



МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 629.113.073

Д.В. МИШУТА; В.Г. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук
ООО «Мидивисана», г. Минск, Республика Беларусь

В.Б. АЛЬГИН, д-р техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ШТАБНОЙ МАШИНЫ С КУЗОВОМ-КОНТЕЙНЕРОМ

Предложена методика разработки штабной машины с кузовом-контейнером. Обобщены параметры шасси повышенной проходимости, используемые для штабных машин. Проведен анализ компоновки кузовов-контейнеров на шасси, функциональных параметров штабных машин. Приведены зависимости показателей устойчивости штабной машины от ее конструктивных параметров, в том числе параметров задней подвески.

Ключевые слова: штабная машина, кузов-контейнер, методика разработки, размещение оборудования, устойчивость

Введение. Штабная машина представляет собой автомобильное шасси повышенной проходимости с установленным на него специальным кузовом-контейнером. Кузов-контейнер предназначен для установки специального электронного оборудования, размещения военного персонала и должен соответствовать техническим требованиям ГОСТ РВ 52047-2003 [1]. Контейнер оснащается автономными установками: энергетической, микроклимата и другими системами.

Разработкой и производством специализированных кузовов-контейнеров занимаются многие фирмы дальнего зарубежья и на пространстве СНГ: Zepelin (<http://www.zepelin-mobile.com>); Nordic Shelter AS (<http://www.nordicshelter.com>); Variel (<http://www.variel.com>); Containex (<http://www.containex.com>); Chinaunistar (<http://www.chinaunistar.com>), O.M.A.R. Technology (<http://www.omartechology.com>); ОАО «Комбинат автомобильных фургонов», РФ (<http://www.shumerkaf.ru/>) и другие. Кузова-контейнеры штабных машин для облегчения, как правило, изготавливаются по каркасной схеме с теплоизоляционными стенками из пенополиуретана.

В качестве шасси для штабных машин, в основном, используются универсальные шасси повышенной проходимости, выпускаемые серийно автомобильной промышленностью.

Основными проблемами при создании штабных машин являются: размещение оборудования

и персонала на ограниченном пространстве и обеспечение условий их функционирования, минимизация массы контейнера и достижение необходимой прочности, подбор и, при необходимости, доработка шасси, чтобы машина в целом соответствовала общим техническим требованиям [1, 2]. Эти требования, в первую очередь, касаются размещения контейнера, грузоподъемности, обеспечения показателей тяговой динамики, проходимости, устойчивости (угол опрокидывания, скорость в повороте).

Противоречивость требований состоит в том, что кузова-контейнеры все больше насыщаются оборудованием, а это приводит к увеличению массы контейнера, которая лимитирована грузоподъемностью автомобиля. Возникают проблемы с установкой контейнеров на шасси используемого парка автомобилей в основном по массогабаритным показателям, так как эти автомобили изначально не проектировались под установку подобных контейнеров. Таким образом, необходима методика разработки штабных машин в целом, включая разработку кузовов-контейнеров.

Цель работы — создание указанной методики. Она основана на обобщении информации и опыта разработки штабных машин и их расчета с помощью программных пакетов ProE, ADAMS, ANSYS, PATRAN и других, представленных в [3–6]. При разработке методики учитывался также опыт Мин-

ся автономная энергоустановка, система микроклимата. Далее выполняются последующие проектные этапы, включая расчет, разработку рабочей конструкторской документации, а затем изготовление и испытания опытного образца, подготовка и освоение производства.

Предварительный расчет каркаса. Каркас предварительно рассчитывается на основе данных по оборудованию и его размещению. В качестве несущих элементов каркаса, как правило, используются стандартные четырехгранные стальные трубы. Сопоставление данных с проведенными исследованиями в пакете ANSYS [3–5] показало, что на предварительном этапе подбора несущих элементов каркаса, если не используются дополнительные усиливающие элементы, достаточно определить допустимые напряжения сжатия (исходя из заданных нагрузок при штабелировании) и изгиба несущих стоек контейнера (при поперечном и продольном перекосе) (рисунок 2). Эти режимы являются наиболее тяжелыми для контейнера с точки зрения его прочности и деформации [3–5].

Предварительный расчет вертикальных стоек производится по формулам:

- напряжение сжатия

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{S} \leq [\sigma_{\tau}],$$

где F — вертикальная нагрузка, приходящаяся на стойку при заданном уровне штабелирования; S — площадь поперечного сечения стойки; $[\sigma_{\tau}]$ — предел текучести материала стойки;

- напряжение изгиба от продольных и поперечных усилий

$$\sigma_{изг} = \frac{Fh_{ст}}{W} \leq [\sigma_{\tau}],$$

где F — заданная в ТЗ нагрузка на фитинг стойки при продольном и поперечном перекосах; $h_{ст}$ — высота стойки контейнера; W — момент поперечного сечения стойки.

Предварительный подбор несущих стоек целесообразно производить из следующего стандартного ряда проката: 100, 120, 160 мм толщиной 4, 5, 6 мм, исходя из неперевышения предела текучести с коэффициентом запаса прочности 2–3. Целесообразно ориентироваться на стали с $[\sigma_{\tau}] \geq 300$ МПа (типа 09Г2С и другие более высокопрочные) и, по возможности, исключать конструкционные стали с $[\sigma_{\tau}] \leq 200$ МПа.

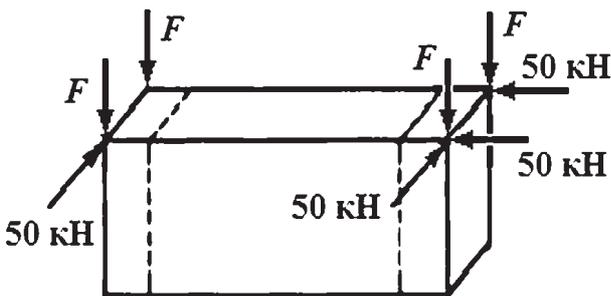


Рисунок 2 — Схема нагружения контейнера при предварительном расчете

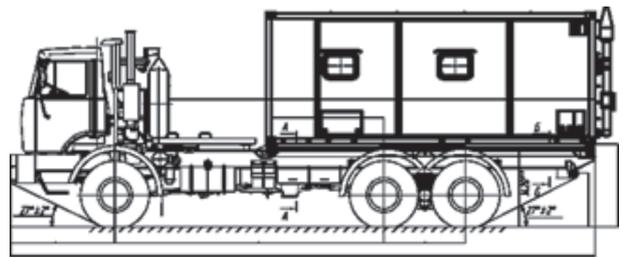
Уточненный расчет. После предварительного подбора несущих элементов выполняется разработка твердотельной 3D-модели кузова-контейнера. Сварку в создаваемой на данном этапе 3D-модели учитывать не целесообразно, так как это приводит к значительному усложнению модели и не отражает реальной картины напряжений [4]. Места сварки целесообразно дополнительно пересчитывать после моделирования НДС контейнера исходя из методики СНиП [9].

Как показали исследования [3, 4], динамические напряжения от нагрузок, возникающих при переезде препятствий, в целом получаются меньше (на 15–20 %), чем при штабелировании. Это позволяет в большинстве случаев при расчетах кузовов-контейнеров штабных машин ограничиться для них режимами статического нагружения согласно ГОСТ Р 51876-2008.

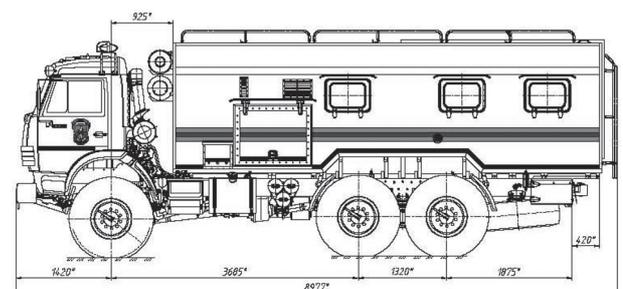
Исходя из этого, на основе созданной 3D-модели выполняется уточненный расчет кузова-контейнера методом конечных элементов в пакетах PATRAN или ANSYS согласно режимам ГОСТ Р 51876-2008 с учетом уменьшенных нагрузок согласованных в ТЗ. После этого расчета производится конструкторская доработка кузова-контейнера с учетом выявленных слабых мест контейнера, корректируется 3D-модель и повторяется расчет НДС контейнера.

Подбор шасси. После разработки кузова-контейнера и определения его реальных параметров, в том числе массовых, производится подбор шасси с учетом требований ТЗ на штабную машину в целом. При выборе шасси учитывается ряд приводимых ниже факторов.

Возможность размещения контейнера на шасси по компоновочным параметрам (рисунок 3). Необходимо иметь в виду, что крепление кузовов-контейнеров к машине осуществляется по фитингам, кото-



а



б

Рисунок 3 — Размещение кузова-контейнера на шасси МЗКТ-65273 (а) и кузова-фургона на шасси КАМАЗ-43114 (б)

рые являются концевыми угловыми точками контейнера. Имеющийся вылет рамы должен обеспечивать установку контейнера по концевым точкам. У кузова-фургона допускается выход за вылет рамы.

Повышенная проходимость. Шасси должно обладать повышенной проходимостью, иметь все ведущие мосты, раздаточную коробку и механизм блокировки дифференциала, а также устройства подкачки шин и преодоления водных преград.

Осевые нагрузки. Должно обеспечиваться не превышение нагрузки по осям для машины и исключаться ухудшение управляемости вследствие снижения нагрузки на переднюю ось (она должна быть не менее 25 % от общей массы).

Максимальная скорость и удельная мощность. Должны обеспечиваться заданные в ТЗ значения максимальной скорости и удельной мощности (8–13 кВт/т) штабной машины [2].

Удовлетворение требований [2] и ряда других:

- шасси согласно техническому регламенту [2] должно обеспечивать необходимые углы въезда и съезда, продольный угол проходимости, дорожный просвет под осями, иметь эффективную тормозную систему, необходимо учитывать специальные требования в ТЗ к системе вентиляции и микроклимата, а также к герметичности кузова-контейнера;
- соответствие шасси требованиям [1, 2] и ТЗ по светотехнике, безопасности, шуму, вибрациям, токсичности;

- обеспечение статической устойчивости штабной машины с кузовом-контейнером (угол опрокидывания $> 28^\circ$) и устойчивости машины согласно СТБ ГОСТ Р 52302-2006 при скорости не менее 49 км/ч при выполнении маневра «поворот» с радиусом $R = 35$ м и не менее 50 км/ч при переставке в коридоре шириной $S_{\text{н}} = 20$ м, при которых не должно быть выхода за пределы разметки или отрыва одного из колес от поверхности дороги;
- наличие бронезащиты контейнера (II класс защиты);
- обеспечение требуемого коэффициента теплозащиты контейнера и защиты от электромагнитных помех.

Эти требования должны реализовываться при проектировании и контролироваться при приемочных испытаниях.

В таблице приведены в качестве примера основные габаритные размеры шасси, рассматриваемые для установки двадцатифутового контейнера с габаритами $6058 \times 2438 \times 2438$ мм и массой 9300 кг, и обобщены параметры машин, включая рассчитанные показатели устойчивости и удельной мощности.

При выборе шасси при наличии специальных требований в ТЗ необходимо также учитывать требования к блокировке мостов, наличие моторного замедлителя, связи с отделением экипажа, допустимые уровни шума, оснащение кабины поисковой фарой и другие факторы.

Наиболее важными критериями для выбора шасси является его грузоподъемность и возможность размещения контейнера по габаритным размерам. Да-

лее рассматривается соответствие максимальной скорости, удельной мощности, устойчивости, а также требования по экологичности (по нормам выброса вредных веществ) и другие параметры [2].

Как видно из таблицы, требованиям размещения двадцатифутового контейнера по габаритным размерам соответствуют шасси КАМАЗ-43118, МАЗ-63017, МЗКТ-65273, МЗКТ-652512. Шасси Tato Stallion и МЗКТ-652511 (из-за укороченной рамы) этим требованиям не соответствуют.

Шасси КАМАЗ-43118, МАЗ-63017, МЗКТ-65273, МЗКТ-65251 соответствуют требованиям по грузоподъемности. Однако на практике на шасси КАМАЗ-43118 при заявленной грузоподъемности 12,8 т наблюдается существенная деформация задних рессор уже при массе контейнера 6,2 т, из-за чего машина с контейнером имеет существенный крен назад. Поэтому использование шасси КАМАЗ-43118 целесообразно только при массе контейнера до 6 т.

Оценка основных показателей штабной машины в целом. Одним из основных показателей является удельная мощность машины. Как видно из таблицы, удельная мощность у рассматриваемых машин при массе кузова-контейнера 9,1 т составляет 8,8–13,24 кВт/т. И за исключением Tato Stallion все остальные шасси соответствуют рекомендациям [2]. Наибольшей удельной мощностью обладают машины на базе шасси МЗКТ (11,4–13,2 кВт/т). Машины на шасси МАЗ-63017 имеет средний показатель 11,5 кВт/т. Следует отметить, что шасси производства МАЗ, МЗКТ имеют резерв наращивания мощности двигателя, в то время как возможности КАМАЗ-43118 во многом уже исчерпаны.

Следующим по важности вопросом является оценка и обеспечение поперечной устойчивости. Это свойство оценивается по углу статического опрокидывания ϵ (получаемого в радианах и пересчитываемого затем в градусы) и скорости в повороте v (м/с).

Оценка поперечной устойчивости машины может выполняться как в пакете ADAMS, так и по следующим формулам [6], обеспечивающим хорошую сходимость (расхождение 1–2 %) с расчетами в ADAMS:

$$\epsilon = \frac{B_{\text{ш}}}{2h} - \frac{M_{\text{а}} h \sin \lambda}{2C_{\text{ш}} B_{\text{ш}}} - \frac{M_{\text{а}} h \sin \lambda}{C_{\text{р}} B_{\text{р}}},$$

$$v = \sqrt{\frac{\frac{M_{\text{а}} h^2}{2C_{\text{ш}} B_{\text{р}}}}{\left(\frac{M_{\text{а}} h^2}{2C_{\text{ш}} B_{\text{ш}} g R} - \frac{h}{g R} \right)}}$$

где $B_{\text{ш}}$ — колея, м; $B_{\text{р}}$ — длина по площадкам рессор, м; h — высота центра тяжести автомобиля, м; $M_{\text{а}}$ — масса автомобиля, кг; $C_{\text{р}}$ — жесткость рессоры, Н/м; $C_{\text{ш}}$ — жесткость шины, Н/м;

$$C_{\text{ш}} = \frac{B_{\text{р}}(C_{\text{р}} + C_{\text{стаб}}) C_{\text{ш}}}{\frac{B_{\text{р}}}{B_{\text{ш}}}(C_{\text{р}} + C_{\text{стаб}}) + C_{\text{ш}}} - \text{приведенная к размеру}$$

Таблица — Сравнительные параметры штабных машин на различных шасси

Контролируемый параметр	Tato Stallion 6 × 6, Индия	КАМАЗ 43118	МАЗ 63017	МЗКТ 65273	МЗКТ 652511	МЗКТ 652512
Конструктивная возможность размещения двадцатифутового контейнера на шасси	Невозможно из-за ограниченной длины под установку (5200 мм)	Возможно	Возможно	Возможно	Возможно	Возможно
Размер шин	—	425/85 R21 (1260 425533P)	16.00R20	16.00R20	16.00R20	16.00R20
Высота машины, мм	4000	3678	3758	3968	3788	3738
Высота центра тяжести машины, мм	—	—	1515	—	—	—
Высота рамы, мм	—	1240	1320	1420	1350	1300
Ширина рамы, мм	—	865	762	815/930	930	930
Расстояние между площадками рессор, мм	890	1100	900	1300	1300	1300
Колея, мм	2030	2050	2100	2064	—	—
Жесткость рессоры задней подвески, МН/м	7	8	11	12	14	14
Жесткость шины, МН/м	20	20	32	32	32	32
Снаряженная масса шасси, кг Масса на передний мост, кг Масса на заднюю тележку, кг	9515 5450 4070	8795 5035 3760	11 900 6130 5770	13 000 6300	13 400 6300	16 500
Полная масса шасси, кг Масса на передний мост, кг Масса на задний мост, кг	14 015 3870 10145	21 600 5 800 15 800	25 150 7150 18000	36 000 10 000 26 000	36 000 10 000 26 000	46 000 2 10 000 26 000
Процент нагрузки на переднюю ось (не менее 25 %)	27,6	26,85	26,3	27,7	27,7	43
Угол въезда, градусы	30	31	31	27	31	32
Угол съезда, градусы	30	31	22	27	31	32
Номинальная мощность, брутто, кВт	165	180	243	294	294	294
Удельная мощность, кВт	8,82	10,1	11,5	13,2	13	11,4
Максимальная скорость, км/ч	97	90	89	75	75	60
Угол поперечной устойчивости машины (не менее 28°)	29,02	30,5	31,6	32,2	32,4	32,4
Комплексная оценка соответствия шасси по функциональным параметрам	Не соответствует по габаритным размерам	Соответствует с ограничениями по массе	Соответствует	Соответствует	Не соответствует по габаритным размерам	Соответствует

колеи суммарная жесткость шины, рессоры и стабилизатора $C_{\text{стаб}}$, Н/м (для задней подвески шасси 6 × 6 необходимо принимать удвоенную жесткость шины, так как имеются два моста и две шины на одной стороне); λ — дополнительный угол на-

клона поддресоренной массы автомобиля на шинах и рессорах при наклоне площадки, рад; R — радиус поворота, м; $g = 9,81$ м/с².

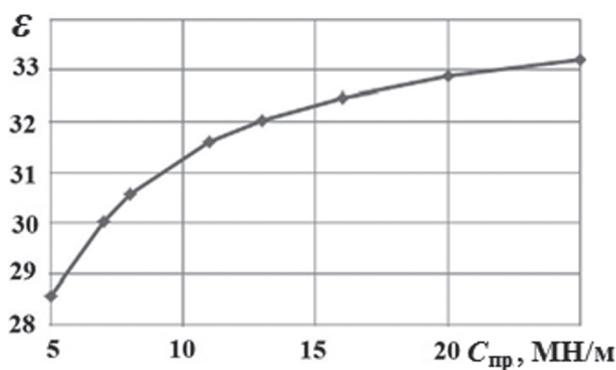
Результаты расчетного исследования устойчивости (ϵ , ν), выполненные на основе одномассовой мо-

дели, соответствующей массе кузова-контейнера и подрессоренной массе шасси МАЗ-63017, приходящихся на заднюю подвеску в зависимости от жесткости задних рессор, расстояния между площадками рессор и высоты центра тяжести представлены на рисунках 4 и 5.

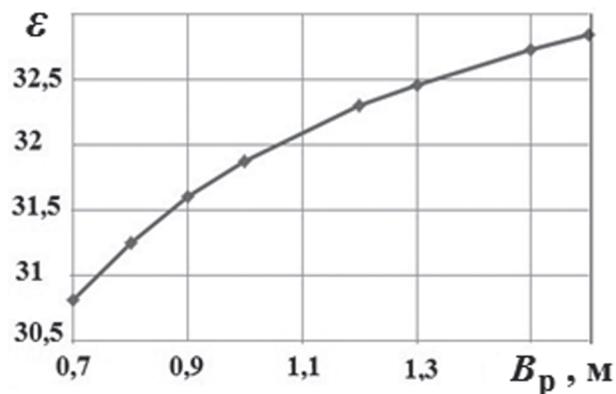
Полученные зависимости показывают, что основными факторами, определяющими статическую устойчивость машины, являются геометрические параметры: колея ($B_{ш}$) и высота центра массы машины (h). Влияние жесткости задней рессоры существенно сказывается в диапазоне 5–13 МН/м, а в диапазоне 15–25 МН/м оно незначительно, и изменение угла поперечной устойчивости составляет всего $1,0^\circ$.

Расчетная оценка показателей штабной машины. После выбора шасси на стадии технического проекта проводится предварительный блок расчетов каждого из показателей штабной машины, приведенных в таблице, а на стадии рабочей документации после уточнения конструкции машины выполняется их окончательный расчет. Расчет показателей надежности выполняется по методикам, приведенным в работе [10].

Заключение. Представлена методика разработки штабной машины с кузовом-контейнером. Основные процедуры методики охватывают:

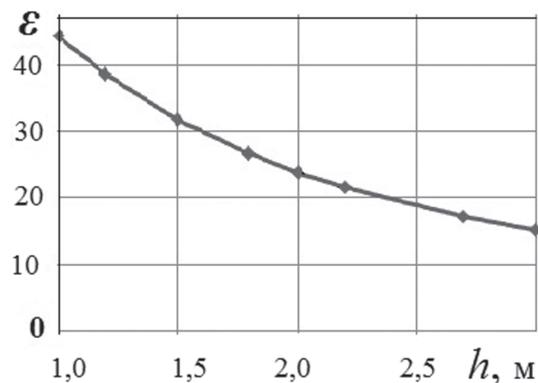


а

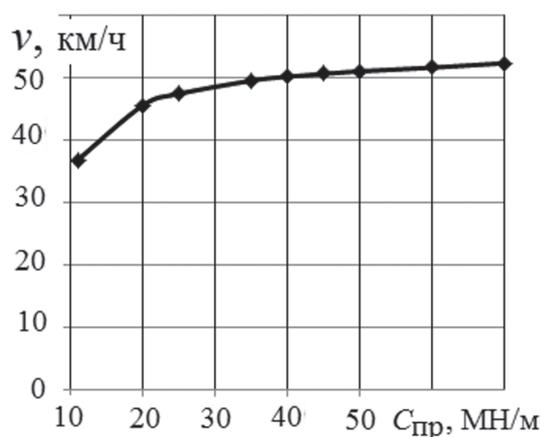


б

Рисунок 4 — Зависимости угла опрокидывания ϵ от приведенной жесткости задней рессоры (а) и расстояния между площадками рессор B_p (б)



а



б

Рисунок 5 — Зависимости угла опрокидывания ϵ от высоты центра тяжести h (а) и скорости в повороте штабной машины v от приведенной жесткости задней рессоры $C_{пр}$ (б)

проектирование кузова-контейнера исходя из размещаемого оборудования и персонала, подбор шасси и размещение на нем кузова-контейнера, расчет показателей функционирования и надежности машины в целом на соответствие нормативным требованиям и техническому заданию, испытания и изготовление.

Каждая процедура детализирована на этапы работ, по которым сделаны рациональные обобщения, сокращающие процесс проектирования (обоснование расчетных случаев, применение аналитических зависимостей, использование современных материалов для элементов конструкции, оценка возможностей шасси по размещению кузова-контейнера и др.).

Сформулированы и ранжированы критерии для выбора шасси под штабную машину (возможность размещения контейнера по габаритным размерам, грузоподъемность и распределение нагрузки по осям) и показатели машины в целом (максимальная скорость, удельная мощность, устойчивость и другие).

Рассмотрены и обобщены параметры шасси повышенной проходимости, используемые для штабных машин. Дана оценка возможности разме-

щения кузовов-контейнеров на существующих шасси, выполнения требований к штабным машинам по параметрам удельной мощности штабных машин, статической устойчивости и другим.

Приведены зависимости для расчета показателей устойчивости штабной машины в зависимости от ее конструктивных параметров, позволяющие проводить оперативную оценку указанных свойств в процессе проектирования.

Список литературы

1. Кузова-контейнеры многоцелевого назначения. Общие технические требования: ГОСТ РФ 52047-2003. — Введ. 01.01.04. — М.: Госстандарт России, 2003. — 10 с.
2. Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств (утв. пост. Правительства РФ от 10 сентября 2009 г. № 720) (с изм. от 10 сентября 2010 г.). — М., 2009. — 235 с.
3. Мишута, Д.В. Опыт создания кузовов-контейнеров специального назначения / Д.В. Мишута // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 3(20)—4(21). — С. 208—212.
4. Мишута, Д.В. Использование метода конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния кузова-контейнера специального назначения / Д.В. Мишута, В.Б. Альгин, В.Г. Михайлов // Сборник научных статей Военной Академии Республики Беларусь. — 2012. — № 23. — С. 88—92.
5. Мишута, Д.В. Сравнительный анализ прочностных показателей стального и алюминиевого каркасов кузовов-контейнеров специального назначения / Д.В. Мишута, В.Г. Михайлов // Сборник научных статей Военной Академии Республики Беларусь. — 2013. — № 24. — С. 101—106.
6. Мишута, Д.В. Влияние конструктивных параметров автомобиля и его подвески на устойчивость и управляемость штабной машины / Д.В. Мишута, В.Г. Михайлов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2013. — № 3.
7. Корсаков, В.В. Опыт виртуальной разработки автомобильной техники РУП «МАЗ» [Электронный ресурс] / В.В. Корсаков, А.Г. Выгонный, А.А. Калинин; РУП «МАЗ». — Режим доступа: http://www.mscsoftware.ru/document/conf/Moscow_conf/conf_2005/05_MAZ/MSC2005/zip. — Дата доступа: 26.08.2011.
8. Колесникович, А.Н. Виртуальные испытания транспортных средств на статическую устойчивость / А.Н. Колесникович, В.Б. Альгин, С.В. Харитончик // Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств: сб. науч. тр. / НИРУП «Белавтотракторостроение»; ред. кол.: М.С. Высоцкий [и др.]. — Минск, 2004. — С. 229—233.
9. Пособие по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81): утв. приказом ЦНИИСК им. Кучеренко от 28.11.1983, № 372/л [Электронный ресурс] // Руководящие документы по строительному комплексу ЦНИИСК Госстроя СССР, 1983. — Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/PosobieKSNIPII2381Posobie4.html>. — Дата доступа: 26.08.2011.
10. Расчет реальной надежности машин. Методики, программные средства, примеры / В.Б. Альгин [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 2(15). — С. 11—17.

Mishuta D.V., Mikhailov V.G., Algin V.B.

The technique of development for the staff vehicle with a shelter

The technique of development for the staff vehicle with a shelter is considered. Parameters of the cross-country chasses used for staff vehicle are generalized. The estimation of the staff vehicle parameters (specific capacity, static stability and others) are given.

Keywords: *staff vehicle, shelter, technique of development, equipment location, stability*

Поступила в редакцию 10.07.2013.