

УДК 629.369

Предложения по оптимизации конструкции подвески самоходного модульного транспортного средства

Пузров М.А.

puzrov.m.a@yandex.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

Статья посвящена совершенствованию конструкции подвески самоходного модульного транспортного средства (СМТС) с применением методов оптимизации. На основании проведенных исследований напряженно-деформированного состояния подвески СМТС и математического моделирования усилий в элементах подвески СМТС предлагаются: 1) уточненные координаты оси крепления штока гидроцилиндра; 2) вырезы в верхних рычагах и металлическом корпусе подвески; 3) локальные усиления в узлах крепления нижних рычагов; 4) скругления в зонах резких переходов. Указанные конструктивные изменения позволят снизить средние и максимальные напряжения в конструкции подвески СМТС на 4–10%, а также уменьшить массу конструкции на 6–8%, не изменяя материал деталей подвески СМТС.

Ключевые слова: СМТС, самоходное модульное транспортное средство, гидравлическая подвеска, напряженно-деформированное состояние, совершенствование конструкции подвески.

Создание новых отечественных аналогов СМТС и оптимизация конструкции существующих СМТС зарубежного производства являются перспективными направлениями развития подъемно-транспортных систем. Благодаря возможности транспортировать неделимые крупногабаритные и тяжеловесные грузы (КТГ) массой от нескольких десятков тонн до нескольких тысяч тонн, производить погрузочно-разгрузочные работы (ПРР) с КТГ бескрановым методом за счет относительно большого вертикального хода подвески (как правило до 750 мм) СМТС нашли широкое применение при транспортировании промышленного оборудования, судов, блоков модульных заводов и т.д. [1].

Надежность подобных систем непосредственно зависит от прочности подвесочных узлов СМТС. Подвески семейства Cometto MSPE представляют собой маятниковые гидравлические системы со сдвоенными рычагами и гидроцилиндром (без классических пружин и амортизаторов), что обеспечивает необходимый диапазон подъема и опускания КТГ. Однако, конструктивные особенности такой подвески, включая локальные концентраторы напряжений и острые сопряжения, создают риски пластической деформации и усталостного разрушения.

Целью исследования ставилось определение напряженно-деформированного состояния (НДС) подвески данного типа, выявление наиболее нагруженных зон и разработка предложений, обеспечивающих снижение пиковых напряжений, уменьшение массы подвески и возможность быстрого внедрения изменений на действующих и вновь создаваемых образцах СМТС.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели решались задачи анализа и синтеза (оптимизации). При этом использовались методы математического моделирования, включая нелинейное программирование, методы проектирования и расчетов машин и механизмов, методы теоретической механики.

Математическое моделирование изменения усилий в конструкции подвески СМТС в зависимости от положения точек закрепления гидроцилиндра производилось в Microsoft Excel по методике, изложенной в источнике [2], с использованием функции «Поиск решения нелинейных задач методом общего понижающего градиента (ОПГ)».

Исследуемые 3D модели подвески СМТС были созданы в программном комплексе «SolidWorks» по аналогии с конструкцией подвески СМТС «Cometto MSPE EVO2 60T». Были смоделированы несколько вариантов: исходный вариант, вариант со скруглениями, вариант со смещением оси крепления гидроцилиндра и комбинированные варианты.

Для оценки напряженно-деформированного состояния в программном обеспечении «Ansys» [3] использовался метод конечных элементов (МКЭ) с применением следующих допущений: материал элементов подвески – конструкционная сталь; нагрузка – статическая, величиной 294000 Н, приложенная распределённо к фланцам корпуса приводной оси; корпус подвески жестко закреплен к опорно-поворотному устройству (ОПУ) и раме СМТС [4].

Результаты. Анализ исходной конструкции, основанный на расчетных данных, полученных МКЭ, показал, что максимальные напряжения возникают в трёх зонах подвески СМТС: а) в корпусе приводной оси рядом с местом приложения нагрузки; б) в металлическом корпусе подвески рядом с местом крепления гидроцилиндра; в) в середине нижних рычагов подвески в районе отверстия крепления штока гидроцилиндра [5]. В числовом выражении максимальные напряжения в критических точках достигали 552 МПа при статической нагрузке $F = 294$ кН. Это значение напряжений составляет примерно 80% от предела текучести используемых материалов в конструкции подвески СМТС.

Далее на основании проведенного анализа напряженно-деформированного состояния были предложены следующие изменения в конструкции подвески СМТС. Наибольший эффект, по мнению автора статьи, может быть достигнут при введении комплекса изменений, представленных на рис. 1:

- 1) смещение верхнего места крепления гидроцилиндра к металлическому корпусу подвески на 5 мм вверх по оси Y и на 10 мм в сторону по оси X. Исходное положение места крепления гидроцилиндра показано на рис. 1 штриховой розовой линией (позиция «1»);
- 2) вырезы в верхних рычагах и металлическом корпусе подвески, выполненные в местах с относительно низким уровнем напряжений, для снижения массы (позиция «2») на рис. 1);
- 3) добавление локальных усилений в узлах крепления нижних рычагов (позиция «3») на рис. 1);
- 4) введение скруглений в зонах резких переходов (позиция «4») на рис. 1).

Смещение верхнего места крепления гидроцилиндра было выполнено в программном комплексе «SolidWorks». Затем был проведен расчет НДС в «Ansys». Сравнение напряженно-деформированных состояний исходной и обновленной конструкций показало, что уровень средних и максимальных напряжений в обновленной конструкции снизился на 4-10% по сравнению с исходной конструкцией подвески.

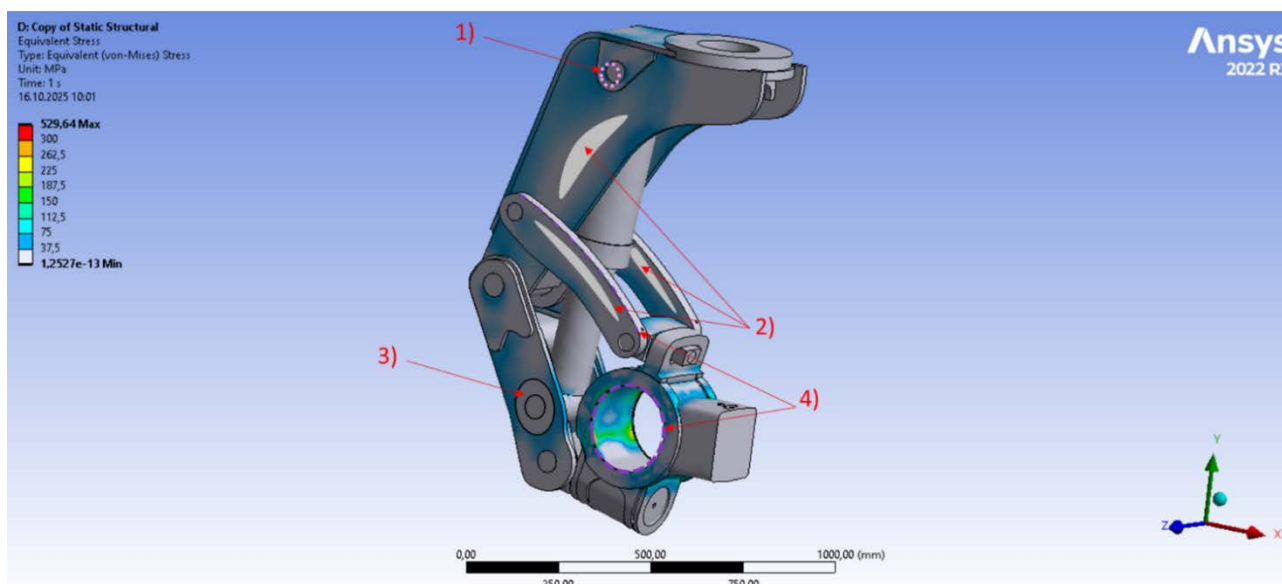


Рис. 1. Предлагаемые изменения в конструкции подвески СМТС

Реализация полного комплекса выше указанных предложений, по оценке автора, позволит не только снизить уровень средних и максимальных напряжений в обновленной конструкции на 4–10% по сравнению с исходной, но и позволит уменьшить совокупную массу конструкции на 6–8% при сохранении общей жёсткости и без появления новых критических концентраций в соседних узлах.

Обсуждение. Смещение оси крепления штока гидроцилиндра позволяет уменьшить плечо силы относительно центральной части нижних рычагов, что снижает изгибающий момент. Острые углы представляют собой классические концентраторы напряжений, поэтому увеличение радиуса сопряжения деталей увеличивает кривизну перехода и тем самым позволяет снизить локальные напряжения. Добавление локальных усилений у отверстий шарнирного крепления уменьшает локальные напряжения за счёт увеличения момента сопротивления сечения. Однако чрезмерное усиление перенесёт пиковые напряжения в соседние зоны. Поиск минимально необходимого усиления является отдельной задачей, которая не рассматривалась в настоящей статье.

Следует отметить, что вышеизложенные результаты получены для статического режима нагружения и отсутствия горизонтальных и вертикальных ускорений СМТС. Поэтому представляется целесообразным продолжить исследование напряженно-деформированного состояния деталей усовершенствованной подвески при динамических нагрузках, вызванных ударным и плавным принятием груза, движением по неровностям, разгоном и торможением СМТС. Требуется также оценить влияние смещения оси крепления штока гидроцилиндра на ход штока и углы поворота рычагов. Самостоятельным направлением исследований может стать оценка долговечности подвески в зависимости от числа циклов нагружения при различных запасах прочности. В итоге, результаты проведенных и предстоящих расчетно-теоретических исследований необходимо будет подтвердить проведением натурных экспериментов.

Заключение. Таким образом, проведенное исследование напряженно-деформированного состояния деталей подвески СМТС позволило выявить новое направление совершенствования конструкции, которое достигается относительно небольшими геометрическими изменениями (ввод радиусов сопряжений, смещение оси крепления штока гидроцилиндра, локальные усиления) и позволяет снизить уровень средних и максимальных

напряжений на 4–10%. Кроме того установлено, что верхние рычаги и корпус подвески могут быть облегчены на 6–8% путем вырезов относительно ненагруженных участков металла.

Предложенные конструктивные изменения технологичны и могут быть относительно легко внедрены в производство СМТС. Вместе с тем, представляется необходимым убедиться в том, что динамические процессы, реализуемые при эксплуатации СМТС, не изменяют результаты, полученные в статике, и будут подтверждены опытным путем.

Список литературы

1. Варламов Л.А., Пузров М.А. Анализ существующих схем подвесок самоходных модульных транспортных средств с электронным управлением поворотом осей (серии «MSPE») компании «Cometto». Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023; 1(1): 53-64.

2. Пузров М.А., Варламов Л.А., Тропин С.Л., Мисинев А.Н. Методика определения усилий, возникающих в узлах конструкции подвески самоходного модульного транспортного средства // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 3(45).

3. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Шамраева М.А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / Каплун А. Б., Морозов Е. М., Шамраева М. А.; авт. предисл. Шадский А. С. - Изд. стер. - М. : URSS : ЛИБРОКОМ, 2016. - 269 с.

4. Пузров М.А., Мидаков А.В. Оценка нагруженности подвески самоходного модульного транспортного средства методом конечных элементов. Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта: V Всероссийская научно-практическая конференция: сборник статей (Екатеринбург, 15 декабря 2023 года) / Изд-во Урал. ун-та, 2024. — 253 с. – РИНЦ.

5. Пузров М.А., Ереван С.Р.П. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов подвески самоходного модульного транспортного средства. Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы (Молодой инженер). Материалы XXVIII Московской международной межвузовской научно-технической конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Москва, 2024. С. 239-243. – РИНЦ.

АВТОР

Пузров Михаил Александрович, аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), puzrov.m.a@yandex.ru

Suggestions for optimizing the suspension design of a self-propelled modular vehicle

Mikhail A. Puzrov

puzrov.m.a@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The article is devoted to improving the suspension design of a self-propelled modular transporter (SPMT) using optimization methods. Based on the conducted studies of the stress-strain state of the SPMT suspension and mathematical modeling of forces in the elements of the SPMT suspension, the following are proposed: 1) updated coordinates of the hydraulic cylinder rod mounting axis; 2) cutouts in the upper levers and the metal suspension body; 3) localized reinforcements in the lower arm mounting assemblies; 4) rounding in areas of sharp transitions. These design changes will reduce the average and maximum stresses in the SPMT suspension design by 4-10%, as well as reduce the weight of the suspension by 6-8%, without changing the material of the SPMT suspension components.

Keywords: SPMT, self-propelled modular transporter, hydraulic suspension, stress-strain condition, suspension design improvement.

References

1. Varlamov L.A., Puzrov M.A. Analysis of existing suspension schemes for self-propelled modular vehicles with electronic axle rotation control ("MSPE" series) by Cometto. *Machines and installations: design, development and operation*. 2023; 1(1): 53-64.
2. Puzrov M.A., Varlamov L.A., Tropin S.L., Misinev A.N. Methodology for determining the forces arising in the suspension components of a self-propelled modular vehicle. *Road. Infrastructure*. 2025. № 3(45).
3. Kaplun A.B., Morozov E.M., Shamraeva M.A. ANSYS in the hands of an engineer: a practical guide / Kaplun A. B., Morozov E. M., Shamraeva M. A.; author's preface. Shadsky A. S. - Ed. ster. - M. : URSS : LIBROCOM, 2016. - 269 p.
4. Puzrov M.A., Midakov A.V. Assessment of the suspension load of a self-propelled modular vehicle by the finite element method. *Innovative development of land transport equipment and technologies: V All-Russian Scientific and Practical Conference: collection of articles (Yekaterinburg, December 15, 2023) / Ural Publishing House. University, 2024. — 253 p. – RSCI.*
5. Puzrov M.A., Yerevan S.R.P. Evaluation of the stress-strain state of suspension elements of a self-propelled modular vehicle. *Lifting and transport, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes (Young engineer). Proceedings of the XXVIII Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Moscow, 2024. pp. 239-243. – RSCI.*

AUTHOR

Mikhail A. Puzrov, postgraduate student of the Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5), puzrov.m.a@yandex.ru
