

МАШИНОВЕДЕНИЕ, СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ И ДЕТАЛИ МАШИН

УДК 629.33

Гончарко А. А., Кравченко Алексей Л., Кравченко Александр Л.,
Колесникович А. Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДНЕЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ ТРЕХОСНОГО ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ С ПОДЪЕМНОЙ ОСЬЮ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Разработаны методические рекомендации по моделированию задней пневматической подвески грузового автомобиля с дополнительной подъемной осью. Приведен пример моделирования задней пневматической подвески трехосного грузового автомобиля с подъемной осью в программе ADAMS. Показаны особенности моделирования пневматических упругих элементов и выбора коэффициентов жесткости в зависимости от требуемой высоты пневматической подвески и соответствующей нагрузки на оси для груженого и снаряженного состояния. Проведена верификация динамической модели задней подвески грузового автомобиля. Расчетная модель задней пневматической подвески в составе трехосного грузового автомобиля апробирована по методике оценки плавности хода на рабочем месте водителя при моделировании движения автомобиля.

Введение. Подвеска автомобиля обеспечивает упругую связь между несущей системой и колесами автомобиля, уменьшает динамические нагрузки на несущую систему и колеса. В подвесках грузовых транспортных средств в качестве упругих элементов часто применяются пневмобаллоны. В отличие от рессор, у пневмобаллонов нелинейная характеристика сжатия, за счет чего подвеску можно спроектировать более комфортной. Вторым преимуществом пневматической подвески является то, что давление в пневмобаллонах можно регулировать и таким образом изменять грузоподъемность и высоту подвески. Это преимущество было использовано при проектировании грузового автомобиля с подъемной задней осью, где путем регулирования давления в пневмобаллонах и, соответственно, высоты уровня установки подвески достигалось требуемое распределение нагрузки по осям. Дополнительная подъемная ось автомобиля имеет односкатную ошиновку и соединяется с рамой посредством двухбаллонной пневматической подвески, задний мост имеет двухскатную ошиновку и установлен на четырехбаллонной пневматической подвеске.

В литературных источниках рассмотрены различные подходы к моделированию пневматических подвесок. В работах [1–3] приведены классические подходы к составлению расчетных схем подвесок, включая и пневматические. Упругие элементы подвесок смоделированы однокомпонентными пружинами с заданными коэффициентами жесткости. Направляющий аппарат подвески зачастую не учитывается, или представлен в упрощенном виде. В работах [4–8] рассмотрены современные подходы к моделированию пневматических подвесок с использованием программы MATLABSimulink, в которых также не учитывались особенности компоновки элементов подвесок в трехмерном пространстве и направляющий аппарат подвески.

Рассмотренные примеры и подходы к моделированию пневмоподвесок не учитывают особенности компоновки подвески и специфику разработки динамической модели пневматической подвески в программе ADAMS. Целью настоящей работы была разработка методических рекомендаций, позволяющих создать динамическую модель пневматической подвески в программе ADAMS. В связи с этим были поставлены задачи разработки, верификации и апробации динамической модели на примере моделирования задней пневматической подвески грузового автомобиля в программе ADAMS.

Система регулирования пневматической подвески изменяет давление и объем воздуха в зависимости от приходящейся нагрузки и заданной высоты рамы. Таким образом, жесткостные характеристики пневмобаллонов являются варьируемыми параметрами, изменяющимися в зависимости от внешних нагрузок. Характеристик, приведенных в технической документации [9] на пневмобаллоны (рис. 1), для моделирования недостаточно, т. к. они только частично определены для заданных давлений и не учитывают текущую нагрузку, приходящуюся на пневмобаллон при заданной высоте рамы и пневматической подвески. Приведенные графические зависимости указывают на рабочий диапазон коэффициентов жесткости и не позволяют получить значения коэффициентов жесткости пневмобаллонов для заданных нагрузок и высоты подвески.

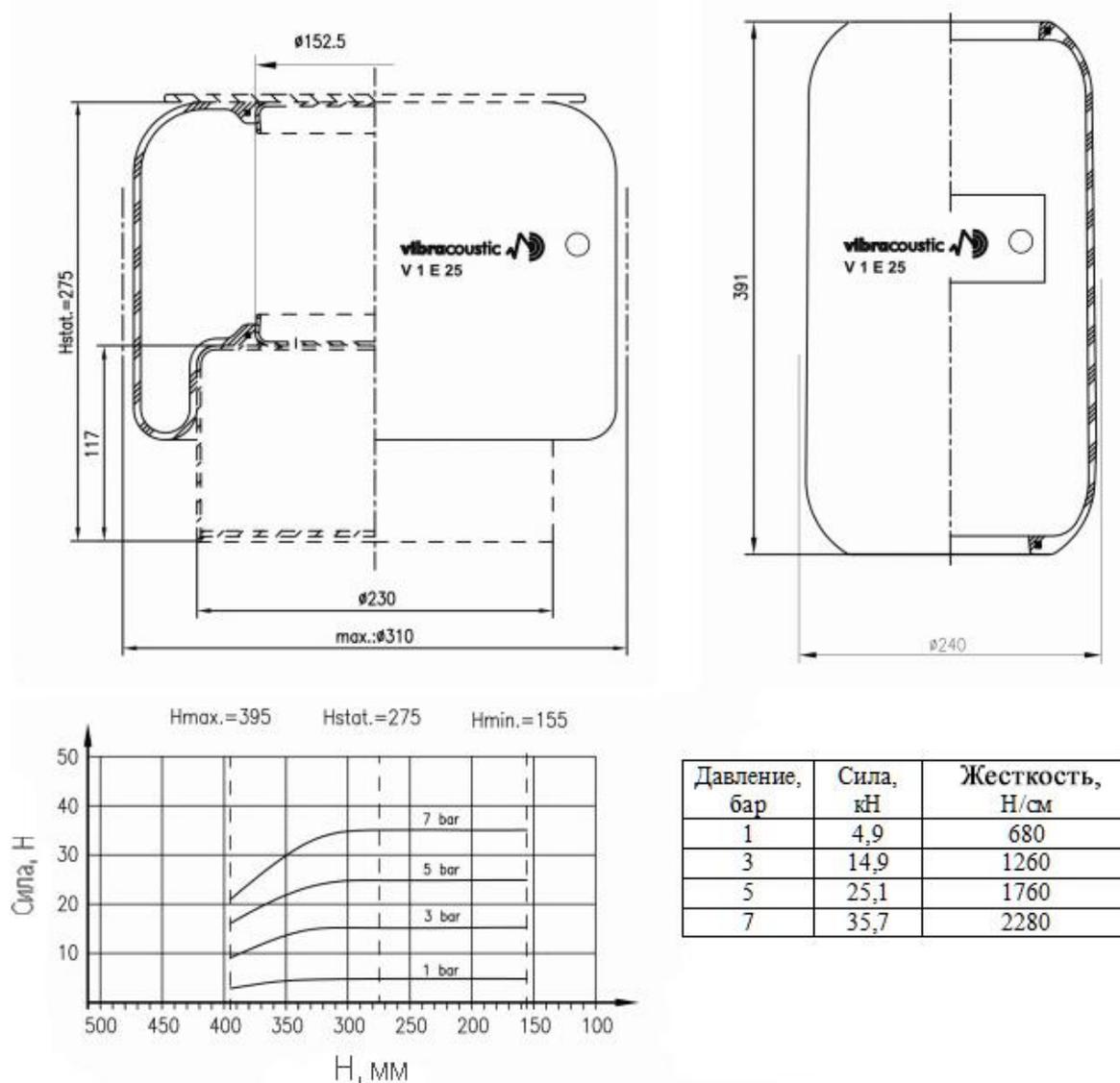


Рис. 1. Характеристики пневмобаллона [9]

Программа моделирования динамики и кинематики ADAMS позволяет в трехмерной среде разрабатывать полнокомплектные динамические модели транспортных средств и их отдельных узлов с учетом кинематики всех элементов, входящих в состав узла, и их пространственного расположения. Таким образом, решаются вопросы корректного учета влияния направляющего аппарата и особенностей компоновки задней подвески при моделировании воздействия возмущающих внешних сил.

Моделирование пневматической подвески в ADAMS. При разработке динамической модели задней пневматической подвески в программе ADAMS в трехмерной среде воспроизведена ее кинематическая схема с размерами деталей в соответствии с конструкторской документацией. Кинематические звенья, составляющие подвеску (рычаги, элементы мостов и балок), заданы абсолютно жесткими телами с соответствующими параметрами масс и моментов инерции, их степени свободы ограничены в соответствии с типом шарниров. Упругодемпфирующие свойства элементов подвесок заданы коэффициентами жесткости и демпфирования соответственно. Тестирование разработанной модели задней подвески проводилось в составе полнокомплектной динамической модели трехосного грузового автомобиля с заданными параметрами развесовки, представленными в табл. 1.

Таблица 1 – Распределение массы автомобиля по осям

Состояние автомобиля	Масса, кг	Масса на 1-ю ось, кг	Масса на 2-ю ось, кг	Масса на 3-ю ось, кг
Снаряженное	16500	6000	7000	3500
Груженое	26500	7500	11500	7500

В модели для обеспечения горизонтального положения рамы при заданной высоте пневматической подвески и соответствующей нагрузке на пневмобаллон были рассчитаны коэффициенты жесткости пневмобаллонов для каждой оси и весового состояния соответственно.

Пневмобаллоны задней подвески грузового автомобиля моделировались в виде пружин с рассчитанными характеристиками жесткости. Для обеспечения горизонтального положения рамы в статическом положении в первоначальный момент времени пружина моделировалась с преднатягом. Характеристики демпфирования заданы исходя из рассчитанных коэффициентов демпфирования с относительным коэффициентом затухания $\psi = 0,2$ [3].

Общий вид модели задней подвески в программе ADAMS приведен на рис. 2.

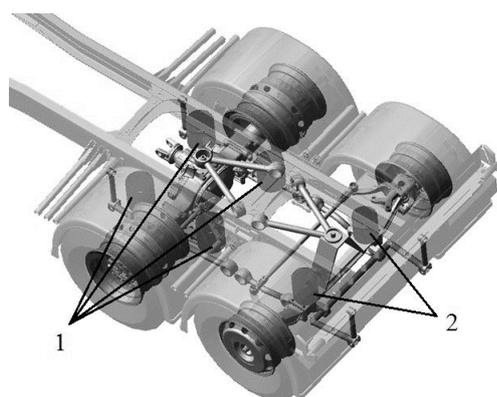


Рис. 2. Общий вид модели задней подвески в программе ADAMS:
1 – пневмобаллоны заднего моста; 2 – пневмобаллоны задней подъемной оси

Расчетные значения параметров жесткостных характеристик пневмобаллонов ($c1$ – коэффициент жесткости пневмобаллонов ведущего моста, $c2$ – коэффициент жесткости

пневмобаллонов подъемной оси) задней подвески для различных состояний грузового автомобиля представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициентов жесткости пневмобаллонов

Состояние автомобиля	Коэффициент жесткости	
	$c1$, Н/мм	$c2$, Н/мм
Снаряженное	211	180
Груженое	220	220

Верификация динамической модели задней подвески проведена в результате статического анализа путем сравнения расчетного значения высоты верхней полки лонжерона (относительно опорной поверхности) с заданным значением $h_{mn} = 950$ мм для снаряженного и груженого состояния автомобиля. Расчетное значение высоты пневмоподвески составило $h_{mn} = 949,9$ мм. Значения полученных параметров приведены на расчетной схеме (рис. 3).

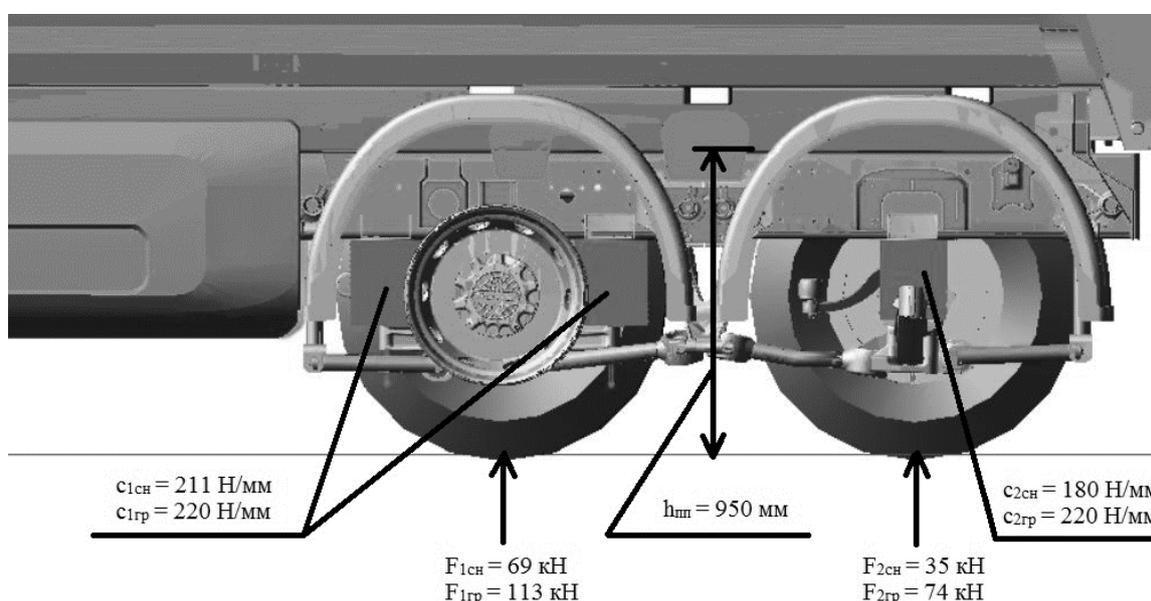


Рис. 3. Расчетная схема статического анализа подвески

Апробация динамической модели задней подвески выполнена в составе полнокомплектной динамической модели грузового автомобиля на примере оценки плавности хода автомобиля при движении по дороге «булыжная мостовая» со скоростью 40 км/ч [10]. Полученные расчетные значения вертикальных виброускорений были оценены по критерию общей вибрации для 1 категории [11]. Графики вертикальных ускорений и спектральных мощностей виброускорений на рабочем месте водителя представлены на рис. 4, 5, результаты представлены в табл. 3.

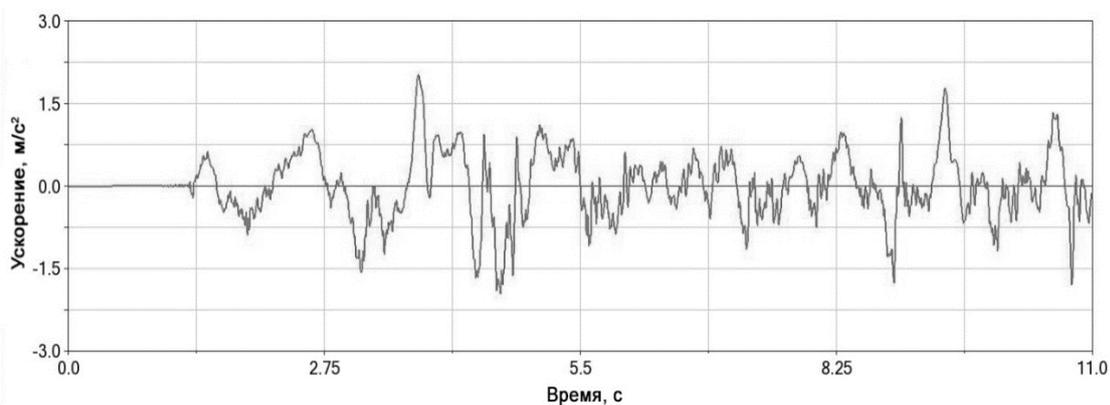


Рис. 4. График вертикальных ускорений

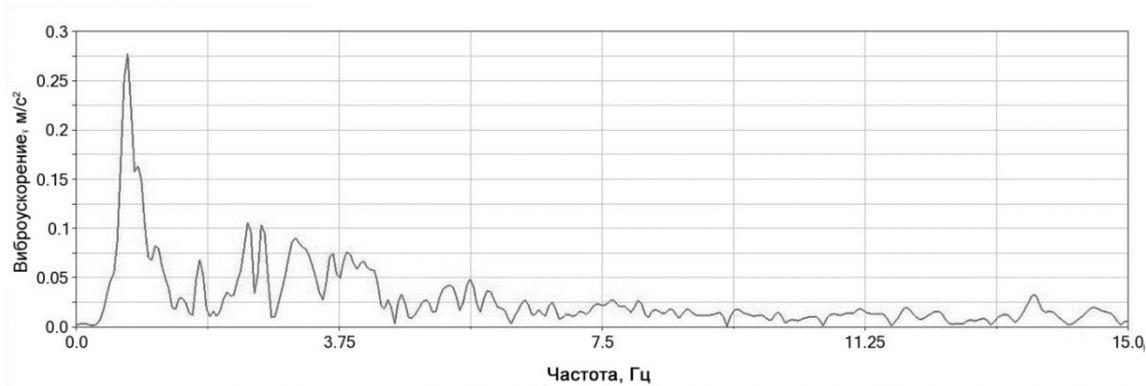


Рис. 5. График амплитудно-частотной характеристики виброускорений

Таблица 3 – Корректированные среднеквадратичные значения виброускорений в 1/3 октавных полосах

Среднегеометрические частоты 1/3 октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения виброускорений, м/с ²	Результаты расчета виброускорений, м/с ²
0,80	0,7100	0,0144
1,00	0,6300	0,0138
1,25	0,5600	0,0304
1,60	0,5000	0,1221
2,00	0,4500	0,1749
2,50	0,4000	0,3951
3,15	0,3550	0,3498
4,00	0,3150	0,1894
5,00	0,3150	0,1260
6,30	0,3150	0,1219
8,00	0,3150	0,1119
10,00	0,4000	0,0632
12,50	0,5000	0,0450
16,00	0,6300	0,0361
20,00	0,8000	0,0185
25,00	1,0000	0,0089
31,50	1,2500	0,0059
40,00	1,6000	0,0043
50,00	2,0000	0,0030
63,00	2,5000	0,0021
80,00	3,1500	0,0015

Анализ результатов расчетов показал (см. табл. 3), что расчетные значения виброускорений на рабочем месте водителя не превышают предельно допустимые значения на всех 1/3 октавных полосах частот.

Заключение. Применение компьютерных программ моделирования позволяет исследовать сложные системы автомобиля, сокращая временные и материальные затраты на проектирование. Анализ литературных источников показал, что рассмотренные методики моделирования не в достаточной мере подходят для создания расчетных динамических моделей двух- и четырехбаллонных пневматических подвесок из-за упрощения направляющего аппарата подвески.

В ходе исследования разработаны методические рекомендации по моделированию пневматической задней подвески, с учетом конструкции направляющего аппарата. Разработана динамическая модель задней пневматической подвески трехосного грузового автомобиля с дополнительной подъемной осью в программе ADAMS. В соответствии с предложенными методическими рекомендациями рассчитаны коэффициенты жесткости пневмобаллонов заднего моста и подъемной оси 211 Н/мм и 180 Н/мм в снаряженном и 220 Н/мм и 220 Н/мм в груженом состоянии соответственно. Проведены верификация динамической модели задней пневматической подвески и ее апробация в составе полнокомплектной динамической модели автомобиля на примере расчета показателя плавности хода на рабочем месте водителя при движении по дороге «булыжная мостовая» со скоростью 40 км/ч. Отклонение расчетного значения высоты верхней полки лонжерона (относительно опорной поверхности) от заданного значения $h_{mn} = 950$ мм не превысило 0,5 мм. Расчетные значения виброускорений на рабочем месте водителя не превысили предельно допустимые значения на всех 1/3 октавных полосах частот на выбранном режиме нагружения.

Предложенные методические рекомендации могут быть использованы для создания расчетной компьютерной модели задней пневматической подвески, которая в составе динамической модели грузового автомобиля применима для проведения виртуальных испытаний по оценке показателей плавности хода, управляемости, устойчивости и маневренности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян Р. А. Пневматическое поддрессирование автотранспортных средств (вопросы теории и практики). Часть 1. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов, ун-те, 1979. – 218 с.
2. Гришкевич А. И. Автомобили. Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть: Учебник для вузов. – Мн.: Выш. Шк., 1987. – 200 с.: ил.
3. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. – Изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – С. 392.
4. Nguyen Van Tuan, Le Van Quynh, Vi Thi Phuong Thao, Le QuangDuy Optimal design parameters of air suspension systems for semi-trailer truck. Part 1 modeling and algorithm // VIBROENGINEERING PROCEDIA. – October, 2020. – Vol. 33. – P. 72–77.
5. Mahmood S. Mahmood, Ameen A. Nassar, Haider M. Mohammad. Analysis and study indicators for quarter car model with two air suspension system // Basrah Journal for Engineering Sciences. – Vol. 22, № 2. – 2022. – P. 16–22.
6. Mahmood S. Mahmood, Ameen A. Nassar, Haider M. Mohammad. Study of performance of incorporating pneumatic suspension system with the hydraulic actuator for quarter car and using controllers with genetic algorithm // Instrumentation MesureMétrologie. – Vol. 21, № 4. – August, 2022. – P. 151–158.
7. Jia Wang, Nonlinear modeling and h-infinity model reference control of pneumatic suspension system" (2012). Graduate Theses and Dissertations. 12504. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://lib.dr.iastate.edu/etd/12504>. – Дата доступа: 30.08.2023.

8. Рябов И. М., Чернышов К. В., Пылинская Т. В., Гасанов М. М., Абдулаев М. Ш., Гечекбаев Ш. Д. Математическое моделирование пневматической подвески транспортного средства с упругодемпфирующим приводом регулятора статического положения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2009, № 3 – С. 143–147.

9. Каталог пневмоподушек, пневморессор для грузовых автомобилей европейского производства Vibracoustic, Contitech, Firestone, Goodyear, Pirelli, Dunlop, Phoenix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mmdavto.com/catalog.php?page=6>. – Дата доступа 30.08.2023.

10. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.

11. Об утверждении Санитарных норм и правил [Электронный ресурс]: постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 26 дек. 2013 г., № 132 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21428310p&p1=1>. – Дата доступа: 30.08.2023.

Поступила 02.11.2023

УДК 629

Гордейчик А. А., Шелковский Н. Г.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СНЕГОУПЛОТНИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

ОАО «Минский тракторный завод», Минск, Беларусь

В докладе раскрыта формулировка слова ратрак, представлена история создания ратрака, а также представлен мировой рынок ратраков на данный момент. Частью доклада является краткое описание устройства и основные технические характеристики машины снегоуплотнительной «BELARUS» МСУ-108, разработанной ОАО «МТЗ», предназначенной для подготовки лыжных трасс на спортивных объектах, в горнолыжных комплексах и зонах отдыха.

Ратрак [1] – (снежный тягач, амер. snowcat) специальное транспортное средство на гусеничном ходу, используемое для подготовки горнолыжных склонов и лыжных трасс. Такие машины относятся к категории узкоспециализированной спецтехники, могут использоваться для транспортировки грузов, перевозки людей (рис. 1), а также при спасательных работах в соответствующей местности.



Рис. 1. Ратрак с установленной кабиной для перевозки людей

Машина достаточно тяжелая, но давление ее на снежную поверхность составляет не более $0,05 \text{ кг} / \text{см}^2$. Дело в том, что на машине устанавливаются гусеницы шириной