.

В данной статье использованы методы матричного анализа и имитационного моделирования, математической статистики, а также применены численные методы: метод Фурье, метод кусочно-линейной аппроксимации, метод итераций и метод граничных элементов (the Boundary Element Technology). Численные исследования выполнены на языке C# и в среде программирования *MATHCAD 15* [10,11]. Выполнено сопоставление результатов математической модели рамы кузова локомотива сложной конфигурации с моделью, построенной по методу конечных элементов в программном продукте *Solid Works*.

Методика проведения экспериментальных исследований определялась совокупностью правил применения стандартных принципов для осуществления натуральных испытаний, которые заключались в исследовании внешних воздействий, использовании соответствующего оборудования и аппаратуры (вибродатчиков и тензодатчиков), применении автоматизированного комплекса регистрации и обработки данных эксперимента вероятностно-статистическими методами (Analyzer 2020). Кроме того, предлагаемая нами методика испытаний базируется на методике проведения натуральных испытаний электровозов, принятой одинаковой для всех стран СНГ [5,6,7].

По результатам данных численного расчета в среде программирования MATHCAD 15 для модернизированного сечения узла 1 усиления кронштейнов на главной раме кузова электровоза ВЛ-80 установлено, что суммарные напряжения в наиболее нагруженном сечении не превышают предела прочности и равны $\sigma_{\text{сум}}=123,71$ МПа при конструкционной скорости $V_{\text{ЭК}}=110$ км/час,

при этом предел прочности для данного сечения 1 равен

$$n = \frac{[\sigma_{\text{доп}}]}{\sigma_{\text{сум}}} = \frac{240}{123,71} = 1,94. \quad (1)$$

Коэффициент запаса прочности по расчету получился больше 1,6, т.е. данное сечение 1 проходит условие по запасу прочности.

При этом, если даже учесть старение материала главной рамы кузова, когда по формуле (2) возникающие суммарные напряжения должны быть

$$(\sigma_y + \sigma_{\text{СТ}}) \leq [\sigma] = 218,18 \text{ МПа}, \quad (2)$$

коэффициент запаса прочности с учетом старения материала будет равен

$$n_{\text{стар}} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{сум}}} = \frac{218,18}{123,71} \approx 1,764. \quad (3)$$

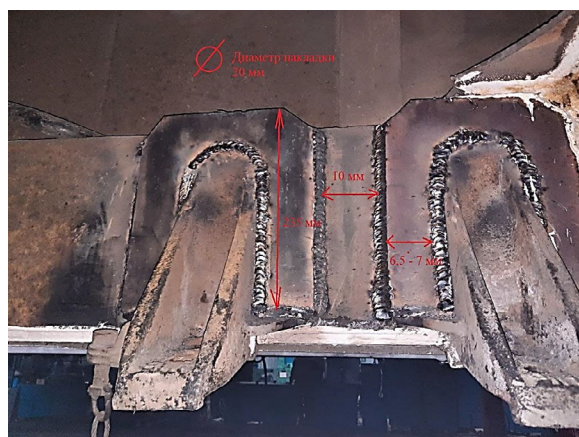


Рисунок 1. Модернизация узла 1 усиления кронштейнов главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 с установкой усиливающих накладок, выполненная на УП «O'ztemiryo'Imashta'mir»

При проверке усталостной прочности было учтено, что элементы главной рамы кузова электровоза, подвергающиеся переменному асимметричному напряжению, должны иметь дополнительный запас прочности из-за наличия концентраторов напряжений и ряда других причин. При этом предел выносливости снижается за счет уменьшения в k_σ раз переменной составляющей предельно допустимого напряжения. Коэффициент снижения усталостной прочности детали по сравнению с образцом $k_\sigma = 2,4$.

Коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_0} = 0,6, \quad (3)$$

где $\sigma_T = 200$ МПа, $\sigma_0 = 250$ МПа, $\sigma_m = 69,778$ МПа

При этом предел выносливости

$$\sigma_{\text{ВЫН}} = \frac{\sigma_T}{k\sigma} + \left(1 - \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_T k\sigma}\right) \sigma_m \quad (4),$$

где согласно численного расчета $\sigma_{\text{ВЫН}} = 131,36$ МПа.

Запас усталостной прочности с учетом максимального напряжения

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{\text{ВЫН}}}{\sigma_m + \sigma_{\text{аПР}}} = 1,427, \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{аПР}} = 22,216$ МПа – приведенное амплитудное напряжение, которое вычисляется по формуле

$$\sigma_{\text{аПР}} = 2,17 \sqrt[6]{(\sum_i R_i)}, \quad (6)$$

где R_i – это приведенное амплитудное напряжение расчетного асимметричного цикла динамического нагружения деталей рамы, вычисляется согласно численного расчета в программе, составленной для среды программирования *MathCad 15* [9,12,15].

В результате проведенных численных исследований по сечениям главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 установлено, что с учетом проведенной модернизации путем установки усиливающих накладок усталостная прочность достаточная, так как она превышает минимальное значение 1,4.

Результаты и обсуждение

На основании проведенных аналитико-численных исследований [10÷15] и сравнительного анализа с проведенными нами экспериментальными исследованиями [9,12,15] можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Разработан обобщенный метод расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения с учетом влияния контактных динамических и тепловых нагрузок, а также продольных, поперечных и крутильных составляющих тяговых усилий при повышенных скоростях движения, конкретно, для главной рамы и рам тележек электровоза ВЛ-80 [9÷15].

2. В результате проведенного численного расчета с использованием среды программирования MATCAD 15 [10,11] получены максимальные напряжения в расчетных режимах, определяющие прочность боковин рамы кузова электровоза ВЛ-80 после проведения с усилением путем установки усиливающих накладок, которые сведены в таблицу 1.

Максимальные напряжения в расчетных режимах главной рамы электровоза ВЛ-80 после проведения модернизации с усилением путем установки усиливающих накладок

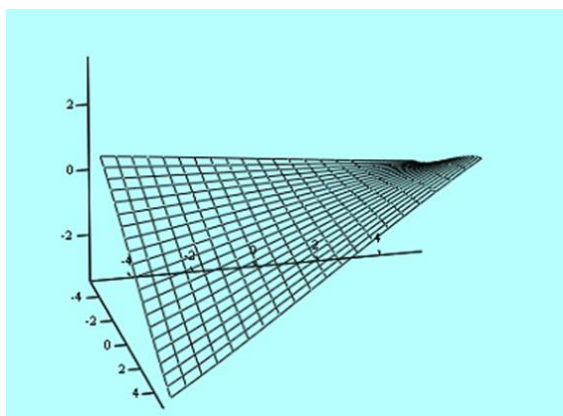
Таблица 1.

№№ п/п	Наименование режима		Максимальное напряжение, МПа
1.	Весовое нагружение		- 21,5 МПа
2.	Одиночная тяга	Дополнительные напряжения	+ 49,6
		Суммарные с весовыми	+ 66,0
3.	Двойная тяга	Дополнительные напряжения	+97,5
		Суммарные с весовыми	+114,0
4.	Сжатие силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	-198,5
		Суммарные с весовыми	-211,8
5.	Растяжение силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	+198,5
		Суммарные с весовыми	+215,3
6.	Удар силой 250 т (2.5 МН) в автосцепку	Дополнительные напряжения	-174,8
		Суммарные с весовыми	-198,1
7.	Рывок силой 250 т (2.5 МН) на автосцепке	Дополнительные напряжения	+174,8
		Суммарные с весовыми	+174,8

3. На рисунке 2 представлен график изменения динамических перемещений сечений главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 стандартной конструкции при изгибных колебаниях во времени (в середине пролета).

4. Для сопоставления результатов математической модели рамы кузова локомотива сложной конфигурации с моделью, построенной по методу конечных элементов, был выбран программный продукт от компании *Solid Works*. По итогам моделирования напряженно-деформированного состояния рамы кузова электровоза ВЛ80с были определены значения максимальных напряжений в опасных зонах (рисунок 3).

$W_{изгР}$ см



X, м

Рисунок 2. График изменения динамических перемещений сечений рамы кузова электровоза ВЛ-80 стандартной конструкции при изгибных колебаниях во времени (в середине пролета).

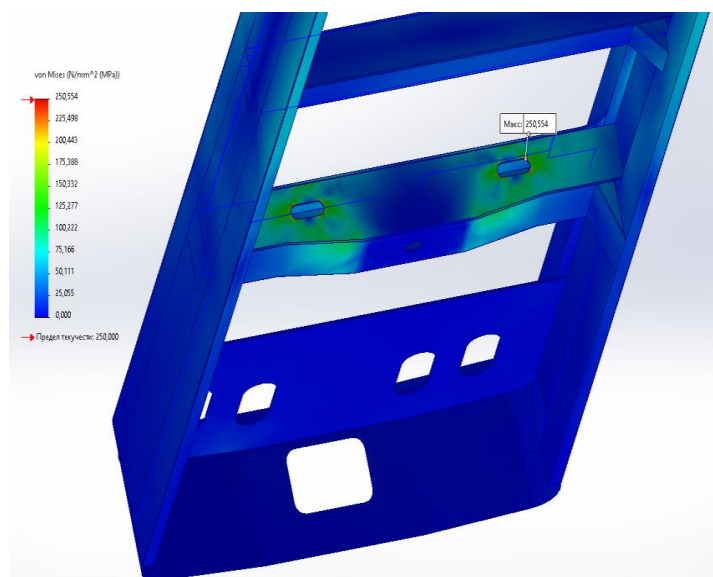


Рисунок 3. Напряженная зона рамы электровоза ВЛ-80с, соответствующая сечению D.

Расхождения значений, полученных в результате моделирования методом конечных элементов (МКЭ) и разработанным методом на основе кусочно-линейной аппроксимации (МКЛА)

Таблица 2.

№№ п/п	Наименование режима		Максимальное напряжение, определенное по МКЛА, МПа	Максимальное напряжение, определенное по МКЭ, МПа	Расхождение, %
1.	Сжатие силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	-198,5	-215,35	7.2%
		Суммарные с весовыми	-211,8	-218,2	3%

2.	Растяжение силами (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	+198,5	+216,3	8%
		Суммарные с весовыми	+215,3	+238,3	10%

При сопоставлении результатов двух методов было определено, что значения суммарных напряжений в наиболее нагруженных сечениях главной рамы электровоза практически идентичны (рисунок 3). Расхождения по выбранным сечениям не превышают значения в 7÷9%. Результаты приведены в таблице 2.

Заключение

На основе проведенных аналитических, численных и экспериментальных исследований получены следующие основные научные и прикладные результаты:

1. На основании расчётных исследований, выполненных в среде программирования MATHCAD 15, по определению фактически достигаемых напряжений в материале сварных швах деталей главной рамы кузова, в которых возникали усталостные трещины, были подобраны рациональные размеры для усиливающих накладок со сложной конфигурацией для деталей главных рам кузовов электровозов ВЛ-80.

2. На основании данных обобщающей таблицы 1 можно сделать следующие выводы:
– максимальные значения суммарных напряжений, вычисленные для возможных наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузки расчетных режимов нагружения главной рамы электровоза ВЛ-80, не превышают допускаемые;

– усиление главной рамы кузова путем установки усиливающих накладок приводит к снижению максимальных напряжений по сравнению с существующей конструкцией на 10÷15% в зависимости от режима нагружения.

3. Крутильные напряжения в раме кузова электровоза, согласно экспериментальным данным, очень малы, не фиксировались измерительной аппаратурой [9,12]. В связи с этим они не учитывались нами в расчете на динамическую прочность.

4. Предложен инженерный метод аналитико-численного расчета, который позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированным усиленным несущим каркасом на базе программ для численного расчета, на которые получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан (№ DGU 07664, 31.04.2020 г. и № DGU 10286 от 24.02.2021 г.) [10,11].

5. Разработаны новые Инструкции по усилению рам тележек и главной рамы кузовов электровозов серии ВЛ-80 при капитально-восстановительном ремонте с продлением срока службы в условиях УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир». Внедрение данных Инструкций уменьшает вероятность аварийных разрушений рам тележек и деталей главных рам кузовов электровозов серии ВЛ-80 и увеличивает срок их полезной эксплуатации на 8-10 лет.

6. Разработан новый способ модернизации локомотивов при капитально-восстановительном ремонте с целью улучшения динамических характеристик, повышения прочности, надежности и продления срока полезного использования. При этом в результате внедрения предлагаемого способа модернизации для 9-ти секций электровозов ЗВЛ80с получен экономический эффект в размере 678 миллионов сум в течение 2022 года.

Вклад авторов

Галина Хромова – сбор и анализ данных, написание текста, дизайн;

Даврон Раджибаев – концепция, интерпретация результатов работы;

Адхам Мавлянов – критический пересмотр, редактирование.

Список литературы

1 **Spiryagin, M. & Cole C. & Sun, Y.Q. & McClanachan, M. & Spiryagin, V. & McSweeney, T.** Design and Simulation of Rail Vehicles. Ground Vehicle Engineering series. 2014. CRC Press. - 337 p.

2 **Popp, K. & Schiehlen, W.** System Dynamics and Long-Term Behaviour of Railway Vehicles, Track and Subgrade. 2013. Springer Science and Business Media. - 488 p.

3 **Wang, K. & Huang, C. & Zhai, W. & Liu, P. & Wang, S.** Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation. Journal of Traffic and Transportation Engineering. Vol. 1. No. 3. 2014. P. 209-220.

4 **Киселев И.П.** Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учеб. пособие: в 2 т./ И.П. Киселёв и др.; под ред. И.П. Киселёва.-М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. Т.2. - 372 с.

5 **Оганьян Э.С., Волохов Г.М.** Расчеты и испытания на прочность несущих конструкций локомотивов: учеб. пособие. - М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. - 326 с.

6 **Бирюков И.С., Савоськин А.Н.** Механическая часть подвижного состава. / Под ред. И.С. Бирюкова, А.Н. Савоськина и др. М.: Транспорт, 1992. – 440 с.

7 **Савоськин А.Н.** Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог. / А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак, А.П. Матвеевичев и др.; под общ. ред. А.Н. Савоськина. М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

8 **Файзибаев Ш.С., Хромова Г.А.** Оптимизация работы колеса и рельса путем снижения контактных напряжений при динамическом взаимодействии колесных пар подвижного состава: монография. -Т.: «Fan va technology», 2015. - 180 с.

9 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А.** Разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения: монография. - Т.: «Fan va technology», 2021. - 160 с.

10 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Валиев М.Ш., Хромов С.А.** Квазистатический расчет на прочность рамы тележки электровоза ВЛ-80с. Программа для ЭВМ. (Свидетельство об официальной регистрации программы № DGU 07664, 31.04.2020 й.).

11 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Валиев М.Ш., Хромов С.А., Махамадалиева М.А.** Квазистатический расчет на прочность главной рамы кузова электровоза ВЛ-80с. Программа для ЭВМ. (Свидетельство об официальной регистрации программы № DGU 10286, 24.02.2021 г.).

12 **Radjibayev D. O., Khromova G. A., Juraev O.S., Sabirov N. K.** Algorithm and methodology for evaluating reliability indicators of a large gear wheel of a traction gearbox for an electric locomotive. *International Journal "Eurasian journal of academic research"*, Volume 2 Issue 12, November 2022, pp.1102-1106.

13 **Avdeeva A., Khromova G., Radjibaev D.** Two-axle bogie vibration damping system with additional damping elements. *E3S Web of Conferences*, 2023, pp.233-240. 10.1051/e3sconf/202336502003

14 **Khromova G.A., Ytkina I.S. and Mukhamedovav Z.G.** Mathematical model of oscillations of bearing body frame of emergency and repair railcars. *International Journal "Transport problems"*, № 12(1), pp. 93-103.

15 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А.** Разработка математической модели расчета прочности главной рамы кузова электровоза ВЛ80с для железнодорожной техники. // Вестник ТашИИТ, ТашИИТ, 2020, №1. С.42-48.

Galina Khromova, Davran Radjibaev, Adham Mavlyanov
Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Method of calculation of dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering

Abstract. This article proposes a new generalized analytical and numerical method for calculating the dynamic strength of the load-bearing frame of a locomotive frame of complex configuration, assuming its vibrations according to a beam-type scheme with elastic pinching of the ends under the action of a harmonic load, when an electric locomotive is moving along a track with periodic butt irregularities, at increased speeds.

The following is a calculation algorithm and a flowchart for modeling the stress-strain state of the load-bearing frame of a locomotive frame of complex configuration in the form of an elastic rod of variable cross-section with variable mass, bending and longitudinal stiffness.

The results of a numerical study on the stress-strain state of the load-bearing frame of the locomotive body frame are presented, taking into account the installation of reinforcing linings during modernization, and the results of a mathematical model of the locomotive body frame of complex configuration are compared with a model constructed using the finite element method in the Solid Works software product.

Taking into account the results of experimental studies during full-scale dynamic tests of truck frames and main body frames of VL-80s electric locomotives when moving along a rail track under various loading conditions, a scientific justification is being carried out for the modernization of truck frames and main body frames of this type of locomotive during major repairs.

An engineering method of analytical and numerical calculation is proposed, which allows for quasi-static and dynamic modeling of the stress-strain state of the main body frame and locomotive bogie frames with an upgraded reinforced load-bearing frame, based on numerical calculation programs for which 2 certificates of official registration of the computer program of the Republic of Uzbekistan have been obtained (No. DGU 07664, 04/31/2020 and No. DGU 10286 dated 02/24/2021).

Key words: Electric locomotive, main frame of electric locomotive body, dynamic loads, stress-strain state of main frames of electric locomotives, fatigue strength factor, major repair of main frames of electric locomotives

Галина Хромова, Давран Раджибаев, Адам Мавлянов
Ташкент Мемлекеттік Көлік Университеті, Ташкент, Өзбекстан

Көлік техникасы үшін күрделі конфигурациядағы локомотивтердің рамалық конструкцияларының динамикалық беріктігін есептеу әдісі

Аңдатпа. Бұл мақалада күрделі конфигурациядағы локомотив рамасының жүк көтергіш рамасының динамикалық беріктігін есептеудің жаңа жалпыланған аналитикалық және сандық әдісі ұсынылған, оның тербелістерін сәулелік типтегі схема бойынша ұштардың серпімді қысылуымен ескере отырып гармоникалық жүктеме, электровоз мезгіл-мезгіл бөксесі бұзылған жол бойымен жоғары жылдамдықпен қозғалғанда.

Төменде есептеу алгоритмі және өзгермелі массасы, иілгіштігі және бойлық қаттылығы бар ауыспалы қиманың серпімді штангасы түріндегі күрделі конфигурациядағы локомотив рамасының жүк көтергіш рамасының кернеу-кернеу күйін модельдеуге арналған блок-схема келтірілген.

Модернизация кезінде арматуралық төсемдерді орнатуды ескере отырып, локомотив корпусының қаңқасының жүк көтергіш қаңқасының кернеулі-кернеулі күйін сандық зерттеу нәтижелері келтірілген, ал күрделі конфигурациядағы локомотив корпусының рамасының математикалық моделінің нәтижелері Салыстырылады. Solid Works бағдарламалық өніміндегі ақырлы элемент әдісін қолдану арқылы жасалған модельмен.

Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелерін ескере отырып, вл-80с электровоздарының жүк рамалары мен негізгі корпусының рамаларын толық көлемді динамикалық сынау кезінде теміржол бойымен әр түрлі тиеу жағдайларында қозғалу кезінде ғылыми негіздеме жасалуда. күрделі жөндеу кезінде локомотивтің осы түрінің жүк рамалары мен негізгі корпусының рамаларын модернизациялау.

Аналитикалық және сандық есептеудің инженерлік әдісі ұсынылған, ол негізгі корпустың қаңқасының кернеулі-кернеулі күйін квазистатикалық және динамикалық модельдеуге мүмкіндік береді. жаңартылған күшейтілген жүк көтергіш қаңқасы бар локомотив боги рамалары, сандық есептеу бағдарламалары негізінде Өзбекстан Республикасының компьютерлік бағдарламасын ресми тіркегені туралы 2 сертификат алынды (Жоқ. DGU 07664, 31.04.2020 және Жоқ. 24.02.2021 ЖЫЛҒЫ DGU 10286).

Түйін сөздер: электровоз, электровоз корпусының негізгі қаңқасы, динамикалық жүктемелер, электро-воздардың негізгі рамаларының кернеулі-кернеулі күйі, шаршағыштық коэффициенті, электровоздардың негізгі рамаларын күрделі жөндеу

References

- 1 **Spiryagin, M. & Cole C. & Sun, Y.Q. & McClanachan, M. & Spiryagin, V. & McSweeney, T.** Design and Simulation of Rail Vehicles. Ground Vehicle Engineering series. 2014. CRC Press. - 337 p.
- 2 **Popp, K. & Schiehlen, W.** System Dynamics and Long-Term Behaviour of Railway Vehicles, Track and Subgrade. 2013. Springer Science and Business Media. - 488 p.
- 3 **Wang, K. & Huang, C. & Zhai, W. & Liu, P. & Wang, S.** Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation. Journal of Traffic and Transportation Engineering. Vol. 1. No. 3. 2014. P. 209-220.

4 **Kiselev I.P.** High-speed rail transport. General course: textbook: in 2 volumes / I.P. Kiselev et al.; edited by I.P. Kiselev. - М.: Federal State Budgetary Educational Institution «Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport», 2014. V.2.-372 p.

5 **Oganyan E.S., Volohov G.M.** Calculations and strength tests of locomotive load-bearing structures: textbook. manual. - М.: Federal State Budgetary Educational Institution «Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport», 2013.-326 p.

6 **Biryukov I.S., Savoskin A.N.** Mechanical part of rolling stock. / Ed. I.S. Biryukova, A.N. Savoskina et al. М.: Transport, 1992. – 440 p.

7 **Savoskin A.N.** Durability and reliability of railway rolling stock. / A.N. Savoskin, G.P. Burchak, A.P. Matveevichev et al.; edited by A.N. Savoskin. Moscow: Mashinostroenie, 1990.– 288 p.

8 **Fayzibaev Sh.S., Khromova G.A.** Optimization of wheel and rail operation by reducing contact stresses during dynamic interaction of rolling stock wheel pairs. *Monograph*.-Т.: «Fan va texnologiya», 2015.-180 p.

9 **Khromova G.A., Khromov S.A. and Radzhibaev D.O.** Development of methods for calculating the dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering. *Monograph*.-Т.: “Fan va texnologiya”, 2021.-160 p.

10 **Khromova G.A., Radzhibaev D.O., Valiev M. Sh. and Khromov S.A.** Quasi-static calculation for the strength of the bogie frame of the electric locomotive VL-80s (*certificate of official registration of the computer program of the Republic of Uzbekistan No. DGU 07664*).

11 **Khromova G.A., Radzhibaev D.O., Valiev M. Sh., Khromov S. A. and Makhamadalieva M. A.** Quasi-static strength analysis of the main frame of the VL-80s electric locomotive (*certificate of official registration of the computer program of the Republic of Uzbekistan No. DGU 10286*).

12 **Radjibayev D. O., Khromova G. A., Juraev O.S., Sabirov N. K.** Algorithm and methodology for evaluating reliability indicators of a large gear wheel of a traction gearbox for an electric locomotive. *International Journal “Eurasian journal of academic research”*, Volume 2 Issue 12, November 2022, pp.1102-1106.

13 **Avdeeva A., Khromova G., Radjibaev D.** Two-axle bogie vibration damping system with additional damping elements. *E3S Web of Conferences*, 2023, pp.233-240. 10.1051/e3sconf/202336502003

14 **Khromova G.A., Ytkina I.S. and Mukhamedovav Z.G.** Mathematical model of oscillations of bearing body frame of emergency and repair railcars. *International Journal “Transport problems”*, № 12(1), pp. 93-103.

15 **Khromova G.A., Radzhibaev D.O., Khromov S.A.** Development of a mathematical model for calculating the strength of the main frame of the body of an electric locomotive VL80s for railway engineering. // *Journal “Vestnik TashIIT”*, TashIIT, 2020, No. 1, p.42-48.

Сведения об авторах:

Галина Хромова – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроподвижной состав», Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

Даврон Раджибаев – доктор технических наук, доцент кафедры «Электроподвижной состав», Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

Адхам Мавлянов – докторант кафедры «Электроподвижной состав», Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

Галина Хромова – техника ғылымдарының докторы, электр Жылжымалы құрам кафедрасының профессоры, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент, Өзбекстан

Даврон Рәжібаев – техника ғылымдарының докторы, кафедра доценті электр Жылжымалы құрам, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент, Өзбекстан

Адхам Мавлянов – кафедраның докторанты электр Жылжымалы құрам, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент, Өзбекстан

Galina Khromova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Davron Radjibaev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Adham Mavlanov – PhD Student, Department of Electric Rolling Stock, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).