

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.

Электрон. журн. 2023. № 4. С. 11 – 20.

DOI:

Представлена в редакцию: 24.11.2023

Принята к публикации: 10.12.2023

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 629. 1.04

Математическая модель снегохода для определения нагрузок в несущей системе

Лебедев Д.Р., * Левенков Я.Ю.,
Чичекин И.В.

* denis26788@mail.ru

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

При создании современных образцов снегоходной мототехники особое внимание следует уделить проектированию силовых элементов, в том числе несущих систем, что позволяет существенно повысить их эксплуатационные характеристики, такие как грузоподъемность, плавность хода, топливная экономичность и другие. Высокий уровень конкуренции в сегменте утилитарных снегоходов требует от разработчиков высокий уровень использования современных методов проектирования.

Несущая система снегохода, как правило, представляет собой сложную пространственную конструкцию, для проектирование которой необходимо знать направление и значение действующих на нее нагрузок со стороны основных узлов и агрегатов, таких как передняя и задняя подвески, рулевое управление, двигатель, трансмиссия, и другие.

В данной работе представлена математическая модель утилитарного снегохода, описанная в программе численного анализа динамики твердых тел, необходимая для определения значений сил и крутящих моментов, действующих в несущей системе снегохода. Для расчета были выбраны наиболее опасные нагрузочные режимы, возникающие при эксплуатации утилитарного снегохода. Полученные значения нагрузок можно использовать для проведения топологической оптимизации несущей системы снегохода с целью получения силовой схемы оптимальной с точки зрения массы и прочности.

Ключевые слова: снегоход, математическая модель, несущая система, нагрузочные режимы, динамика твердых тел, виртуальный прототип, нагрузки.

Введение

Снегоходная мототехника является основным наземным транспортным средством в заснеженных регионах, таких как северо-запад России, Сибирь, страны Северной Европы, Канада и т. д. Такой тип транспорта разработан для эксплуатации на снегу и льду в условиях бездорожья. Для некоторых регионов снегоход является единственным наземным транспортным средством для перевозки людей и грузов.

Высокий уровень конкуренции среди производителей снегоходной мототехники требует широкого использования современных методов проектирования, в том числе и при разработке силовых элементов конструкции. Среди них можно особо выделить несущие системы, т.к. устранение их неисправностей, возникших при эксплуатации, сопряжены с высокими материальными и временными затратами.

Одним из способов определения нагрузок, действующих в несущей системе снегоходного транспортного средства, является метод математического моделирования в программе численного анализа динамики твердых тел. Полученные значения сил и моментов можно использовать для проведения топологической оптимизации с целью создания прочных, жестких и легких несущих конструкций.

Описание модели утилитарного снегохода

Для определения нагрузок на несущую систему утилитарного снегохода была создана математическая модель в программе численного анализа динамики твердых тел [1,2,3,4]. Основные геометрические размеры перенесены с твердотельной модели снегохода. Внешний вид исходной геометрии снегохода и основные звенья показаны на рисунке 1.

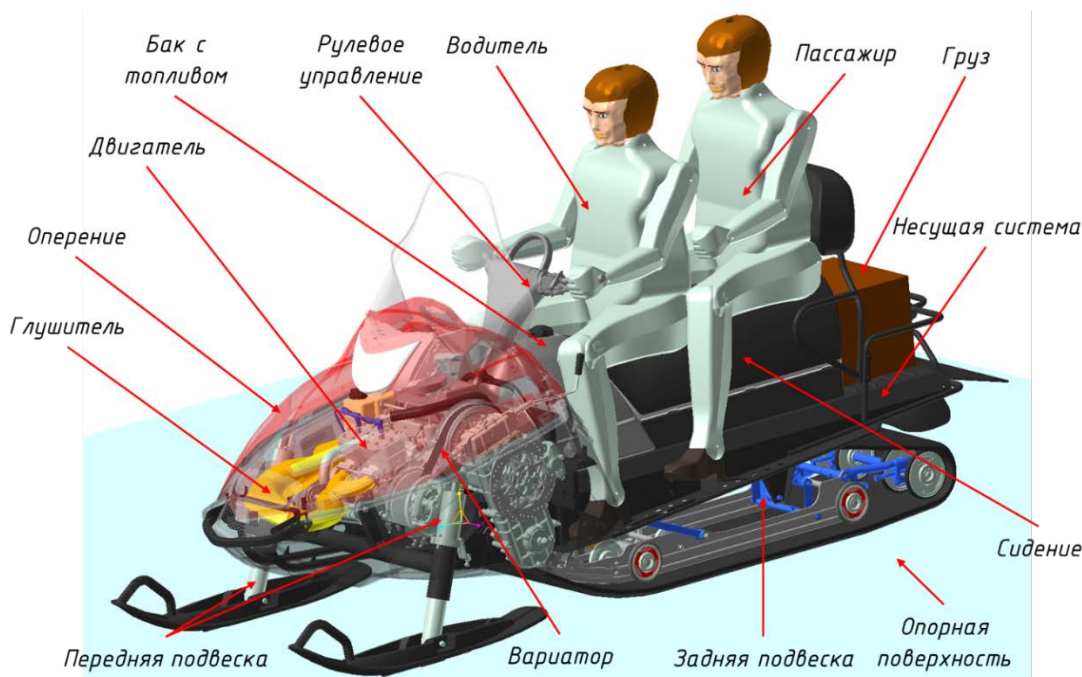


Рис. 1. Общий вид CAD модели снегохода

Модель снегохода включает в себя подсистемы:

- передней подвески;
- задней подвески;
- рулевого управления;
- несущей систем;
- несущей системы с размещенной полезной нагрузкой.

При построении модели и проведении расчетов выполнены следующие допущения:

- 1) все звенья механизма являются абсолютно жестким, недеформируемыми телами;
- 2) трения в шарнирах отсутствует;
- 3) опорная поверхность является абсолютно твердой;

4) модель водителя и пассажира в процессе моделирования не изменяют своего положения;

5) влияние работы ДВС и трансмиссии на нагрузки на несущую системы не учитываются.

На рисунке 2 представлены положения и массы основных звеньев системы.

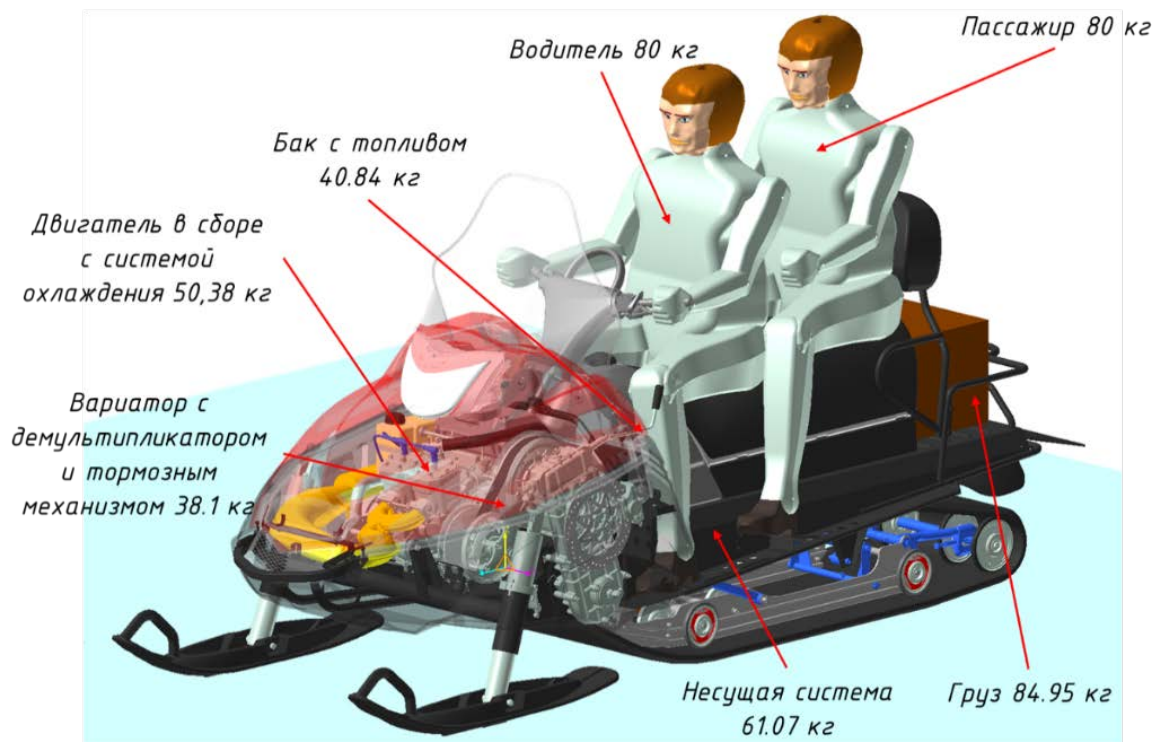


Рис. 2. Массовые характеристики основных звеньев системы

На рисунке 3 показан центр масс снегохода с людьми и грузом (а) и без (б). Глобальная система координат показана на рисунке 4.



Рис. 3. Центр масс снегохода: а – с людьми и грузом, б – без людей и груза

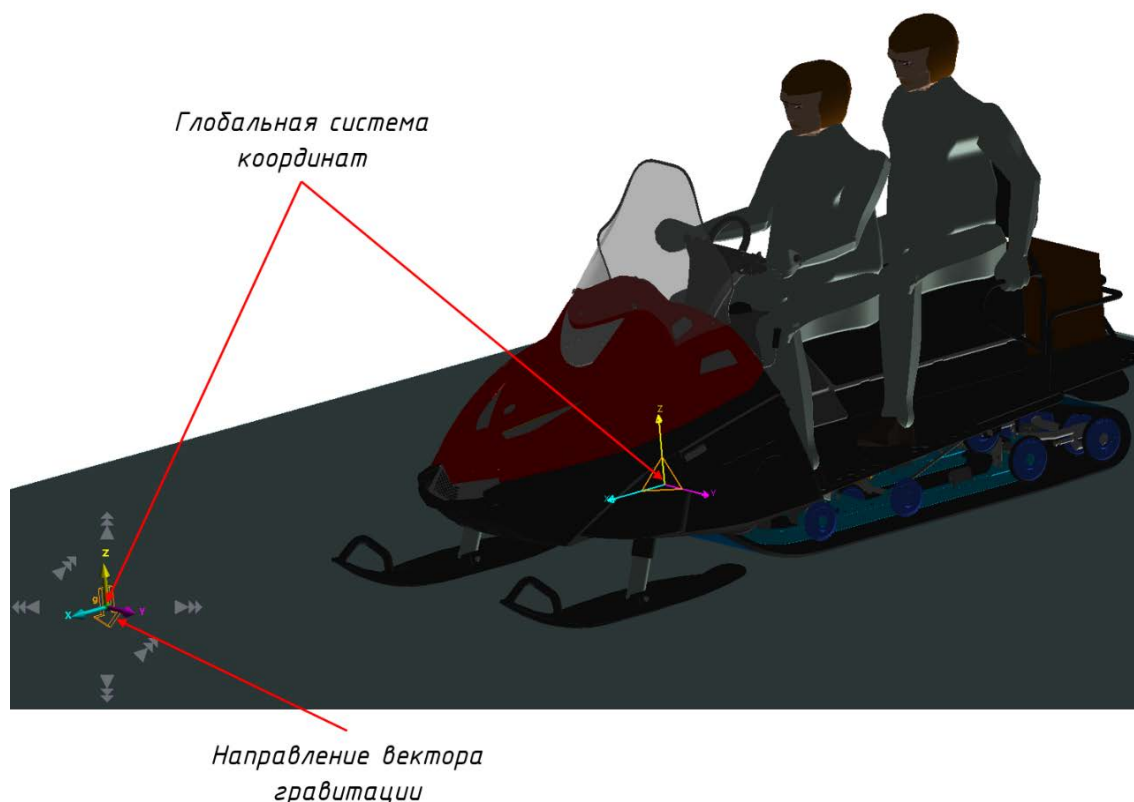


Рис. 4. Глобальная система координат

Для определения сил и крутящих моментов, действующих на элементы несущей системы, исходя из назначения утилитарного снегохода и опыта его эксплуатации, выбраны наиболее опасные нагрузочные режимы. Для дальнейшего моделирования выбрано одиннадцать нагрузочных режимов, представленных ниже:

- 1) статика: стоянка на месте с гравитацией $1g$;
- 2) движение с максимальной тягой на гусенице;
- 3) торможение с максимальным замедлением 9 м/сек^2 ;
- 4) движение в горку с углом 45 градусов;
- 5) движение с горы с углом 45 градусов;
- 6) движение с усилием на заднем крюке $F_{кр} = 5000\text{Н}$;
- 7) движение с усилием на переднем креплении $F_{кр} = 5000\text{Н}$;
- 8) движение в повороте с минимальным радиусом $R = 20 \text{ м}$ и максимальной скоростью по условию отсутствия опрокидывания;
- 9) движение по косоугору с критическим углом крена по перевороту;
- 10) упор передних лыж в препятствие с одновременной максимальной тягой на гусенице;
- 11) равномерная вертикальная перегрузка $3g$.

Далее на рисунках 5,6,7 и 8 представлены общие виды передней подвески, задней подвески, рулевого управления и несущей системы с указанием шарниров соответственно.

Все звенья передней подвески связаны между собой жесткими шаровыми шарнирами и шарнирами вращения. Крепление верхних и нижних рычагов к несущей системе снегохода задано упругими втулками (Bushings). Такой способ крепления позволяет автоматизировано передавать все нагрузки в точках крепления на несущую систему.

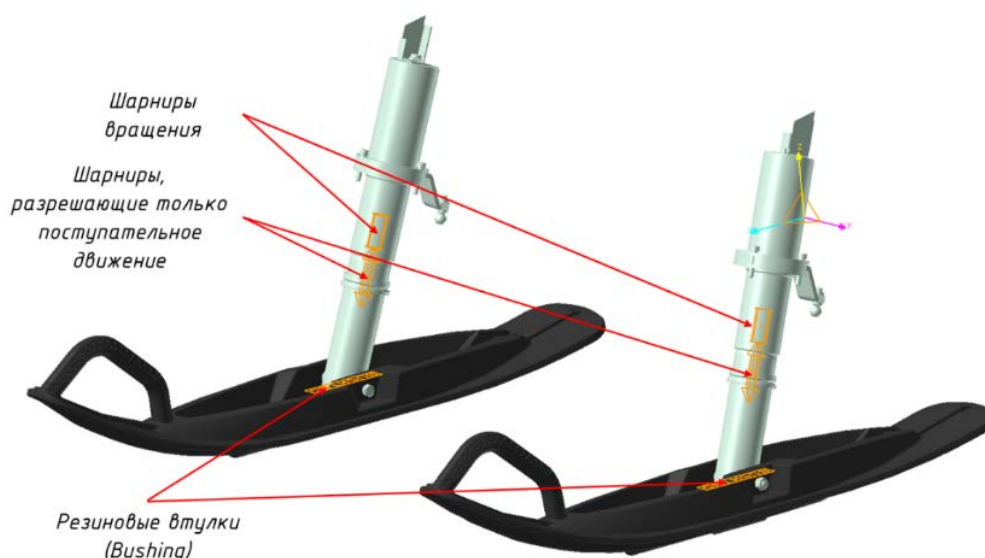


Рис. 5. Схема размещения шарниров в модели передней подвески снегохода

Все звенья задней подвески связаны между собой жесткими шарнирами вращения. Крепление верхних и нижних рычагов к несущей системе снегохода задано упругими резиновыми втулками (Bushing). Такой способ крепления позволяет автоматизировано передавать все нагрузки в точках крепления на несущую систему. Направляющие ролики гусеницы соединённые с направляющей гусеницы шарнирами вращения.

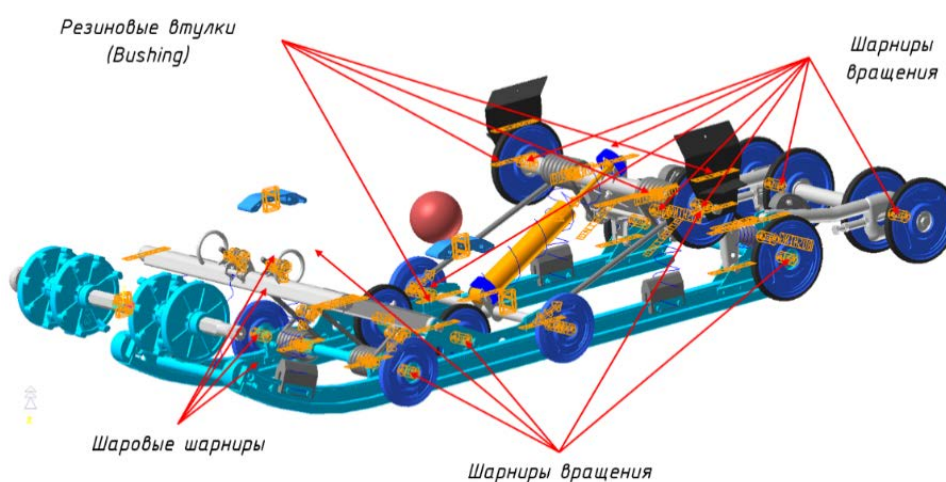


Рис. 6. Схема размещения шарниров в модели задней подвески снегохода

Рулевой вал соединён жестко с рулевой сошкой, и соединён с несущей системой шарниром вращения. Для фиксирования рулевого вала от поворота звеньев друг относительно друга. Соединение рулевой сошки и стоек подвески задано шарнирами постоянной длины.

При расчете нагрузок на несущую систему в приложении по расчету динамики твердых тел несущая система принимается абсолютно жестким недеформируемым единым телом, на которую в точках соединения передаются нагрузки. Для расчетов МКЭ несущей системы экспортируются все усилия в этих точках соединения в ее системе координат.

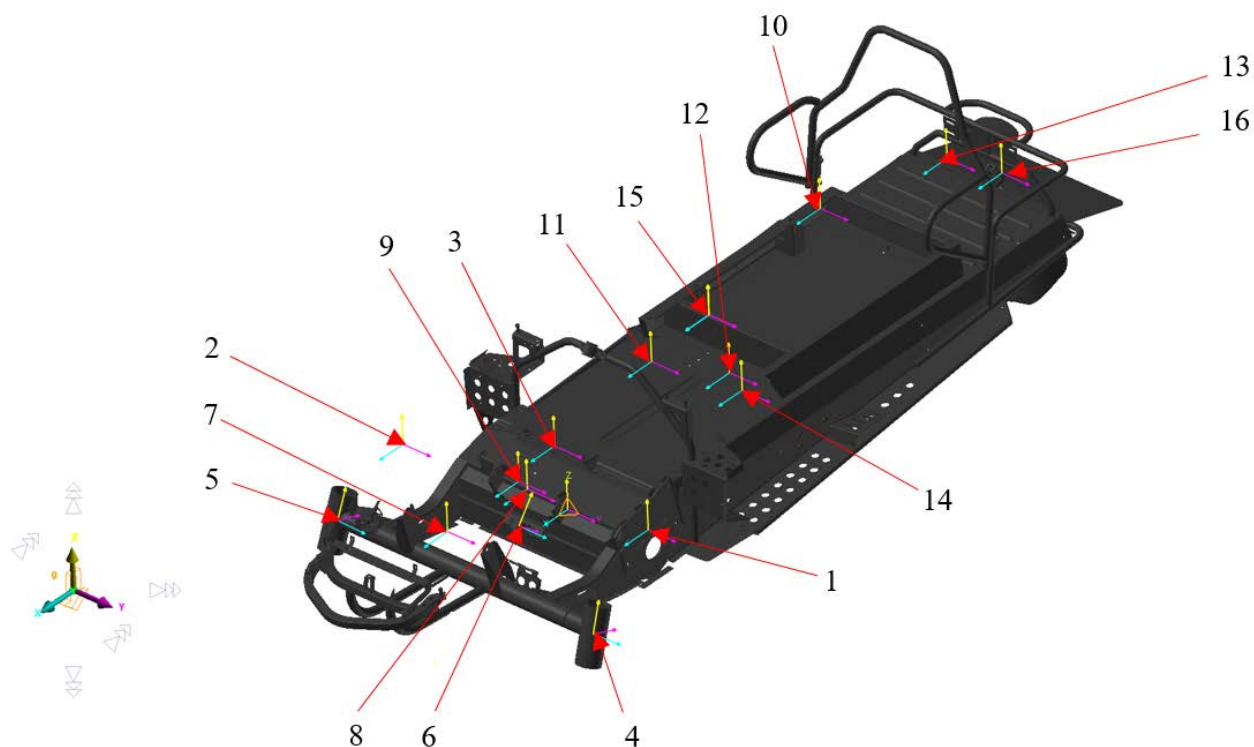


Рис. 8. Схема размещения шарниров соединения несущей системы снегохода

1 - маркер шарнира трансмиссии, 2 - маркер шарнира выхлопной системы, 3 - маркер шарнира воздушного фильтра, 4 - маркер шарнира передней левой подвески, 5 - маркер шарнира передней правой подвески, 6 - маркер шарнира нижней опоры рулевого вала, 7 - маркер шарнира передней опоры двигателя, 8 - маркер шарнира задней опоры двигателя, 9 - маркер шарнира оперения, 10 - маркер шарнира сидения, 11 - маркер шарнира топливного бака, 12 - маркер шарнира крепления аккумулятора, 13 - маркер шарнира крепления груза, 14 - маркер шарнира крепления задней подвески, 15 - маркер центра масс, 16 - маркер буксировочного устройства

Опорная поверхность задана параллелепипедом, взаимодействие с движителями осуществляется в модели 3D контактами в которых рассчитываются нормальные реакции. Для обеспечения удерживания снегохода на месте в контакте включено трение.

Моделирование всех нагрузочных режимов с достаточной степенью точности можно произвести изменением направления вектора гравитации g с приложением внешней нагрузки. Изменение направления или значения вектора гравитации g в применяемом приложении по расчету динамики твердых тел осуществляется вводом проекций вектора гравитации на оси глобальной системы координат. Исходные данные для моделирования сведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные к моделированию расчетных случаев

№ п/п	Проекции вектора гравитации g , мм/с ²			Внешняя сила, Н		Место приложения нагрузки
	X	Y	Z	X	Y	
1.	0	0	-9806.65	0	0	
2.	0	0	-9806.65	-4161	0	Ц.м.
3.	0	0	-9806.65	5400	0	Ц.м
4.	-6934.349	0	-6934.349	0	0	
5.	6934.349	0	-6934.349	0		
6.	0	0	-9806.65	5000	0	Задний крюк
7.	0	0	-9806.65	-5000	0	Передняя точка, на расстоянии 3000 мм от переднего края снегохода
8.	0	0	-9806.65	2083	0	Ц.м.
9.	0	0	-9806.65			
10.	0	0	-9806.65	4161		Центр направляющей гусеницы
11.	0	0	-29419.95	0	0	

Заключение

В результаты моделирования получили нагрузки, действующие в несущей системе снегохода. Полученные силы и крутящие моменты можно использовать для расчета на прочность рамы снегохода, а также для проведения топологической оптимизации в целях улучшения эксплуатационных свойств снегохода.

Список литературы

1. Mike Dempsey, Garron Fish, Juan Gabriel Delgado Beltran. High fidelity multibody vehicle dynamics models for driver-in-the-loop simulators/ Proceedings of the 11th International Modelica Conference September 21-23, 2015, Versailles, France. P 273 - 280.
2. Farid M. L. Fundamentals of multibody dynamics: theory and applications. Birkhauser - 2006.
3. Ryan R.R. ADAMS / R.R. Ryan // In Supplement to Vehicle System Dynamics. - 1993. - V. 22. - P. 144-152.
4. Craig, M. Bampton, Coupling of substructures for dynamic analysis, Amer. Inst. Aero. Astro. J. 6 (7) (1968)1313–1319.

АВТОРЫ

Лебедев Денис Романович, аспирант, кафедра СМ10 «Колесные машины» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана» (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), +7 962 917 56 20, denis26788@mail.ru. ORCID 0000-0002-7558-611X.

Левенков Ярослав Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра СМ10 «Колесные машины» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана» (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), +7 916 904 66 60, lique87@mail.ru. ORCID 0000-0001-6556-3232.

Чичекин Илья Викторович, кандидат технических наук, доцент, кафедра СМ10 «Колесные машины» ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана» (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), +7 915 289 07 37 hiv2@mail.ru. ORCID 0000-0001-7632-7657.

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2023. № 4. pp. 11 – 20.*

DOI:

Received: 24.11.2023

Accepted for publication: 10.12.2023

© International Public Organization “Integration strategy”

Mathematical model of a snowmobile for determining loads in carrier system

Denis R. Lebedev*,
Yaroslav Y. Levenkov,
Ilya V. Chichekin

* denis26788@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

When creating modern models of snowmobile motor vehicles, special attention should be paid to the design of power elements, including carrier systems, which can significantly increase their performance characteristics, such as load capacity, ride smoothness, fuel efficiency, and others. The high level of competition in the utility snowmobile segment requires designers to use a high level of modern design methods.

The carrying system of a snowmobile, as a rule, is a complex spatial structure, for the design of which it is necessary to know the direction and value of the loads acting on it from the side of the main components and assemblies, such as front and rear suspensions, steering, engine, transmission, and others.

This paper presents a mathematical model of a utility snowmobile, described in the program for numerical analysis of the dynamics of rigid bodies, necessary to determine the values of forces and torques acting in the snowmobile's carrier system. For the calculation, the most dangerous load modes were selected, corresponding to a utility snowmobile. The obtained load values can be used to carry out the topological optimization of the snowmobile carrier system in order to obtain an optimal power circuit in terms of weight and strength.

Keywords: snowmobile, mathematical model, carrier system, load modes, rigid body dynamics, virtual prototype, loads.

References

1. Mike Dempsey, Garron Fish, Juan Gabriel Delgado Beltran. High fidelity multibody vehicle dynamics models for driver-in-the-loop simulators/ Proceedings of the 11th International Modelica Conference September 21-23, 2015, Versailles, France. P 273 - 280.
 2. Farid M. L. Fundamentals of multibody dynamics: theory and applications. Birkhauser - 2006.
 3. Ryan R.R. ADAMS / R.R. Ryan // In Supplement to Vehicle System Dynamics. - 1993. - V. 22. - P. 144-152.
 4. Craig, M. Bampton, Coupling of substructures for dynamic analysis, Amer. Inst. Aero. Astro. J. 6 (7) (1968)1313–1319.
-

AUTHORS

Denis R. Lebedev, graduate student of the "Wheeled Machines" Department of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Bauman str., 5, p. 1, 105005, Russian Federation, +7 962 917 56 20, denis26788@mail.ru. ORCID 0000-0002-7558-611X.

Yaroslav Y. Levenkov, candidate of technical sciences, docent of the Department "Wheeled Machines" of the Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Bauman str., 5, p. 1, 105005, Russian Federation, +7 916 904 66 60, lique87@mail.ru. ORCID 0000-0001-6556-3232.

Ilya V. Chichekin, candidate of technical sciences, docent of the Department "Wheeled Machines" of the Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Bauman str., 5, p. 1, 105005, Russian Federation, +7 915 289 07 37 hiv2@mail.ru. ORCID 0000-0001-7632-7657.