



## DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR STRENGTH CALCULATION OF THE BOGIE FRAME OF A MOTOR CARRIAGE SUBWAY CAR

Khromova Galina Alekseevna<sup>1</sup>

Rajibaev Davran Oktombaevich<sup>2</sup>

Mirzarakhimov Bobur Mirzo Ulugbek ugli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>doctor tech. sciences, professor, <sup>2</sup>doctor (of. Sc) tech. sciences, associate professor, <sup>3</sup>master's student of the Department of "Electric rolling stock", State Transport University, Uzbekistan, Tashkent

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19401786>

### ARTICLE INFO

Received: 24<sup>th</sup> March 2026

Accepted: 30<sup>th</sup> March 2026

Online: 31<sup>st</sup> March 2026

### KEYWORDS

Electric rolling stock, metro electric trains, electric locomotive, frames of the bogies, dynamic performance, increase strength and reliability, algorithm, program for the MATHCAD 15 programming environment.

### ABSTRACT

The article presents an algorithm for strength calculation of bogie frame of a motor carriage subway car, numerical studies were carried out in the MATHCAD 15 programming environment.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА РАМЫ ТЕЛЕЖКИ МОТОРВАГОННОГО ВАГОНА МЕТРОПОЛИТЕНА

Хромова Галина Алексеевна<sup>1</sup>

Раджибаев Давран Октомбаевич<sup>2</sup>

Мирзарахимов Бобур Мирзо Улугбек угли<sup>3</sup>

<sup>1</sup>доктор технических наук, профессор, <sup>2</sup>доктор технических наук, доцент,

<sup>3</sup>магистрант кафедры «Электроподвижной состав», Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19401786>

### ARTICLE INFO

Received: 24<sup>th</sup> March 2026

Accepted: 30<sup>th</sup> March 2026

Online: 31<sup>st</sup> March 2026

### KEYWORDS

Электрический подвижной состав, электропоезда метрополитена, электровоз, рамы тележек, динамические характеристики,

### ABSTRACT

В статье представлен алгоритм для прочностного расчета рамы тележки моторвагонного вагона метрополитена, численные исследования проведены в среде программирования MATHCAD 15.



*повышение прочности и надежности, алгоритм, программа для среды программирования MATHCAD 15.*

В мире задача оценки и прогнозирования ресурса электропоездов рассматривалась во многих научных трудах и является актуальной в настоящее время [1,2]. Это обусловлено как экономическими, так и организационными причинами, вызванными старением парка электроподвижного состава и стремлением предотвратить опасные разрушения, основываясь на нормируемых параметрах ресурса, безопасности и рисков по условиям прочности [3,4]. Под действием циклических динамических нагрузок прочностные свойства металла деталей и конструкций экипажной части электропоездов (рам тележек, главных рам и кузовов, деталей колесных пар и др.) деградируют, снижается их сопротивление усталости, повышаются предел текучести, хрупкость материала, что может привести к их разрушению [4,5]. Поэтому проведение научных исследований в данной области с разработкой методики расчета остаточного ресурса рам тележек электропоездов при повышенных скоростях для условий Республики Узбекистан является актуальной темой.

Рама тележки моторвагонного вагона метрополитена представляет собой сложную пространственную

конструкцию, воспринимающую в эксплуатации как статические, так и динамические нагрузки, действующие на узлы тележек и кузова. Наибольшие усилия приложены к средней части продольных балок в местах примыкания поперечных балок к продольным балкам (боковинам) [4,5,6,7] (рисунок 1). В линиях Ташкентского метро используются вагоны следующих моделей: 81-717, 81-714, 81-717.5, 81-714-5. Вагоны моделей 81-717.5 и 81-714.5 являются модификацией вагонов 81-717 и 81-714.

В расчёте рама тележки моторвагонного вагона метрополитена должна быть рассчитана на возможные неблагоприятные сочетания следующих нагрузок [3,4,5]:

1. статическая нагрузка;
2. вертикальная динамическая нагрузка;
3. центробежные силы при движении вагона метрополитена по кривой и давление ветра, на его боковую поверхность, включая силы трения колёс о рельсы в кривой;
4. усилия, возникающие при работе тяговых двигателей;
5. продольные силы, возникающие при ударе по автосцепке моторвагонного вагона метрополитена;

6. усилия, возникающие при торможении;

7. усилия, возникающие при выкатке колёсных пар или при

*Cracks of the bogie frame*

*Трещины в раме тележки вагона*

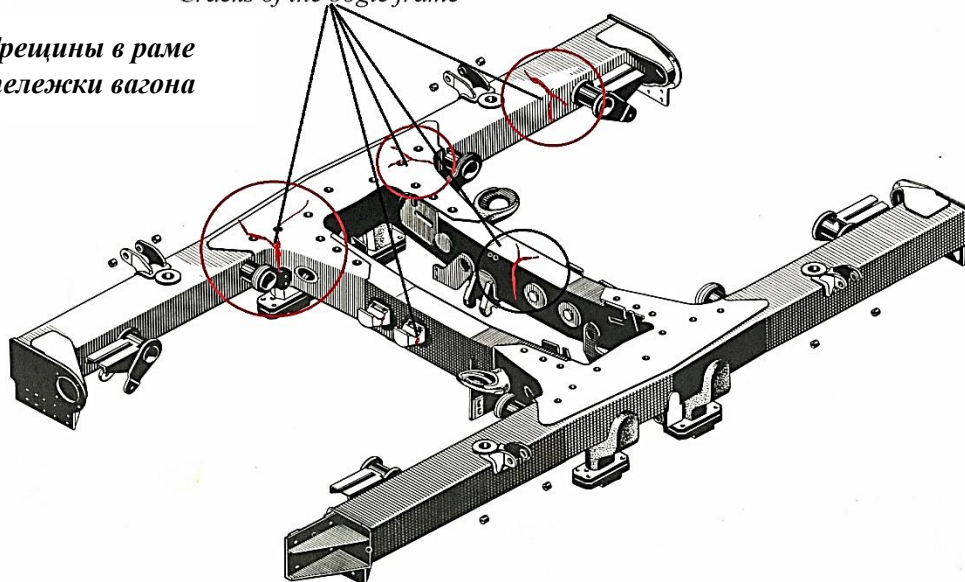


Рисунок 1. Рама тележки вагона метро серии 81-717/714 с усталостными трещинами.

Статическая нагрузка соответствует давлению оси на рельсы или нагрузке от воздействия колёсной пары на рельсы – 137,445 кН [3,4]. Она складывается из массы тары вагона метро, не более  $M_B = 33\ 000$  кг и массы сидящих и стоящих пассажиров (при плотности размещения стоящих пассажиров, равной 10 человек на 1 м<sup>2</sup> свободной площади пола и занятости мест для сидения  $M_{П}$ ). При  $M_{П} = 23\ 100$  кг [4]

$$M_{\text{СУМ}} = M_B + M_{П} = 33\ 000 + 23\ 100 = 56\ 100 \text{ кг} \quad (1)$$

Конструкционная скорость  $V_{\text{КОНСТ}} = 90$  км/ч.

Среднее ускорение вагона на горизонтальном участке пути в зоне поддержания установки тока в полном поле при нагрузке 90 000 Н не менее 1,2 м/с<sup>2</sup>. Среднее замедление вагона на горизонтальном участке

подъёме тележки моторвагонного вагона метрополитена при сходе его с рельсов.

пути с нагрузкой 90 000 Н при электрическом торможении со скорости 90 км/ч не менее 1,0 м/с<sup>2</sup>.

Вертикальная динамическая нагрузка считается пропорциональной статической нагрузке, коэффициент вертикальной динамики равен 1,5 при расчетной скорости движения 90 км/час [3,4]. Длина расчетного тормозного пути, м, при экстренном пневматическом торможении состава на прямом горизонтальном участке пути со скоростью начала торможения 90 км/ч не более 298 м.

Величины центробежных сил приняты максимально возможными и соответствуют движению вагона метрополитена со скоростью 90 км/час на кривой радиусом 600 м при возвышении наружного рельса на величину 125 мм. При расчетах в среде программирования MATHCAD 15 радиус кривой варьировался от 125 м до 600 м. Величины усилий,



действующих на раму тележки вагона метрополитена при работе тяговых двигателей, соответствуют максимальному коэффициенту сцепления колёс с рельсами, равному 0,35.

Расчёт рамы тележки вагона метрополитена на динамическую прочность производится в следующем порядке:

1. определяются величины действующих на раму усилий и составляются основные расчётные схемы нагружения, являющиеся исходными для всего дальнейшего расчёта;

2. основные расчётные схемы нагружения разбиваются на более простые вспомогательные: отдельно рассматриваются вертикальные и горизонтальные, симметричные и антисимметричные нагрузки;

3. производится расчёт вспомогательных и основных схем нагружения рамы тележки вагона метрополитена;

4. для основных схем нагружения рамы тележки вагона метрополитена определяются величины нормальных напряжений. Величины касательных напряжений в расчёте не определяются, вследствие их незначительной величины. Необходимо также отметить, что места (волокна) максимальных касательных и максимальных нормальных напряжений не совпадают.

5. Производится суммирование напряжений в расчётных сечениях от наиболее неблагоприятных и возможных в эксплуатации сочетаний нагрузок: 5.1. тяга на прямой; 5.2.

торможение на прямой. Напряжённое состояние рамы тележки вагона метрополитена характеризуется величинами максимальных суммарных напряжений от вышеперечисленных режимов работы вагона метрополитена, а также величинами напряжений, действующих при выкатке колёсных пар (при подъёме вагона метрополитена за тележки).

Нами был проведен сравнительный анализ по напряженно-деформированному состоянию рамы тележки вагона метрополитена (с усиливающими накладками и без них) с расчетом коэффициентов усталостной прочности, на основании которых можно прогнозировать возможный срок дальнейшей полезной эксплуатации механической части вагона метрополитена, (конкретно, для двухосной рамы модернизированной тележки вагонов метрополитена мод. 81-717/714) [6,7,8,9]. Расчётными сечениями для двухосной рамы модернизированной тележки вагонов метрополитена мод. 81-717/714 для определения напряжений являются места примыкания поперечных балок к продольным балкам (боковинам), средние сечения продольных балок (до усиления и модернизированные с усилением) [7,8]. Квазистатический расчет на прочность выполняется методом сил для каждого расчетного режима (таблица 1).

Наибольшее значение допускаемых напряжений для наиболее тяжелых режимов статического и ударного нагружения

силой 2,55 МН на автосцепке, в соответствии с требованиями ЦНИИ МПС России [3,4], принято равным  $[\sigma] \geq \frac{\sigma_T}{n_{0y}}$  (2), где  $n_{0y}$  - нормативный коэффициент запаса;  $\sigma_T$  - предел текучести, для Ст20 не менее 308,7 МПа [4].

У рассчитываемой боковины рамы тележки вагона метрополитена конструктивными и технологическими размерами обеспечено наличие концентрации

напряжений в местах примыкания поперечных балок к боковине рамы, поэтому для прочностного расчета примем  $\beta_k = 1.11$  [8,9]. Следовательно,  $(\sigma_y + \sigma_{ст}) \leq [\sigma] = 280,4$  МПа. (3)

Изменение максимальных моментов инерции  $W^{ab}_y$  и  $W^{cd}_y$  по балкам модернизированной рамы тележки вагона

метрополитена мод. 81-717/714

Таблица 1.

Сечения на раме тележки	$W^{ab}_x, \text{ см}^3$	$W^{ab}_y, \text{ см}^3$	$W^{cd}_x, \text{ см}^3$	$W^{cd}_y, \text{ см}^3$
А - А	1003	729,5	1003	729,5
АУ - АУ (усилено)	1409,55	787,82	1362,825	875,36
С - С (усилено)	2760,2326	3079,6198	2938,3122	2529,6877
В - В (усилено)	2987,102	1517,362	3241,926	1517.362

Таким образом, анализируя моменты сопротивления по сечениям балок модернизированной рамы тележки вагона метрополитена мод. 81-717/714  $W^{ab}_y$  и  $W^{cd}_y$  (см. таблицу 1) можно сделать следующий обобщающий вывод: наиболее

нагруженным являются сечения в местах примыкания поперечных балок к продольным балкам (боковинам) С-С и В-В, а также средние сечения продольных балок А - А (рисунок 2).

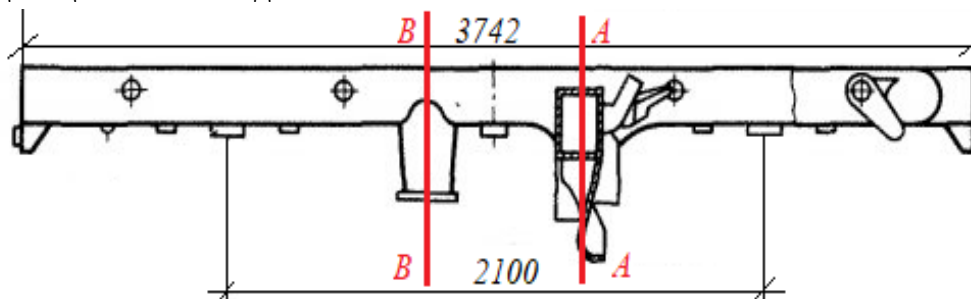


Рисунок 2. Усиление сечений рамы тележки вагона метрополитена в местах примыкания поперечных балок к продольным (С-С и В-В), а

также усиление средних сечений продольных балок (А - А).

Причем после эксплуатации в течение 20 лет и более (данный срок эксплуатации на сегодняшний день



имеют вагоны метрополитена, имеющиеся в АО «Узбекистан темир йуллари») данные сечения не смогут выдержать расчетные режимы по динамической усталостной прочности. Данные сечения необходимо упрочнить

(модернизировать) путем установки усиливающих фигурных накладок из стальных листов марки Ст3 и уголков. В нашем случае предлагается установить усиливающие накладки из стали Ст3 – модернизированные сечения АУ-АУ, С-С и В-В.

## References:

1. Spiriyagin, M. & Cole C. & Sun, Y.Q. & McClanachan, M. & Spiriyagin, V. & McSweeney, T. Design and Simulation of Rail Vehicles. Ground Vehicle Engineering series. 2014. CRC Press. - 337 p.
2. 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.
3. Бирюков И.С. & Савоськин А.Н. Механическая часть подвижного состава: Учебник. Москва: Транспорт. 1991. - 352 p.
4. 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.
5. 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.: «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи», 2020. – 192 с.
6. Khromova G., Radjibaev D. Mathematical model and algorithm for calculating the durability indicators of electric locomotive bogie elements. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2022.- Volume 9, Issue 10, Pages: 19901-19907.
7. Khromova G.A., Rajibaev D.O., Mirzarakhimov B.M.U. Methodology for assessing reliability indicators of body frames of metro electric train. // Eurasian Journal of Academic Research, 2025, Volume 5, Issue 1, January 2025, pp.103-107. Retrieved from DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14771518>
8. Khromova G.A., Rajibaev D.O., Mirzarakhimov B.M.U. Development of a modernized design of a motor carriage subway car with justification of strength parameters. // Eurasian Journal of Academic Research, Volume 5, Issue 6, June 2025, pp.7-9. Retrieved from DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.156214468>
9. Khromova G.A., Rajibaev D.O., Mirzarakhimov B.M.U. Algorithm for performing numerical calculations on the strength of the sections of the subway car bogie frame. // Eurasian Journal of Academic Research, Volume 6, Issue 01, January 2026, pp.181-185. Retrieved from DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18347632>