

УДК 629.464.2:004.94

К.В. Максимчик

*(УО «Белорусский государственный университет транспорта»,
г. Гомель, Беларусь)*

Научный руководитель – А.О. Шимановский

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ КОНЦЕВОГО ВАГОНА СНЕГОУБОРОЧНОГО ПОЕЗДА СМ-2

Приведено описание конструкции снегоуборочного поезда СМ-2. Выявлены основные причины возникновения неисправностей базовых узлов. В среде программного комплекса ANSYS Workbench разработана конечно-элементная модель концевого вагона снегоуборочного поезда. Изучены режимы нагружения, установленные нормативными документами, соответствующие режимам эксплуатации снегоуборочного поезда и проанализированы требования при выполнении прочностных расчетов.

На территории Республики Беларусь осадки в виде снега составляют до 20 % годового количества всех осадков. В основном толщина снежного покрова за один снегопад составляет не более 0,25 м. Однако время от времени на территории Беларуси наблюдаются снегопады с обильным выпадением снега, которые требуют незамедлительного реагирования для обеспечения бесперебойного движения поездов, поскольку при этом образуется плотный покров значительной толщины.

Оперативная очистка и уборка снега с железнодорожного пути является обязательным требованием безопасности движения [1], поскольку при толщине снежного покрова более 0,2 м это может привести к полному прекращению движения.

Для очистки железнодорожных путей от снега на перегонах и станциях используют различные по конструкции снегоуборочные машины и поезда, а также стационарные устройства для обдува или обогрева стрелок на станциях.

Машины и поезда очищают пути от снега с погрузкой его на специальный подвижной состав, осуществляют транспортировку и выгрузку снега. В зависимости от условий производства и объемов работ применяют одновагонные самоходные снегоуборщики (СМ-4, СМ-5) и снегоуборочные поезда, состоящие из 2-5 единиц специального подвижного состава (СМ-2, СМ-3) [2].

Белорусская железная дорога активно эксплуатирует снегоуборочные поезда СМ-2, которые, как правило, в своем составе имеют снегоуборочную машину, два промежуточных и концевой полувагоны [3]. Их выпускают как в самоходном варианте, так и приводимом в движение тепловозом.

Головная машина – это четырехосный экипаж, оснащенный рабочим оборудованием для забора снега: щеточным ротором-питателем, боковыми крыльями с активными роторными тросовыми щетками и подрезным ножом, а также ленточным питателем с поперечными металлическими планками на ленте. Он обеспечивает транспортирование и перегрузку снега на сцепленный с машиной промежуточный полувагон.

Промежуточный полувагон представляет собой единицу специального подвижного состава, которая выполняет транспортировку убранного снега. Спереди полувагона располагают загрузочный бункер, через который снег поступает на напольный пластинчатый накопитель. Конвейер приводят в движение от электродвигателя через редуктор и цепную передачу. При этом на задней торцевой стенке смонтировано перегрузочное устройство, через которое снег подается в бункер соседнего промежуточного (или концевого) полувагона.

Концевой полувагон спереди так же оборудован бункером и имеет аналогичный конвейер-накопитель с приводом, расположенным внизу емкости. Выгрузку снега осуществляют через этот полувагон, поэтому его оснащают соответствующим рабочим оборудованием. Чаще всего оно включает поворотный ленточный выбросной конвейер и рыхлитель с лопастями. Поступающий снег разрыхляется лопастями при вращении вала рыхлителя и далее направляется конвейером в сторону на расстояние до 10 м от оси машины. Такая система выгрузки нарушает габарит приближения строений. Поэтому на Белорусской железной дороге все чаще выгрузное устройство переоборудуют поперечно установленным реверсивным конвейером с двумя роторными метателями по его концам. Такая система обеспечивает отброс снега на 5 м в сторону от оси пути.

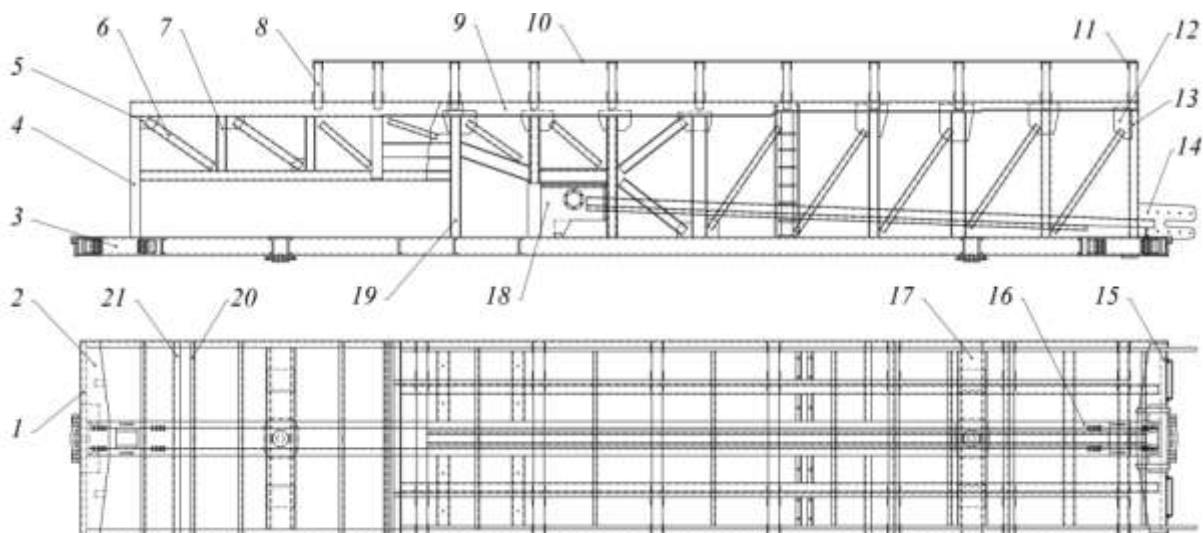
Последнее поступление снегоуборочного поезда СМ-2 в парк специального подвижного состава Белорусской железной дороги состоялось в 2005 году и по состоянию на 01.01.2024 он составляет 21 единицу, причем они все выработали свой нормативный ресурс. Их планомерно выводят из эксплуатации по истечении нормативного срока службы. Единовременное обновление всего парка снегоуборочных поездов невозможно по экономическим причинам, поэтому решением проблемы может стать реализация мероприятий по продлению срока службы техники во время проведения плановых ремонтов.

Во время капитального ремонта снегоуборочного поезда проводят разборку конструкции и ее составных элементов до состояния, позволяющего произвести анализ несущей конструкции и определить ее остаточный ресурс. После его определения принимают решение о возможности дальнейшей эксплуатации техники либо о ее списании.

Снег, перевозимый в рассматриваемых машинах, при определенных условиях создает коррозионно-активную среду. Это воздействие на металлические конструкции вместе с высокими циклическими нагрузками ускоряет появление усталостных трещин и является основной причиной потери несущей способности машин [1, 4, 5].

В процессе ремонта снегоуборочных машин СМ-2 наиболее часто выявляют следующие дефекты рам (рисунок 1):

- а) незначительная коррозия несущих элементов;
- б) часть силового каркаса имеет прогиб более допускаемых размеров;
- в) элементы рабочего оборудования имеют повреждения в местах закрепления.



- 1, 15 – швеллер поперечный; 2 – лист верхний; 3 – швеллер наружный;
 4 – стойка задняя; 5, 11, 12 – косынка; 6 – связь; 7 – стойка; 8 – дуга;
 9 – швеллер верхний; 10 – угольник верхний; 13 – стойка передняя;
 14, 18 – лист; 16 – швеллер хребтовой балки; 17 – шкворневая балка;
 19 – стойка средняя; 20, 21 – швеллер

Рисунок 1 – Схема конструкции рамы концевого вагона снегоуборочного поезда СМ-2

Для оценки надежности и долговечности техники необходимо теоретически обосновать возможность продления срока службы. Рама

концевого вагона (рисунок 1), несущая всю нагрузку от рабочего оборудования и собственной массы, состоит из сваренных между собой продольных и поперечных балок и выполнена из двух поясов. Верхний и нижний пояса связаны между собой вертикальными стойками и раскосами, образующими каркас. По периметру рамы также вварены стойки, листы и швеллера, на которые опираются элементы рабочего оборудования.

Для выполнения прочностных расчетов разработана конечно-элементная расчетная схема в среде конечно-элементного пакета ANSYS Workbench (рисунок 2).

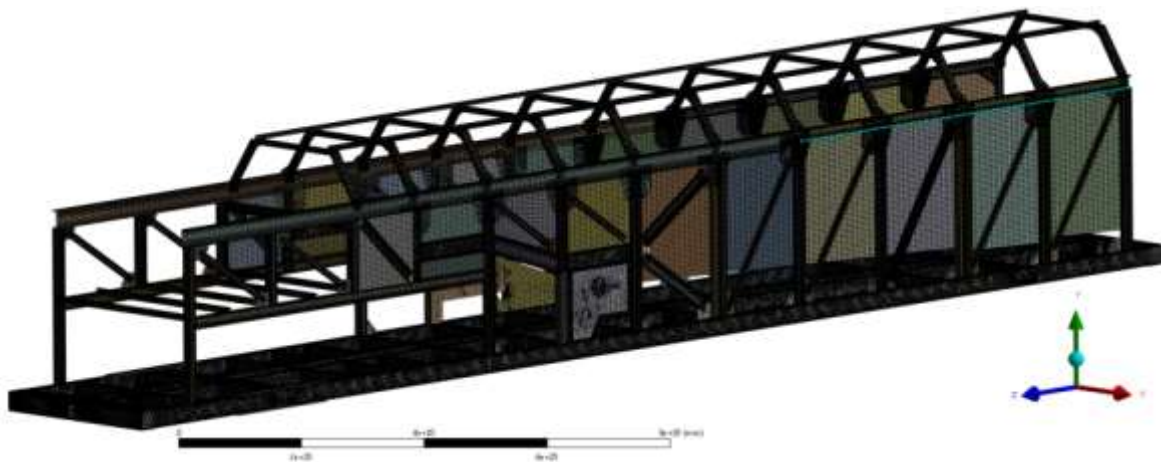


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель рамы концевого вагона снегоуборочного поезда СМ-2

При выполнении расчетов напряженно-деформированного состояния конструкции под действием сил тяжести ее элементов максимальные эквивалентные по Мизесу напряжения в области присоединения шкворневой балки к хребтовой составили 136,53 МПа (при допустимых 250 МПа). При этом, в целом по модели, напряжения не превысили 50 МПа, что значительно меньше допускаемых значений. Такое расхождение результатов связано с тем, что данное место представляет собой концентратор напряжений, и поэтому в нем для получения точных результатов следует детальнее учитывать геометрию конструкции, а также принимать во внимание нелинейно упругие и пластические деформации. Для интерпретации результатов в таких областях целесообразно использовать инженерную оценку [6].

Разработанная модель позволяет рассмотреть любое сочетание и вид эксплуатационных нагрузок и, тем самым, оценить несущую способность конструкции. В связи с тем, что снегоуборочный поезд СМ-2 допускается транспортировать в составе грузового поезда, то оценку прочности

целесообразно производить в соответствии с [7]. Важно упомянуть, что данный документ напрямую не определяет порядок расчета снегоуборочных машин, поэтому введем дополнительные условия, учитывающие специфику эксплуатации.

При оценке прочности по стандартным режимам нагружения рассматривают как относительно редко встречающиеся экстремальные нагрузки, так и относительно часто возникающие комбинации умеренных нагрузок, например:

- силы тяжести рамы и рабочего оборудования, установленного на полувагоне;
- продольные силы инерции рамы, тележек и рабочего оборудования, установленного на полувагоне;
- вертикальные силы при нецентральной взаимодействии автосцепок;
- продольные силы удара или рывка, сжатия или растяжения, приложенные к соответствующим упорам автосцепного устройства;
- поперечные силы взаимодействия между вагонами;
- вертикальные динамические силы;
- боковые силы.

Основные требования при расчетах – не допустить возникновения остаточных деформаций (повреждений) и усталостного разрушения элементов или деталей полувагона, которые являются базовыми.

В эксплуатации упомянутым режимам соответствуют маневровые передвижения; удар в снежную преграду; соударение при маневрах; экстренное торможение при малых скоростях движения; движение техники в составе поезда по прямым и кривым участкам пути, стрелочным переводам с допускаемой скоростью, вплоть до конструкционной; при периодических служебных торможениях; периодических умеренных рывках и толчках, возникающих при уборке снега и штатной работе механизмов и узлов полувагона.

Анализ прочности рамы концевого полувагона снегоуборочного поезда позволит определить, соответствуют ли значения напряжений требованиям, установленным в нормативных документах. Превышение допустимых уровней напряжений, укажет на необходимость усиления конструкции в зонах, подверженных разрушению.

Список использованных источников:

- 1 Lotfi A., Virk M. S. Railway operations in icing conditions: a review of issues and mitigation methods //Public Transport. – 2023. – Т. 15. – №. 3. – С. 747-765.

2 Попович, М. В. Путьевые машины : Учебник / М. В. Попович, В. М. Бугаенко. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 820 с.

3 Максимчик, К. В. Снегоуборочный поезд СМ-2. Анализ текущего состояния парка техники в Республике Беларусь / К. В. Максимчик, В. Л. Моисеенко // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2022. – № 2(45). – С. 52-54.

4 Kloow L., Jenstav M. High-speed train operation in winter climate // Transrail Publication BVF5. – 2011. – Т. 2. – С. 89.

5 Gao G. et al. Influence of bogie fairing configurations on the snow accretion around bogie regions of a high-speed train under crosswind conditions // Mechanics Based Design of Structures and Machines. – 2023. – Т. 51. – №. 10. – С. 5452-5469.

6 Максимчик, К. В. Конечно-элементное моделирование деформирования рамной конструкции вагона снегоуборочного поезда СМ-2 / К. В. Максимчик, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – 2023. – Вып. 16. – С. 142-147.

7 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам : ГОСТ 33211-2014. – Введен впервые ; введ. РБ 01.06.2017. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 86 с.

An overview of the design of the SM-2 snow removal train is provided. The main causes of malfunctions in the basic units have been identified. A finite element model of the end car of the snow removal train has been developed in the ANSYS Workbench software environment. The loading modes established by regulatory documents, corresponding to the operating modes of the snow removal train, have been studied and the requirements for performing strength calculations have been analyzed.

Сведения об авторе:

Максимчик Кирилл Вячеславович, магистр, УО «Белорусский государственный университет транспорта», механический факультет, аспирант, специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Сведения о научном руководителе:

Шимановский Александр Олегович, УО «Белорусский государственный университет транспорта», заведующий кафедрой технической физики и теоретической механики, доктор технических наук, профессор.