

Изготовление и расчет самоходной машины СМ повышенной проходимости

Паршукова Наталья Юрьевна

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ,
Снежинск, Россия

Старший преподаватель

E-mail: p.i.e@yandex.ru

Шишкин Никита Ярославович

Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ,
Снежинск, Россия

Студент

E-mail: nikita.shishkin.9@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Разработана и представлена конструкция самоходной машины СМ. Машина обладает повышенной проходимостью в сложных условиях рельефа, имеет низкую массу по сравнению с существующими автомобилями данного класса и возможность варьирования скоростями в широком диапазоне в зависимости от ситуации. Описаны особенности конструкции и расчет прочностных характеристик ряда узлов (рама, передняя подвеска, муфта, панель управления).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Машина повышенной проходимости. Рама. Передняя подвеска. Муфта.

В настоящее время высока потребность в создании облегченных машин повышенной проходимости, работающих в условиях сложной местности. Это диктуется отсутствием дорог с твердым покрытием и необходимостью перевозки тяжелых и негабаритных грузов. В данный момент на рынке существует большой выбор вездеходов и минитракторов заводского исполнения, но практически нет таких машин, которые могли бы объединять такие качества как: хорошая проходимость в условиях сложного рельефа, маневренность, небольшая масса, хорошие тяговые и скоростные режимы работы, простота в обслуживании и ремонте.

Одним из вариантов решения проблем является сборка средства передвижения из комплекта запчастей, б/у автомобилей и т.п.. Такой подход на порядок дешевле, чем покупка готового (даже подержанного) внедорожника, но подходит только для людей, хорошо знакомых с ремонтом техники. В этом случае практически нет никаких ограничений по модели, компоновке, размерам и т.п., имеет место полная свобода творчества.

Имея в наличии подержанный автомобиль или его основные части (кузов, двигатель, трансмиссия, подвеска и т.д.), можно начинать создавать модернизированный вариант: багги или минитрактор. При этом вариантов сборки может быть несколько.

Самый простой вариант (без радикальных изменений конструкции) заключается в доработке подвески в имеющемся автомобиле с целью увеличения клиренса и геометрической проходимости. Для этого используются колеса большего диаметра вплоть до пневматиков, увеличивается ход подвески и т.д. В ряде случаев меняется трансмиссия – устанавливается дополнительная понижающая коробка передач, самоблокирующие мосты и т.д.

Более сложным является вариант, когда отдельные агрегаты монтируются на самодельной раме. Выбираются необходимые компоненты, прорабатывается первоначальный вид конструкции, под него изготавливают раму, на которой затем собирают агрегаты. В некоторых случаях возможно доработать заводскую раму под свой вариант конструкции. Трансмиссию стараются не менять – в основном оставляют стандартные

элементы. Подбор колес и изготовление подвески осуществляется исходя из целей, для которых создаётся машина. Данный подход был применен при создании самоходной машины СМ [1,2] повышенной проходимости.

В работе представлена конструкция самоходной машины, обладающей повышенной проходимостью в сложных условиях рельефа, имеющей низкую массу по сравнению с существующими автомобилями данного класса и возможность варьирования скоростями в широком диапазоне в зависимости от ситуации. В процессе работы был сконструирован и рассчитан ряд узлов.

При конструировании использовать стандартные узлы и агрегаты от автомобилей ВАЗ 21011 [3], ГАЗ 51 [4], ГАЗ 53 [5], что позволило снизить трудоемкость и стоимость изготовления самоходной машины СМ. Обеспечение высокой устойчивости и уменьшение массы достигается благодаря разработке конструкции передней подвески самоходной машины СМ.

Самоходная машина повышенной проходимости СМ

При создании самоходной машины СМ [6] основными задачами являлись: снижение массы, уменьшение габаритов и повышение проходимости в условиях сложного рельефа. Вид самоходной машины СМ представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Самоходная машина повышенной проходимости СМ

Технические характеристики самоходной машины повышенной проходимости СМ представлены в таблице 1.

Таблица 1- Технические характеристики самоходной машины повышенной проходимости СМ

Габаритные размеры (l*d*h):	2500*1500*1500 мм
Максимальная скорость:	70 км/ч
Расход в смешанном цикле:	12л. бензина АИ-92
Сцепление:	Одноступенчатое фрикционное ВАЗ 21011
Количество передач:	17 вперед, 8 назад
Тип двигателя:	карбюраторный
Мощность :	69 л.с.
Крутящий момент:	96-3600 Н·м
Объем двигателя:	1300см ³
Масса двигателя:	114 кг
Габаритные размеры двигателя (l*d*h):	540*522*621см

В процессе проектирования раму выполнили из труб, соединенных швеллером и уголками. Использовались задний мост (от ГАЗ 51) [4] и передняя балка (от ГАЗ 53) [5], которые были укорочены, соответственно, на 800 и 600 мм. Вид рамы самоходной машины повышенной проходимости СМ представлен на рисунке 2.

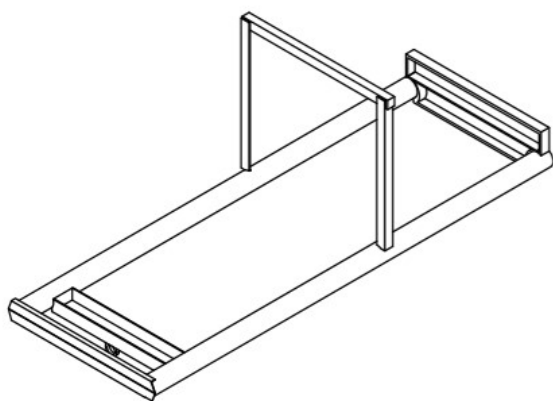


Рис. 2. Вид рамы самоходной машины повышенной проходимости СМ

В стандартных тракторах все приборы и элементы управления машиной размещены по всему пространству кабины, что вызывает неудобство. На машине СМ панель управления установлена по центру – это позволяет водителю всегда иметь возможность контроля и облегчает доступ к системам управления. Вид сконструированной панели управления машины СМ представлен на рисунке 3. Панель управления для облегчения массы выполнена из алюминиевой пластины толщиной 3 мм. На панель установлены: спидометр, тахометр, электронный манометр, вольтметр, комбинированный прибор показывающий температуру и уровень топлива в бензобаке, замок зажигания, кнопка включения стартера, сигнала, габаритных огней, а также рукоятка управления воздушной заслонкой и рукоятка управления количеством подачи топлива.



Рис. 3. Вид сконструированной панели управления машины

Проектирование облегчённой муфты повышенной грузоподъемности для самоходной машины СМ

Так как стандартные муфты не удовлетворяли условиям снижения общей массы конструкции, уменьшения её габаритов, а также обеспечения высокого крутящего момента, для соединения вторичного вала понижающей коробки с первичным валом коробки переключения передач от ГАЗ 51 была сконструирована и рассчитана облегченная малогабаритная муфта с вкладышем. Муфта состоит из двух полу муфт и вкладыша [7]. В конструкции муфты вкладыш расположен на одной оси с валом, благодаря чему обеспечивается легкость сборки и разборки конструкции по сравнению с существующими муфтами. Вид муфты представлен на рисунке 4.

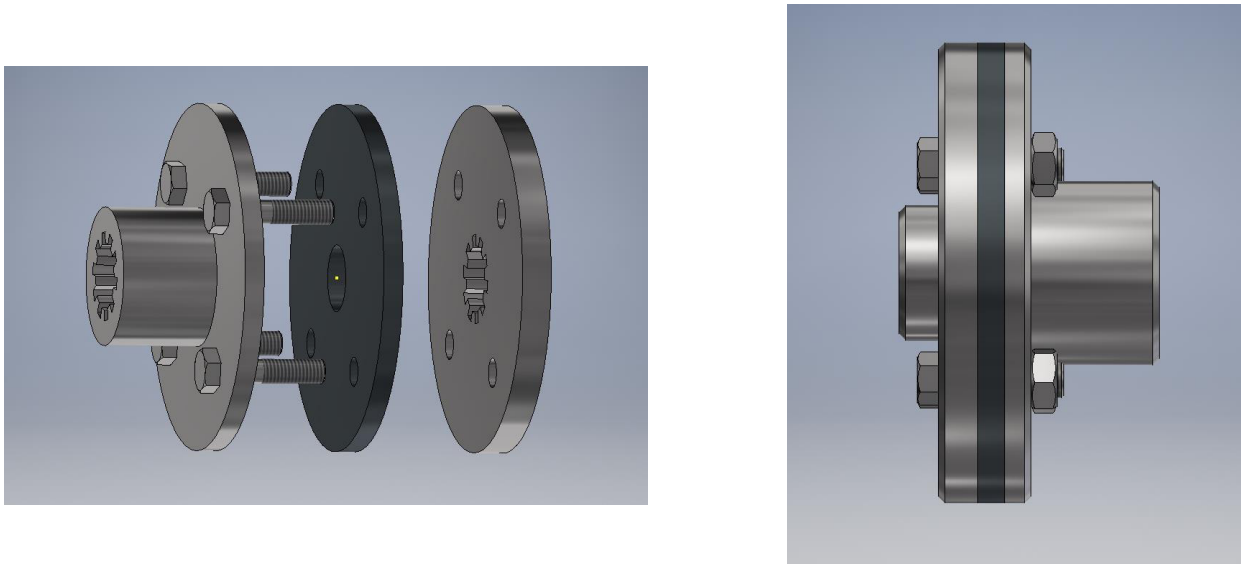


Рис. 4. Облегченная малогабаритная муфта с вкладышем

Муфта состоит из двух полу муфт и вкладыша. В конструкции муфты вкладыш расположен на одной оси с валом, благодаря чему обеспечивается легкость сборки и разборки конструкции по сравнению с существующими муфтами.

Основные параметры и расчет на прочность чугунного вкладыша

Вкладыш выполнен из чугуна марки СЧ20 ГОСТ1412-85, предел прочности $\sigma_B=200$ МПа, твердость 240 НВ. При проведении расчета на срез [8] необходимо определить нагрузку F на вкладыш по формуле:

$$F = T/d, \quad (1)$$

где T – крутящий момент; d – посадочный диаметр.

Далее определяется максимальное касательное напряжение τ_{max} по формуле:

$$\tau_{max} = \frac{T}{W_p} \leq [\tau], \quad (2)$$

где W_p – момент сопротивления сечения вала кручению, определяется по следующей формуле:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}, \quad (3)$$

В ходе работы были выполнены аналитические расчеты, позволившие оценить прочность вкладыша при заданной величине крутящего момента.

Результаты расчетов:

допустимое касательное напряжение на срез вкладыша $[\tau]_{\text{ср}}=80$ МПа,

крутящий момент $T=96$ Н·м,

нагрузка на вкладыш $F=48,08$ кН,

максимальное касательное напряжение $\tau_{\text{max}}=32,1$ МПа.

Видно, что расчетная нагрузка на вкладыш меньше допустимой, то есть условие прочности выполняется. Чугунный вкладыш обладает незначительной демпфирующей способностью, однако хорошо компенсирует угловые и линейные перемещения валов

Муфта с чугунным вкладышем и посадкой на валы с натягом

В первом варианте муфта с чугунным вкладышем имела посадку с натягом на валы и дополнительные болтовые соединения. Вид муфты с чугунным вкладышем и посадкой на валы с натягом представлен на рисунке 5.



Рис. 5. Вид муфты с чугунным вкладышем и посадкой на валы с натягом

Материал полумуфт Ст40 ГОСТ1050-88, предел прочности $\sigma_B=580$ МПа, предел текучести $\sigma_T=340$ МПа. При изготовлении полумуфт была произведена закалка до твердости 350 НВ, предел прочности 630 МПа.

Максимальная нагрузка соединения с натягом определяется [9] как:

$$KT \leq \frac{L \cdot f \cdot p \cdot \pi \cdot d^2}{2} \quad (4)$$

где KT – максимальная нагрузка на соединение с натягом, Н; L – длина посадки с натягом; f – коэффициент трения; p – удельное давление на поверхности контакта; d – наружный диаметр вала.

После проведения расчетов были получены следующие результаты:

Максимальная нагрузка на соединение с натягом 192 Н;

Длина посадки с натягом полумуфты 1 – $L=24$ мм,

длина посадки с натягом полумуфты 2 – $L=47$ мм;

Запас прочности посадки с натягом полумуфты 1 – 170 Н,

запас прочности посадки с натягом полумуфты 2 – 362 Н;

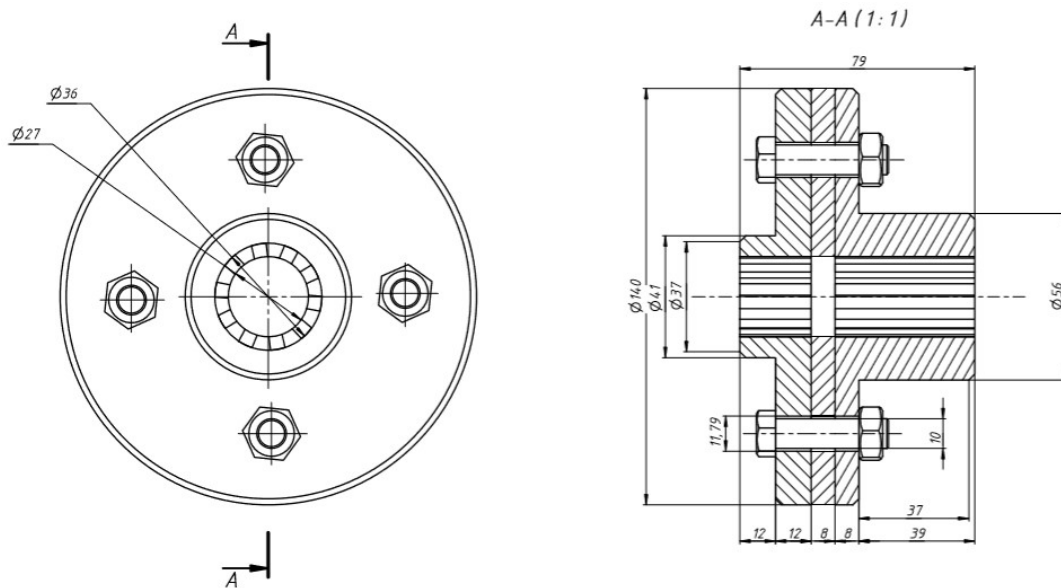
Условие прочности на смятие не выполняется, так как максимальная нагрузка на первой полумуфте больше запаса прочности.

Испытания самоходной машины повышенной проходимости СМ показали, что посадка с натягом не удовлетворяет условиям прочности.

Муфта с чугунным вкладышем и шлицевым соединением полумуфт с валами

Так как посадка с натягом не удовлетворила условиям прочности, была разработана муфта с чугунным вкладышем и шлицевым соединением полумуфт с валами [7]. Чертеж муфты с чугунным вкладышем и шлицевым соединением полумуфт с валами представлен на рисунке 6. Кроме того за счет отсутствия части болтовых креплений снижена общая масса конструкции.

Материал полумуфт и технология изготовления не изменена.



Рису. 6. Чертеж муфты с чугунным вкладышем и шлицевым соединением полумуфт с валами

Расчет муфты с чугунным вкладышем и шлицевым соединением полумуфт с валами
Напряжение смятия $\sigma_{см}$ вычисляется [9] по формуле:

$$\tau_{см} = \frac{T}{k_z \cdot Z \cdot f \cdot d_{ср} \cdot l} \quad (5)$$

где Z – количество шлицов на валу, $Z=10$; h – высота шлица, $h=4,5$ мм; k_z – коэффициент запаса; $d_{ср}$ – средний диаметр, $d_{ср}=29,5$ мм;

После проведения аналитических расчетов были получены следующие результаты:

диаметр под посадку с учетом высоты шлица $d=24$ мм,

диаметр под посадку без учета высоты шлица $D=35$ мм,

длина шлица полумуфты 1 – $L=24$ мм,

длина шлица полумуфты 2 – $L=47$ мм,

допустимое напряжение смятия шлицевого соединения $[\sigma]_{см} = 68,64$ МПа, расчетное напряжение смятия на боковых поверхностях зубьев для полумуфты 1 составило 63,32 МПа, для полумуфты 2 – 37,72 МПа.

Так как расчетное напряжение меньше допустимого, условие прочности выполняется.

Как показали расчеты, сконструированная муфта имеет небольшие габариты, массу $m=3,8$ кг, простую конструкцию и высокие технические характеристики. При заданных условиях чугунный вкладыш удовлетворяет условиям прочности.

Однако при резком увеличении крутящего момента вкладыш не выполняет роль демпфирующего элемента, поэтому при длительной работе рекомендуется заменить чугунный вкладыш на резиновый [6]. Конструкция муфты с резиновым вкладышем разработана отдельно. Вид муфты с резиновым вкладышем представлен на рисунке 7.



Рис. 7. Муфта с резиновым вкладышем

Передняя подвеска самоходной машины повышенной проходимости СМ

Так как стандартные варианты подвесок не удовлетворяли условиям устойчивости самоходной машины СМ, уменьшения её габаритов, а также обеспечения высокой проходимости, была сконструирована [10] передняя подвеска качающегося типа. Вид подвески представлен на рисунке 8.



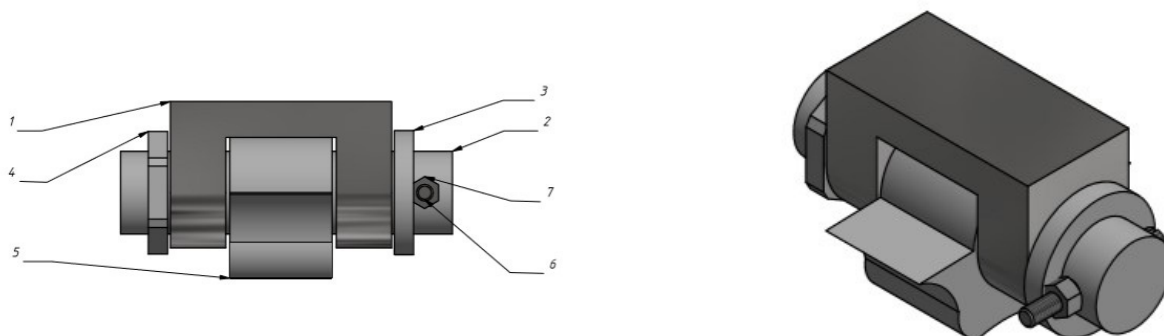
Рис. 8. Передняя подвеска самоходной машины СМ

Подвеска состоит из двух ступиц с подшипниками, балки и крепления к траверсе. За основу конструкции взята укороченная балка от автомобиля ГАЗ 53 [5] в форме двутавра. Длина балки ГАЗ 53 равна 1,52 метра, масса 34 килограмма. У сконструированной машины СМ длина балки составляет 0,9 метра, масса 16 килограмм. Вид передней балки от автомобиля ГАЗ 53 представлен на рисунке 9.



Рис. 9. Вид передней балки от автомобиля ГАЗ 53

В конструкции подвески осуществлена возможность качения всей подвески относительно рамы машины СМ, благодаря чему обеспечивается хорошая проходимость и устойчивость на сложном рельефе. Вид узла качения передней подвески представлен на рисунке 10. Чертеж узла качения передней подвески самоходной машины СМ приведен на рисунке 11.



1-крепление узла к траверсе; 2-палец; 3-шайба; 4-заглушка пальца; 5-передняя подвеска; 6-винт (ГОСТ 1491-80); 7-гайка (ГОСТ 15526-70).

Рис. 10. Вид узла качения передней подвески

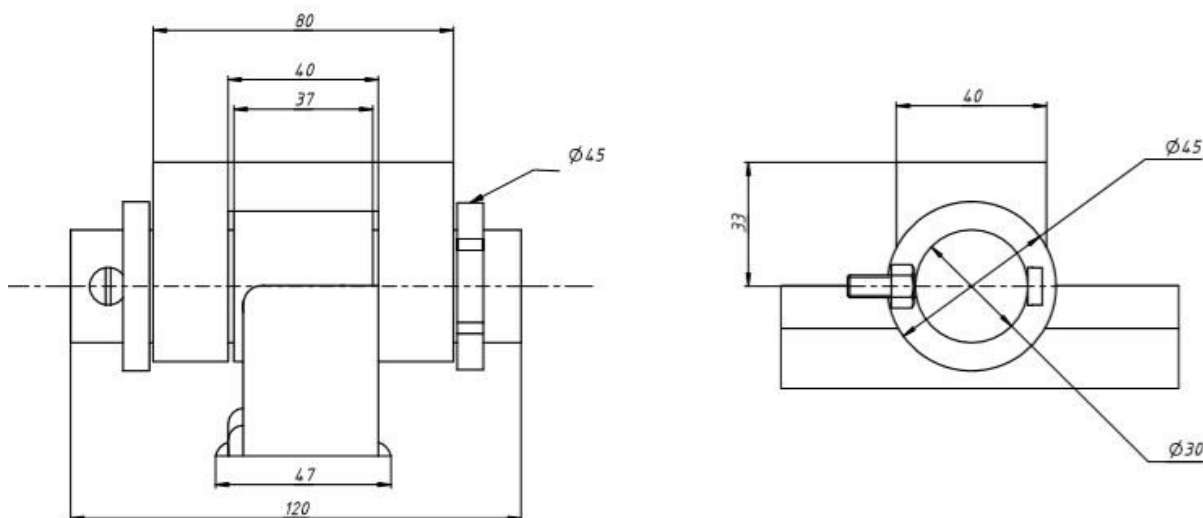


Рис. 11. Чертеж узла качения передней подвески самоходной машины СМ

Качение передней балки осуществляется за счет крепления к раме через палец. Такое закрепление даёт возможность осуществлять балке угловые перемещения (угол перемещения 45°). Палец с передней стороны имеет заглушку, с задней фиксируется шайбой и болтом. Угловое перемещение балки ограничено траверсой, поэтому при ударных нагрузках не происходит её повреждение. Общий вид передней подвески самоходной машины СМ представлена на рисунке 12.



Рис. 12. Общий вид передней подвески самоходной машины СМ

Материал передней подвески Ст45 ГОСТ1050-92, предел прочности $\sigma_B = 590$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 430$ МПа. При изготовлении подвески была произведена закалка до твердости 400 НВ, предел прочности 720 МПа. Чертеж сконструированной передней подвески самоходной машины СМ представлен на рисунке 13.

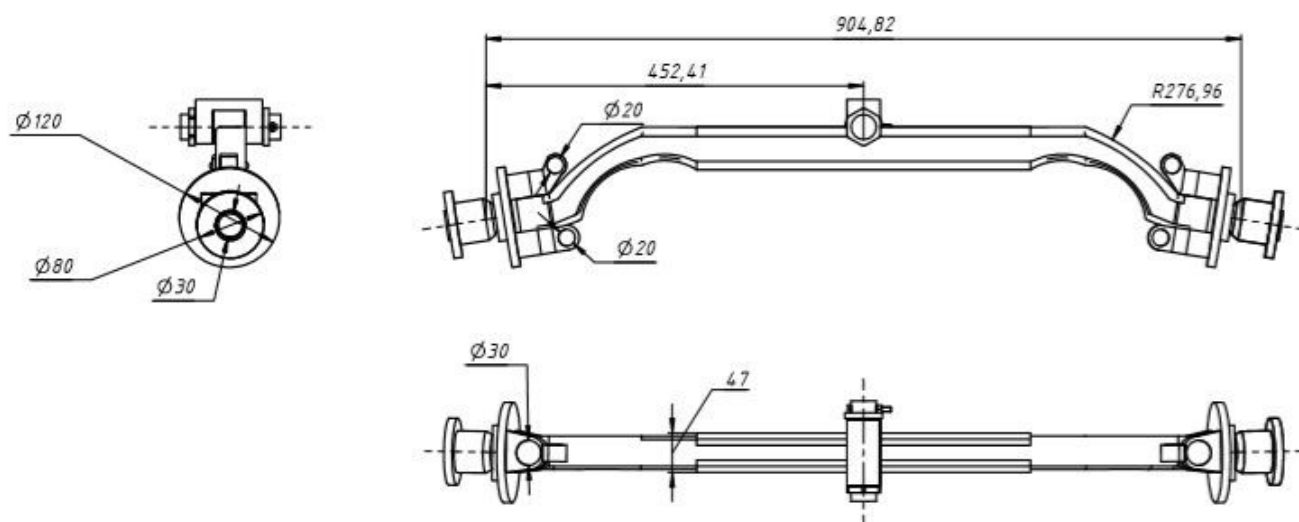


Рис. 13. Чертеж сконструированной передней подвески самоходной машины СМ

Передняя балка автомобиля ГАЗ 53 была укорочена при помощи болгарки и скреплена при помощи сварки. Поворотные кулаки и шкворни поворотных кулаков были взяты с автомобиля ГАЗ 53, ступицы передних колес с автомобиля Москвич 412 [11]. Также на переднюю балку был установлен узел качения. Вид передней подвески самоходной машины СМ приведен на рисунке 14.

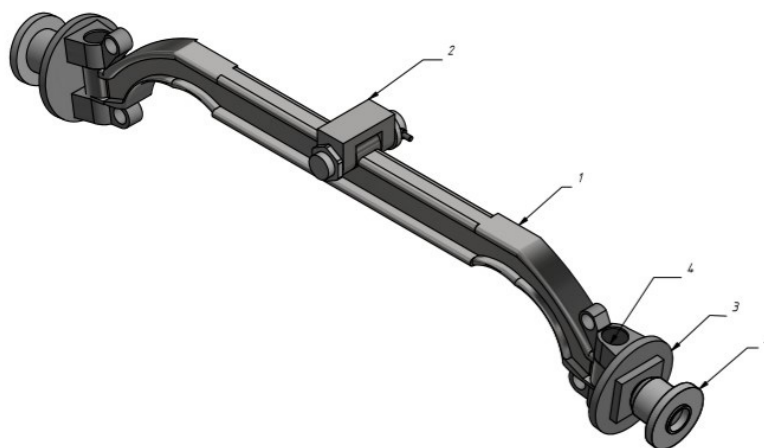


Рис. 14. Вид передней подвески самоходной машины СМ

1-балка передней подвески; 2-узел качения передней подвески; 3-поворотный кулак; 4-шкворень поворотного кулака; 5-передняя ступица автомобиля Москвич 412.

Были проведены аналитические расчеты, в ходе которых определили прогиб балки по следующей формуле [9]:

$$f = \frac{F_a \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J_x}$$

где f – прогиб балки, F_a – осевая сила, J_x – осевой момент инерции, E – модуль упругости легированной стали, l – длина балки.

После проведения аналитических расчетов были получены следующие результаты:

осевая нагрузка $F_a=1500$ Н;

нагрузка в креплениях $F_з=750$ Н;

максимальный прогиб $f=0,226$ мм;

максимальное изгибающее напряжение в опасном сечении $\sigma_{изг}=17,3$ МПа.

Так как расчетное напряжение меньше допустимого, условие прочности выполняется.

Разработанная конструкция передней балки имеет ряд преимуществ перед стандартными передними балками тракторов, которые изготавливаются из полых элементов, при этом прочность на смятие обеспечивается за счет увеличения толщины, что приводит к повышению общей массы. За счет большого количества комплектующих стандартные балки тракторов имеют более сложную конструкцию, что усложняет ремонт.

Передняя подвеска самоходной машины повышенной проходимости СМ обеспечивает высокую устойчивость автомобиля в условиях сложного рельефа, имеет по сравнению с подвесками грузовых автомобилей и тракторов низкую массу (16 килограмм), и длину в 1,7 раза меньше чем у ГАЗ 53.

Заключение

В соответствии с поставленными задачами была сконструирована и собрана самоходная машина повышенной проходимости СМ. В процессе создания основное внимание уделено проектированию конструкций рамы, передней подвески, муфты и панели управления.

Самодельная рама выполнена из труб, соединенных швеллером и уголками. Использовались задний мост от ГАЗ 51 и передняя балка от ГАЗ 53, которые были укорочены, что позволило существенно уменьшить габаритные размеры.

Сконструированная муфта имеет небольшие размеры и массу, простую конструкцию и высокие технические характеристики.

Разработанная передняя подвеска обеспечивает высокую устойчивость автомобиля в условиях сложного рельефа, имеет по сравнению с подвесками грузовых автомобилей и тракторов низкие массу и длину.

Масса автомобиля составляет 600 килограмм, габаритные размеры 2500*1500*1500 мм. При высокой проходимости машина имеет максимальную скорость 70 км/ч. Устойчивость в условиях сложного рельефа достигнута благодаря конструкции передней подвески. Расходы на комплектующие для сборки самоходной машины СМ составили 35 тысяч рублей.

На данный момент самоходная машина повышенной проходимости СМ прошла 1,5 года испытаний, по результатам которых были выявлены и устранены некоторые конструктивные недочеты.

Следует отметить универсальность сконструированной машины и большой диапазон выполняемых функций. На самоходной машине СМ предусмотрена установка отвала для чистки снега, что особенно актуально в зимнее время. В периоды весеннего, осеннего и летнего времени на машине СМ есть возможность установки гидравлической системы, что позволяет установить навеску в задней части машины, на которую можно ставить оборудования для пахоты и обработки полей: плуг, картофелекопалка, картофелесажалка и т.д. Благодаря установке коробки отбора мощности в предусмотренном для этого месте на коробке переключения передач ГАЗ 51, появится возможность сделать вал отбора мощности для работы с некоторым оборудованием и гидравлического насоса для работы гидравлической системы.

После всех проведенных исследований и испытаний можно отметить, что сконструированная самоходная машина повышенной проходимости СМ получилась универсальной как с точки зрения выполняемых работ, так и с точки зрения передвижения на ней по любому рельефу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишкин Н.Я. Самоходная машина повышенной проходимости СМ // Ассамблея студентов и школьников: Молодежь – будущее атомной промышленности России. Сборник научных трудов. XIII научно-практическая конференция. 24.11.2018, Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – с.33-34.
2. Шишкин Н.Я. Автомобиль для села своими руками / Ассамблея студентов и школьников: Молодежь – будущее атомной промышленности России. Сборник научных трудов. XIV научно-практическая конференция. 30.11.2019, Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – с.25-27.
3. Вершигора В.А., Золотарев Е.М., Игнатов А.П. и др. Автомобили ВАЗ 2101, ВАЗ 21011, ВАЗ 21013, ВАЗ 2102. – М.: Машиностроение, 1986.
4. Ипатов В.В., Коломейцев И.М., Лебедев О.Л., Румянцев А.Н. Разборка и сборка автомобиля ГАЗ 51. – М.: НТИ Автотранспортной литературы, 1956.
5. Бутусов А.М., Ширяев Г.А., Анисимов Г.Ф. Устройство, техническое обслуживание, ремонт автомобиля ГАЗ-53-12– М.: Транспорт, 1995.

6. Паршукова Н.Ю., Коробейников К.А., Шишкин Н.Я. Расчет и изготовление самодельного транспортного средства повышенной проходимости // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2019 по направлению «Инновационные ядерные технологии». Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. 18-20 декабря 2019г., Снежинск. М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – с.123-125.
7. Шишкин Н.Я. Проектирование облегченной муфты повышенной грузоподъемности для самоходной машины СМ// Ассамблея студентов и школьников: Молодежь – будущее атомной промышленности России. Сборник научных трудов. XIV научно-практическая конференция. 30.11.2019, Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – с.30-32.
8. Паршукова Н.Ю., Коробейников К.А., Гончарова Н.А. Увеличение компенсирующей способности облегченной муфты с резиновым вкладышем. – XIV научно-практическая конференция «Дни науки-2014». Тезисы докладов. Озерск, 25-26 апреля 2014 г. – Озерск: ОТИ НИЯУ МИФИ, 2014. – с.175-177.
9. Биргер И.Ф., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979.
10. Шишкин Н.Я. Передняя подвеска самоходной машины повышенной проходимости СМ // Ассамблея студентов и школьников: Молодежь – будущее атомной промышленности России. Сборник научных трудов. XIV научно-практическая конференция. 30.11.2019, Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – с.28-29.
11. Надежин Б.Н., Плеханов И.П. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию автомобиля Москвич-412. – М.: Транспорт, 1976.