

УДК [623.093]

На правах рукописи

ГАВРИЛОВ ЕВГЕНИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ЗАЩИТЫ ЭКИПАЖА АВТОБРОНЕТАНКОВОЙ
ТЕХНИКИ ПРИ МИННО-ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский политехнический университет» (Московский Политех).

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» Московского Политеха Кулаков Николай Алексеевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, заместитель генерального директора ООО «ОКБ «Техника» (г. Москва) Елисеев Александр Николаевич;

кандидат технических наук, доцент научного учебного комплекса специального машиностроения, МГТУ им. Н.Э. Баумана Рябов Денис Михайлович.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «НАМИ»

Защита диссертации состоится «25» декабря 2017 г. в 16⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.141.07 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана и на официальном сайте МГТУ им. Н. Э. Баумана: www.bmstu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор  Сарач Е.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Несмотря на то, что после Второй мировой войны не было глобальных военных конфликтов, с середины XX века по сегодняшний день, в мире постоянно возникают военные конфликты, носящие характер гражданских войн, пограничных конфликтов, войн за независимость, оккупаций, партизанский войн и т.п. Так, начиная с середины прошлого века по настоящее время, произошло порядка 150 военных конфликтов. Можно привести наиболее известные примеры таких конфликтов: война в Корее, Вьетнаме, Ангольский конфликт, Афганская война, первая и вторая чеченские войны, войны в Югославии, Ираке, Ливии, Сирии и тому подобные. Во всех войнах и военных конфликтах активно участвовала колесная и гусеничная автобронетанковая техника и специальная защищенная автомобильная техника. По статистике потери военной техники армии США от мин и самодельных взрывных устройств в конфликтах составляет порядка 50-70% от общего числа потерь.

Актуальности теме исследования придает новая государственная программа перевооружения армии Российской Федерации 2018-2025, согласно программе, приоритет отдается усовершенствованию и созданию новых образцов техники для сухопутных войск в том числе колесным и гусеничным машинам (гусеничный БМП «Курганец-25», колесный бронетранспортер «Бумеранг», бронеавтомобиль повышенной защищённости «Тайфун-У»).

В связи с этим работа по поиску научно обоснованных технических решений защиты экипажа колесной и гусеничной автобронетанковой техники при минно-взрывном воздействии является актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Известны отечественные и зарубежные научно-технические разработки методов и средств защиты АБТ, которыми занимаются такие организации как ОАО «ВНИИТрансмаш», З ЦНИИ МО РФ, ФГУП «НАМИ», ОАО «НИИ стали», Харьковский завод транспортного машиностроения, ОАО ГАЗ, ОАО «Муромтепловоз», АО «Омский завод транспортного машиностроения», Московский Политех (ранее МГТУ МАМИ), Военная академия бронетанковых войск имени М.В. Фрунзе, МГТУ им. Н. Э. Баумана, ПАО КАМАЗ, PLASAN, Centigon Security Group, BAE Systems, General Dynamics Combat Systems, Aurum Security.

Цель и задачи работы. Целью исследования является повышение безопасности экипажа путем научно обоснованных технических решений защиты колесной и гусеничной автобронетанковой техники и специальной защищенной автомобильной техники при минно-взрывном воздействии, в том числе разработка уточненной методики оценки травмобезопасности экипажа автобронетанковой техники при минно-взрывном воздействии с

использованием антропоморфных измерительных манекенов и антропоморфных макетов ног, а также разработка конструктивных решений несущей системы автобронетанковой техники для защиты от динамической реакции минно-взрывного воздействия и снижения перегрузок экипажа.

Задачи исследования:

Для достижения цели в работе последовательно решены следующие научные задачи:

1. Проведен анализ статистических данных по подрывам колесной и гусеничной АБТ и выявлены основные поражающие факторы при минно-взрывном воздействии (МВВ);

2. Проведен анализ существующих отечественных и зарубежных исследований по критериям травмобезопасности экипажа АБТ при МВВ, а также нормативных документов, определяющих уровень стойкости защиты АБТ при МВВ и уточнены критерии поражения экипажа АБТ;

3. Разработана методика проведения испытаний колесной и гусеничной АБТ при МВВ с учетом уточненных критериев травмобезопасности экипажа и сопроводительного программного обеспечения;

4. Разработаны математические модели двух различных антропоморфных макетов ноги (АМН), на основании которых изготовлены натурные модели ног. Проведена тарировка изделий с помощью копровых испытаний на сброс. АМН использованы в натурных испытаниях по подрыву АБТ для определения параметров травмобезопасности;

5. Научно обосновано создание конструкции копрового стенда, позволяющего проводить испытания на сброс энергопоглощающих кресел (ЭПК) и АМН, для имитации динамического воздействия, возникающего при подрыве АБТ на минах;

6. Проведен анализ конструкций ЭПК как одного из ключевых элементов, снижающих перегрузки, действующие на экипаж колесной и гусеничной АБТ при минном подрыве;

7. Разработана математическая модель функционирования ЭПК для расчета основных параметров. На основании расчетов разработана и изготовлена конструкция указанного кресла с регулировкой положения по высоте и выбегу и с преднатяжителями ремней безопасности, а также проведены копровые испытания для подтверждения заявленных характеристик, идентификации параметров реальной конструкции и расчетной модели. Проведены испытания подрывом АБТ с установленными креслами с целью проверки эффективности кресла в реальных условиях эксплуатации. Для оценки травмобезопасности экипажа при использовании указанных кресел применялись АИМ для измерения параметров травмирования экипажа;

8. Научно обоснованы и внедрены конструктивные мероприятия по доработке кресла фирмы-производителя VSS (Vital Seating & Systems) путем интегрирования в конструкцию энергопоглощающих элементов с установкой на автомобиле ВПК-39272. Проведены копровые испытания кресел фирмы-производителя VSS с АИМ для оценки эффективности противоминных мероприятий;

9. Проведена оценка эффективности конструкций ЭПК на макетном образце автомобиля семейства «Тайфун-У» (проведение испытаний в объектовых условиях показателей противоминной защиты экипажа);

10. Проведен расчёт с выдачей технических предложений по структуре защиты днища от минного подрыва, новой боевой машины пехоты, оценена эффективность вариантов противоминного днища путем проведения натурных испытаний на подрыв;

11. Разработана математическая модель и рассчитаны перегрузки пассажира СЗАТ при подрыве под днищем и боковом подрыве фугасного заряда с целью оценки травмобезопасности экипажа.

12. Разработана, рассчитана и оценена эффективность: макетных образцов днища; полномасштабных образцов днища; прототипа СЗАТ с противоминной защитой днища с измерением основных поражающих факторов с использованием АИМ и АМН.

Научная новизна результатов диссертационного исследования, выносимых на защиту заключается:

1. В уточнении критериев поражения экипажа АБТ при МВВ. Отличительной чертой является, то, что впервые использованы исходные данные университета Уэйн-Стейт (дополненные исследованиями Л.М. Патрика) вместо критерия НС для оценки травмобезопасности головы. Также предлагается использовать критическое значение сжимающей силы нижнего отдела позвоночника АИМ вместо критерия DRI, для оценки травмобезопасности позвоночника.

2. В разработке методики и сопроводительного программного обеспечения проведения и обработки результатов испытаний колесной и гусеничной АБТ при МВВ. Основной особенностью является использование уточненных критериев травмобезопасности экипажа.

3. В разработке математических моделей, описывающих процесс сброса двух вариантов АМН и противоминного ЭПК. Особенность моделей АМН заключается в математическом описании динамики движения вновь разработанных макетов ног. Математическая модель ЭПК описывает динамику движения кресла отличающегося кинематикой подвеса (реализован маятниковый подвес), а также характеристикой демпфирующих элементов.

4. В разработке математической модели и расчете перегрузок пассажира СЗАТ при МВВ, направленном как со стороны днища, так и со

стороны боковины. Особенности модели состоят в том, что модель описывает движение вновь разрабатываемой СЗАТ и позволяет оценить травмобезопасность экипажа при различных вариантах минно-взрывного воздействия.

5. В разработке и внедрении расчетной-экспериментальной методики проектирования, изготовления и испытаний элементов противоминной защиты днища колесной и гусеничной АБТ и СЗАТ. Отличие методики заключается в полном описании и практической реализации цикла разработки новой колесной и гусеничной АБТ и СЗАТ, от входного контроля закупаемого материала для образцов защиты, до приемочных испытаний серийного образца.

Теоретическая и практическая значимость:

Теоретическая значимость исследования заключается:

- в уточнении критериев травмобезопасности экипажа АБТ, а также разработке соответствующей методики проведения испытания АБТ и сопроводительного программного обеспечения при МВВ с учетом указанных критериев и с использованием оригинальных АМН;
- в разработке, расчетном и экспериментальном обосновании возможности использования оригинальных АМН для оценки травмобезопасности экипажа АБТ при МВВ.

Практическая значимость заключается:

- в использовании разработанной уточненной методики, сопроводительного программного обеспечения и АМН в качестве составной части технического проекта ОКР «Разработка технологии и комплекта технологического оборудования для полигонных испытаний бронированной техники и типовых укрытий на уязвимость личного состава к воздействию поражающих факторов боеприпасов», выполненного в рамках федеральной целевой программы № 1, Государственный контракт от «24» апреля 2015 г. № 15411.169999.16.018 «Уязвимость», заключенного между Минпромторгом России и ФКП «НИИ «Геодезия». Московский Политех является соисполнителем в части разработки программ и методик испытания колесной и гусеничной АБТ;
- в разработанной противоминной защите СЗАТ с последующим серийном производстве (в настоящее время проведены успешные заводские испытания), в рамках НИОКР «Разработка оптимизированной по весу конструкции ...», договор № 2110.Р.Б.НИР.0314.588 от 01.04.2014 г. между ФГУП «НАМИ» и Университетом машиностроения;
- в разработанном и научно обоснованном техническом решении по конструкции противоминной защиты новой боевой машины пехоты в рамках ОКР «Расчет и выдача технических предложений по структуре защиты днища от минного подрыва. Определение перегрузок на точках крепления сидений десанта и внутреннего оборудования, расположенного

на бортах корпуса» договор № 01/10/11 НОЦ «АТДиСН» от 01.10.2011 г. между ОАО «НИИ стали» и МГТУ МАМИ;

– во внедрении доработанных кресел фирмы-производителя VSS с энергопоглощающими элементами на автомобиле ВПК-39272 в рамках ОКР «Подготовка автомобиля ВПК-39272 к испытаниям подрывом и проведение специальных измерений» договор №14/01/11 НОЦ «АТДиСН» от 14.02.11 г. между ООО «ВИЦ» и МГТУ МАМИ;

– в разработанной конструкции энергопоглощающего кресла с преднатяжением ремней безопасности и регулировкой по высоте и выбегу;

– практическую значимость представляет копровый стенд для испытаний сбросом новых моделей энергопоглощающих кресел и антропоморфных макетов ног, для оценки их эффективности и работоспособности.

Методология и методы исследования. Исследования проводились с использованием расчётных программных комплексов Euler, Abaqus, Matlab. Полученные расчётные данные сравнивались с результатами натурных испытаний, проведенных на разработанном копровом стенде, а также с результатами подрыва макетных образцов противоминной защиты и реальных образцов колесной и гусеничной АБТ на специализированных полигонах. Сравнение результатов расчетов и экспериментальных данных полигонных испытаний на макетных образцах и реальных конструкциях АБТ позволило отработать математические модели и понять механику взаимодействия взрывного воздействия, несущих систем конструкции и экипажа.

Положения, выносимые на защиту:

- методика оценки защищенности личного состава колесной и гусеничной АБТ и СЗАТ при воздействии поражающих факторов взрывных устройств с уточненными критериями травмобезопасности и сопроводительным программным обеспечением;

- научно обоснованное техническое решение по созданию конструкции противоминного ЭПК с регулировкой по высоте и выбегу и преднатяжителями ремней безопасности;

- научно обоснованное техническое решение по созданию конструкции стенда для проведения копровых испытаний на сброс ЭПК и антропоморфного макета ноги;

- научно обоснованное техническое решение по созданию конструкции АМН, позволяющие оценивать травмобезопасность ног экипажа АБТ при МВВ;

- математическая модель подрыва СЗАТ, позволяющая произвести оценку степени тяжести повреждения пассажира при МВВ, направленном как со стороны днища, так и со стороны боковины;

- научно обоснованное техническое решение по созданию конструкции противоминной защиты СЗАТ;
- научно обоснованное техническое решение по конструкции противоминной защиты новой боевой машины пехоты.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы заслушивались и обсуждались:

На 85-ой международной научно-технической конференции ААИ «Будущее автомобилестроения в России». М., 2014;

На 89-ой международной научно-технической конференция ААИ «Автомобилестроение России: новые вызовы». М., 2015;

На 7-ой всероссийской конференции молодых ученных и специалистов «Будущее машиностроения России». М., 2014;

На заседании рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности РГ РАН «Риск и безопасность». М., 2017.

По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, из них по перечню ВАК РФ – 3 общим объемом 1,85 п.л./ 1,25 п.л.

Результаты работы внедрены в ФГУП «НАМИ», Московский Политех, ОАО «НИИ «СТАЛИ», ООО «ВИЦ», ФКП «НИИ «Геодезия», НИИЦ АТ З ЦНИИ МО РФ.

Диссертация состоит из Введения, 5 Глав, Основных результатов и выводов по работе, 217 страниц, 140 рисунков, 23 таблиц, список литературы состоит из 148 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, приведено краткое содержание выполненных исследований, сформулированы цель и задачи работы, описана научная новизна, а также отражены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе диссертации проведен анализ состояния вопроса защищенности колесной и гусеничной АБТ при МВВ и сформулированы задачи исследования. Выявлены основные факторы, которые могут вызвать поражение экипажа при подрыве АБТ на минах и СВУ.

Во второй главе представлена статистика травм, полученных в ходе ведения боевых действий, выявлены основные части тела, подверженные травмированию, а также произведен подробный обзор критериев травмобезопасности экипажа АБТ при МВВ.

По результатам анализа нормативных документов и литературы по предельно допустимым воздействиям на человека были выбраны отдельные критерии для каждой части тела.

В работе впервые предложено использовать кривую Патрика (Уэйн-Стейта) вместо критерия НС (которая являлась первоисточником для

разработки критерия НИС) для оценки травмобезопасности головы при МВВ на АБТ.

Кривая в координатах «время-перегрузка» и в координатах « $\Delta V - \dot{n}$ », где $\Delta V = g \int n dt$ – скорость, потерянная при ударе (т.е. площадь диаграммы $n(t)$), \dot{n} -скорость нарастания перегрузки, представлена на Рис. 1.

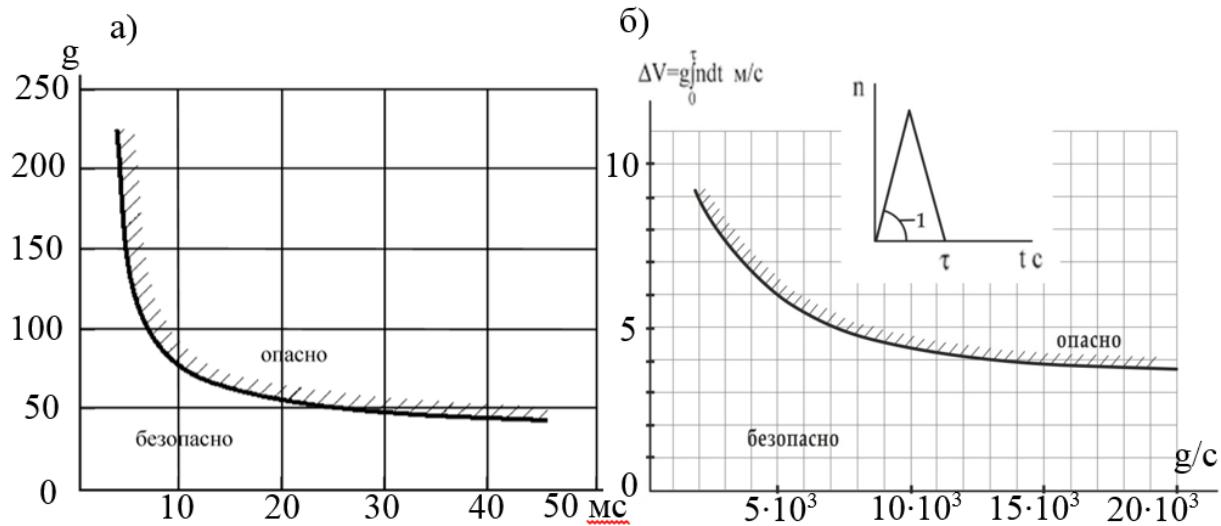


Рис. 1. а). Кривая Патрика (Уэйн-Стейта) в координатах «время-перегрузка» б). Кривая Патрика (Уэйн-Стейта) в координатах «перегрузка-потерянная скорость»

Все обоснованные критерии как обязательные, так и рекомендованные представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

Критерии уязвимости экипажа легкобронированной техники

Часть АИМ	Критерий	Обозначение	Предельное значение
1	2	3	4
Обязательные критерии			
Голова	Скорость нарастания перегрузки Потерянная скорость при ударе	\dot{N} $g \int N dt$	Определяется по кривой Патрика
Шея	Осевая сила сжатия	F_{z-}	Определяется по кривой травм
	Осевая сила растяжения	F_{z+}	Определяется по кривой травм
	Сдвигающая сила	F_{x+-} / F_{y+-}	Определяется по кривой травм
	Изгибающий момент (сгибание)	$M_{OCy} +$	190 Нм

Таблица 1 – продолжение

1	2	3	4
	Изгибающий момент (разгибание)	M_{OCy} -	77 Нм
Плечо*	Осевая сила	F_y	1,4 кН
Ребра (верхнее, среднее, нижнее)*	Сжатие	$RDC_{бок}$	28 мм
Грудная клетка	Критерий сжатия грудной клетки	$TCC_{перед}$	30 мм
	Критерий поражения мягких тканей	$VC_{перед}$	0,70 м/с, 0,58 м/с*
Брюшная полость (передняя, боковая, задняя часть)*	Сила в брюшной полости	F_{total}	1,8 кН
Лонное сращение*	Сила	F_y	2,6 кН
Позвоночник	Сжимающая сила между тазом и поясничной частью позвоночника	F_z -	6,67 кН (680 кг)
Голень	Осевая сила сжатия	F_z -	2,6 кН (Mil-LX, верхний тензодатчик) 5,4 кН (Гибрид-3, нижний тензодатчик)
Слуховые органы	Избыточное давление	P_{max}	0,3 атм при $\tau_{max} \leq 7$ мс
Не слуховые органы	Скорость стенки грудной клетки	CWVP	3,6 м/с
	Избыточное давление	P_{max}	1 атм при $\tau_{max} \leq 7$ мс
Ремни безопасности	Сила в одном плечевом ремне	F	7,8 кН (794 кг)
	Суммарная сила в двух плечевых ремнях	F	8,9 кН (907 кг)
	Сила в поясном привязном ремне	F	6,9 кН (700 кг)

Таблица 1 – продолжение

1	2	3	4
Рекомендуемые критерии			
Голова	Критерий повреждения головы (HIC)	HIC ₁₅	250
	Угловые ускорения	Aω _x , Aω _y , Aω _z	4500 рад/с ²
Позвоночник	Динамическая реакция позвоночника	DRIz	17,7
Бедренная кость	Осевая сила сжатия	F _{z-}	6,9 кН
Ноги	Скорость соударения ног с полом	V	8,5 м/с

* Для АИМ EuroSID-2re при боковом подрыве

В качестве основного критерия травмобезопасности поясничного отдела позвоночника, который не зависит от ограничений математических моделей, принят критерий максимальной сжимающей силы в нижнем отделе позвоночника АИМ типа Гибрид 2, 3. Эта сила определяется в макете позвоночника непосредственно в процессе испытаний. Жесткость макета позвоночника подобрана по результатам натурных испытаний агрегатов нижнего отдела позвоночника. В своде федеральных нормативных актов США раздел 14, части 23, 25, 27, 29, а также в российских аналогах: федеральных авиационных правилах АП-23, АП-25 АП-27, АП-29 установлено максимально допустимая сила между тазом и позвоночным столбом АИМ равная 1500 фунтов, 6,67 кН (680 кг).

В третьей главе содержатся результаты разработок противоминных ЭПК. Представлены аналитические зависимости, позволяющие рассчитывать основные конструктивные параметры противоминных кресел, а также уточненные математические модели для оптимального проектирования.

Для проведения копровых испытаний ЭПК был разработан и изготовлен копровый стенд для проведения автоматизированного сброса. Также стенд использовался для проведения тарировки сбросом АМН (см. Рис. 3.28, Рис. 5.13 в диссертации).

По заказу ООО «Военно-инженерный центр» корпорации «Военно-промышленная компания» была произведена доработка штатных кресел VSS для специального автомобиля ВПК-39272. Для доработки конструкции использовался принцип маятниковой подвески в верхней части корпуса с энергопоглощающими элементами, основанными на прокатке проволоки с системой подтяжки ремней безопасности. В том числе, разработана математическая модель функционирования

противоминного кресла, с помощью которой подобраны характеристики энергопоглощающих элементов. Были изготовлены противоминные кресла и проведены копровые испытания для имитации динамического воздействия при подрыве. Для оценки перегрузки и эффективности противоминных мероприятий в копровых испытаниях был использован АИМ Гибрид 2 с информационно-измерительной системой «ВИТА». По результатам сбросов был сделан вывод об обеспечении травмобезопасности экипажа, размещенного в модифицированных креслах при подрыве изделия на минах мощностью до 6 кг ТНТ. Кресла были установлены на автомобиле ВПК-39272 (см. Рис. 3.4 – 3.7, Рис. 3.11 диссертации).

Аналогичное по принципу работы ЭПК было спроектировано, изготовлено и испытано с АИМ на копровом стенде и установлено на прототипе автомобиля «Тайфун-У». Было проведено два испытания с целью проверки эффективности кресла при подрыве в составе макетного образца АБТ. Первый подрыв был осуществлен под кабиной автомобиля, второй под функциональным модулем. Для оценки травмобезопасности экипажа использовался АИМ Гибрид 2 с информационно-измерительной системой «ВИТА» (Рис. 2).

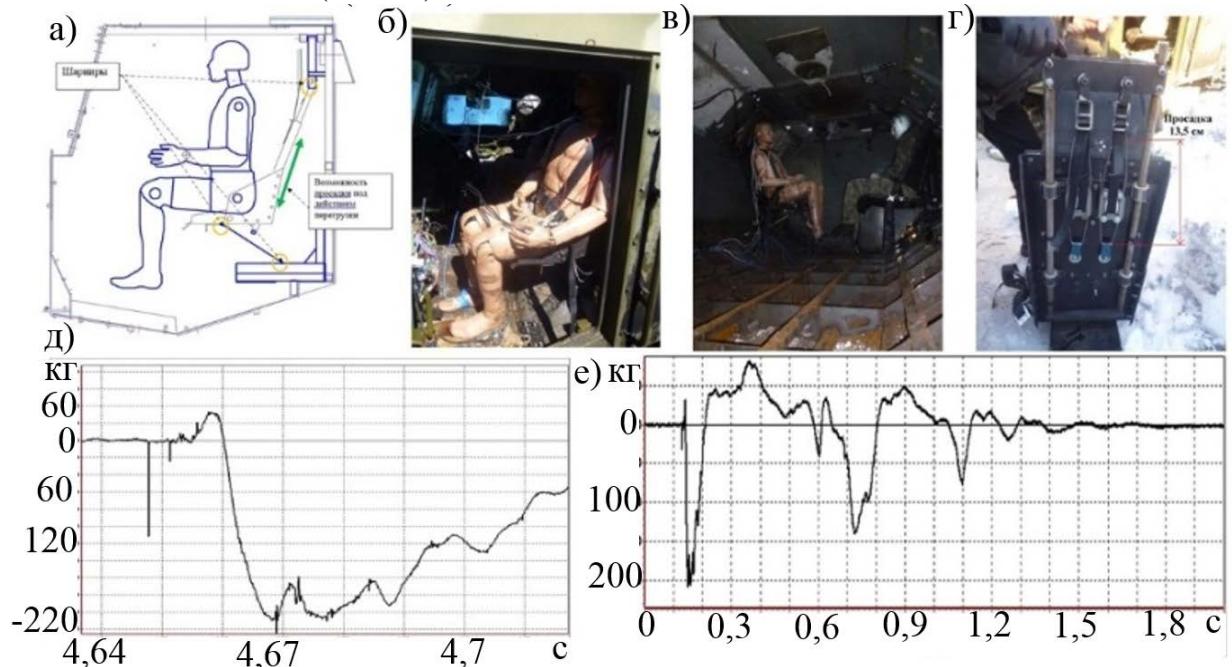


Рис. 2. а). Схема расположения АИМ в кабине б). АИМ Гибрид 2 после подрыва в кабине в). Расположение АИМ Гибрид 2 в функциональном модуле г). Просадка кресла д). Сила в позвоночнике (нефильтрованные данные) е). Сила в позвоночнике (фильтр 1000 Гц)

Представленная на Рис. 2, д, е экспериментальная зависимость показывает, что измеренная сила в нижнем отделе позвоночника (2,2 кН) меньше предельно допустимой (6,67 кН).

В виду необходимости регулировки расположения кресла, используемого для АБТ в горизонтальном и вертикальном направлении,

была разработана, изготовлена и успешно испытана конструкция, позволяющая производить указанные регулировки.

В четвертой главе представлены результаты разработки противоминной защиты для легкобронированной гусеничной АБТ и СЗАТ.

По заказу ОАО «НИИ стали» были разработаны различные вариантные исполнения противоминного днища для новой боевой машины пехоты. Путем расчетов на прочность обоснован выбор трех наиболее оптимальных с точки зрения минимума массы вариантов конструкции. Путем проведения и анализа натурных испытаний выбранных вариантов конструкции днища получены данные о реальной противоминной стойкости и возможном варианте исполнения конструкции корпуса изделия, соответствующего требованиям по противоминной стойкости предъявляемых в техническом задании (см. Рис. 4.1 – 4.17 в диссертации).

Для предварительной оценки травмобезопасности экипажа СЗАТ при МВВ была разработана математическая модель, моделирующая динамическое поведение автомобиля и пассажира при подрыве взрывчатого вещества (ВВ) на земле под местом расположения пассажира и сбоку от автомобиля. Краткая визуализация результатов расчетов представлена на Рис. 3.

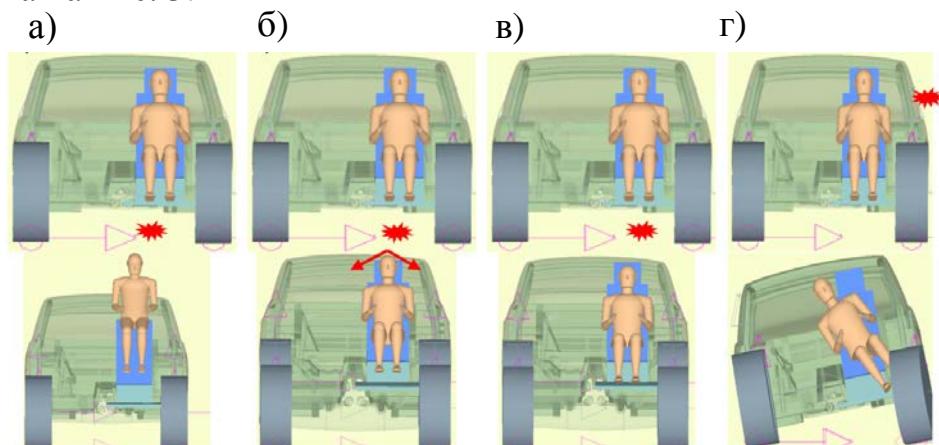


Рис. 3. а). Результаты расчёта математической модели при различных вариантах: без моделирования крыши б). С моделированием крыши в). С ремнями безопасности г). Боковой подрыв

Для СЗАТ расчетно-экспериментальным методом научно обоснована оптимизированная по весу конструкция противоминной защиты днища. Разработана и реализована методика проектирования, основанная на расчетных методах, последовательной экспериментальной проверке и уточнении результатов расчетов сначала на макетных образцах элементов защиты, затем на полномасштабных макетных образцах днища и окончательно на макетном образце автомобиля. Эффективность защиты днища была подтверждена при проведении натурных испытаний автомобиля с использованием разработанной в диссертации методики оценки травмобезопасности экипажа при подрывах на минах и АМН. При

испытаниях эффективности противоминной защиты и оценки травмобезопасности экипажа на макетном образце автомобиля были установлены 2 АИМ (Гибрид 2 и Гибрид 3) и 2 образца АМН. Результаты расчетов и результаты экспериментов см. на Рис. 4.24 – 4.32, 4.36 – 4.50 в диссертации.

В пятой главе представлены результаты разработки АМН.

На основе анализа полученных повреждений экипажа АБТ при МВВ было выявлено, что ноги являются одной из самых уязвимых частей тела при МВВ со стороны днища. В качестве критерия травмобезопасности используется критерий пиковой осевой силы, возникающей в голени ноги АИМ Гибрид 3. При использовании стандартной ноги манекена Гибрид 3 пороговое значение силы, измеренное в нижнем тензодатчике, составляет 5,4 кН. При использовании «военной» ноги Mil-Lx сила измеряется в верхнем тензодатчике, а пороговое значение силы – 2,6 кН. Другой критерий травмобезопасности основан на многолетней практике использования парашютных систем. Критическая скорость приземления на запасном парашюте не превышает 8,5 м/с. Для оценки травмобезопасности ног экипажа необходимо устанавливать манекен Гибрид 3 с военными ногами или АМН, разработанные в диссертационном исследовании.

Для реализации конструкции первого макетного образца АМН была разработана математическая модель сброса, а также проведены копровые испытания на сброс для отладки модели. В результате был подобран алюминиевый профиль, который существенно деформируется при скорости соударения равной 8,5 м/с.

Для более точных измерений был разработан АМН с реальными антропоморфными данными для чего для моделирования стопы был выбран протез ноги (модель 723/8).



Рис. 4. АМН на испытательном стенде

Протез был дооборудован дополнительной массой, имитирующей голень и часть бедра, упругим элементом, моделирующим жесткость ноги и системой измерения вертикального усилия (Рис. 4). Была разработана математическая модель для описания поведения АМН при копровых и

взрывных испытания. Путем многочисленных экспериментальных и расчетных исследований были подобраны характеристики элементов АМН, позволяющие адекватно оценивать при экспериментах как максимальную допустимую силу сжатия, так и предельную скорость удара.

В основных результатах и выводах по работе содержатся выводы по всей работе, результаты и предложения.

1. Проведен анализ открытых статистических данных по результатам поражения личного состава колесной и гусеничной АБТ при подрывах на минах и самодельных взрывных устройствах. Установлены основные поражающие факторы, а также части тела экипажа, подвергаемые опасности получения травм при МВВ;
2. Проведен анализ существующих отечественных и зарубежных исследований по критериям травмобезопасности экипажа АБТ при МВВ, а также нормативных документов, устанавливающих процедуру определения уровня стойкости защиты АБТ при МВВ. Уточнены критерии поражения экипажа АБТ. В том числе, предложено использовать результаты экспериментальных исследований университета Уэйн-Стейт, дополненные опытными данными Л.М. Патрика для оценки травмобезопасности головы совместно с общепринятым критерием тяжести повреждения головы НИС (Head Injury Criteria). Для оценки травмобезопасности позвоночника рекомендовано в качестве критерия использовать величину сжимающей силы в нижнем отделе позвоночника АИМ типа Гибрид 2, 3 вместо критерия DRI (Dynamic Response Index);
3. Была разработана методика проведения испытаний колесной и гусеничной АБТ при МВВ и сопроводительное программное обеспечение, которые в отличие от известных используют в качестве критерия травмобезопасности головы кривую Уэйн-Стейта, а в качестве критерия травмобезопасности позвоночника – максимальную сжимающую силу в нижнем отделе позвоночника АИМ типа Гибрид 2, 3;
4. Разработаны математические модели двух различных АМН на основании которых были изготовлены натурные изделия. Первый АМН основан на измерении скорости соударения днища с ногой (критическое значение 8,5 м/с). Принцип определения травмобезопасности второго АМН основан на измерении осевой силы в голени (критическое значение составляет 5,4 кН). Характеристики элементов АМН были подобраны с помощью копровых испытаний и соответствующих расчетов и в дальнейшем использованы в натурных испытаниях по подрыву СЗАТ для определения параметров травмобезопасности ног экипажа. Адекватность моделей была доказана путем сравнения расчетных и экспериментальных данных (погрешность не превышала 27,5%);
5. Разработан копровый стенд, позволяющий проводить испытания путем автоматического сброса противоминных ЭПК с АИМ и сброса АМН. Стенд позволяет имитировать различную динамическую нагрузку от

подрыва АБТ на минах на человека, расположенного на кресле и на ноги экипажа расположенные на полу изделия. Стенд позволяет оценивать эффективность и надежность ЭПК и тарировать показания измерительной системы АМН;

6. Проведен анализ конструкций ЭПК, снижающих перегрузки, действующие на экипаж АБТ. Выявлены основные типы используемых энергопоглощающих элементов и типов конструкции подвеса и крепления к корпусу техники. Расчетно-экспериментальным путем отобрана наилучшая конструкция вертолетного травмобезопасного кресла и проведены работы по его модернизации для использования в АБТ. В результате расчётов и экспериментов установлено, что конструкция крепления ЭПК должна быть выполнена по принципу маятниковой подвески к крыше или боковине корпуса. Конструкция энергопоглощающих элементов для подвески кресла была выбрана путем сравнительных экспериментальных исследований и основана на принципе прокатки проволоки. Указанная конструкция адекватно работает при любой интенсивности нарастания перегрузки и позволяет обеспечить преднатяжение привязной системы;

7. Разработана математическая модель функционирования ЭПК, предназначенная для определения основных параметров кресла, таких как угол наклона направляющих, механическая характеристика проволоки в энергопоглощающем элементе, а также количество проволок и их диаметр. На основании расчетов с использованием указанной математической модели была разработана и изготовлена конструкция противоминного кресла. Были проведены копровые испытания с целью проверки эффективности кресла. Для определения параметров травмирования экипажа был использован АИМ Гибрид-2 оснащенный необходимой измерительной аппаратурой. Путем натурных копровых испытаний подтверждена эффективность разработанного ЭПК в части снижения вертикальных перегрузок. Перегрузка на копре для разных высот сброса составляла до 230g. В результате испытаний максимальная сила сжатия нижнего отдела позвоночника АИМ не превышала – 3,95-4,50 кН при предельно допустимом значении 6,65 кН;

8. При помощи математического моделирования обоснована модификация серийной конструкции кресла фирмы-производителя VSS (Vital Seating & Systems) путем интегрирования в конструкцию энергопоглощающих элементов. Доработанные противоминные кресла установлены на автомобиле ВПК-39272. Для оценки эффективности противоминных мероприятий были проведены копровые испытания кресел VSS с АИМ. В ходе испытаний установлено снижение вертикальных перегрузок, действующих на экипаж до уровня ниже предельно допустимых значений. Перегрузка на копре, который имитирует корпус автомобиля, составила 200-230g, что соответствует перегрузке на кузове

транспортного средства при МВВ. При этом максимальная сила сжатия в нижнем отделе позвоночника была зарегистрирована на уровне 4,0-4,3 кН, что показало высокую эффективность противоминного кресла;

9. Проведена оценка эффективности конструкций ЭПК на макетном образце колесной АБТ семейства «Тайфун-У». С этой целью была проведена доработка кресел для установки их на месте водителя и десантного отделения. Были проведены измерения параметров травмирования экипажа при помощи АИМ во время натурных испытаний на полигоне. Установлено, что воздействие поражающих факторов на экипаж ниже предельно допустимых значений. В том числе величина максимальной силы сжатия нижнего отдела позвоночника при испытании подрывом миной максимальной мощностью, предусмотренной в техническом задании под кабиной, составила 2,2 кН, при испытании подрывом под отделением десанта – 2,0 кН, что меньше предельно допустимых значений. В рамках дальнейшей модификации конструкции энергопоглощающего кресла разработано, изготовлено и испытано энергопоглощающее кресло с преднатяжением ремней безопасности, позволяющее производить регулировку положения по высоте и выбегу;

10. Разработаны различные конструктивные варианты исполнения противоминного днища нового изделия гусеничной АБТ. Были проведены расчеты динамического напряженно-деформированного состояния корпуса изделия при подрыве на минах. Путем расчетов на прочность обоснован выбор трех наиболее оптимальных с точки зрения минимума массы вариантов конструкции. Путем проведения и анализа натурных испытаний выбранных вариантов конструкции днища получены данные о реальной противоминной стойкости и возможном варианте исполнения конструкции корпуса изделия. Натурные испытания доработанного днища показали, что конструкция защиты соответствует требованиям по противоминной стойкости заданным в техническом задании.

11. Разработана математическая модель и рассчитаны перегрузки пассажира СЗАТ при боковом подрыве и подрыве под днищем фугасного заряда. Модель включает в себя АИМ с набором датчиков, регистрирующих внешнее воздействие, необходимых для определения травмобезопасности при МВВ. Путем сравнения экспериментальных и расчетных данных показано, что погрешность математической модели в среднем составляет 10%, максимальная погрешность не превышает 34,7%;

12. Разработана и реализована расчетно-экспериментальная методика проектирования противоминной защиты СЗАТ. С помощью предложенной методики для СЗАТ разработана и реализована научно обоснованная, оптимизированная по весу конструкция противоминной защиты днища. Эффективность защиты днища была подтверждена при проведении натурных испытаний подрывом макетного образца защищенного автомобиля представительского класса с использованием АИМ и АМН.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Гаврилов Е.В., Кулаков Н.А. Разработка математической модели энергопоглощающего кресла с использованием результатов копровых испытаний // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 2(14), Т.1, С. 206-213 (0,5 п.л./0,25 п.л.);
2. Гаврилов Е.В., Кулаков Н.А. Особенности конструкций энергопоглощающих кресел, используемых в автобронетанковой и авиационной технике // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 1(19) С. 29-38 (0,75 п.л./0,4 п.л.);
3. Гаврилов Е.В. Антропоморфный макет ноги для оценки травмобезопасности экипажа автобронетанковой техники при минно-взрывном воздействии // Известия МГТУ «МАМИ». 2017. № 2(32) С. 8-16 (0,6 п.л.);
4. Гаврилов Е.В., Кулаков Н.А. Разработка математической модели энергопоглощающего кресла с использованием результатов копровых испытаний // Материалы 77-ой международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». М., 27-28 марта 2012. С.69-77 (0,5 п.л./0,25 п.л.);
5. Гаврилов Е.В., Кулаков Н.А. Обзор существующих конструкций и перспективы развития травмобезопасных кресел для новых образцов автобронетанковой техники // Сборник трудов 85-ой конференции ААИ «Будущее автомобилестроения России», секция «Автомобили и тракторы» М., 24 апреля 2014. С.74-85 (0,75 п.л./0,4 п.л.);
6. Гаврилов Е.В., Кулаков Н.А. Разработка метода оценки травмобезопасности ног экипажа автобронетанковой техники при подрыве на минах с использованием специального макета // Материалы 89-ой конференции ААИ «Новые вызовы». М., 18 марта 2015. С.15-18 (0,2 п.л./0,1 п.л.);
7. Гаврилов Е.В., Кулаков Н.А., Паниченко И.В. Разработка специального приспособления для оценки перегрузок ног экипажа автобронетанковой техники при подрыве на минах // Сборник научных статей Форума лучших студентов технических вузов России, X Международная выставка «Вооружение, военная техника и боеприпасы». Нижний Тагил, 9 – 12 сентября 2015. Ч.2, С.96-99 (0,25 п.л./0,1 п.л.);
8. Гаврилов Е.В. Анализ критериев поражения экипажа автобронетанковой техники от избыточного давления при подрыве на минах: тезисы доклада // Седьмая Всероссийская конф. молодых ученых и специалистов: Сб. трудов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24 –27 сентября 2014. С. 352. (0,03 п.л.)