

С.Т.БРУЛЬ, Центральное бронетанковое управления Вооружений
Главного управления логистики Командования сил поддержки
Вооруженных Сил Украины,
А.Ю.ВАСИЛЬЕВ, НТУ “ХПИ”

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА КОРПУС БОЕВОЙ МАШИНЫ

У статті пропонується методика автоматизованого аналізу впливу ударних хвиль різного походження на корпуси легкоброньованих машин. Описані можливі ушкодження об'єктів та обґрунтована необхідність аналізу подібних явищ. Наведено результати тестових скінченно-елементних розрахунків впливу ударної хвилі від потужного вибуху на корпус МТ-ЛБ.

In the article different origin shocks waves influencing on lightweight vehicles hulls automated analysis method is offered. Possible objects damages are described and similar phenomena analysis necessity is grounded. The results of test finite-elements computation of influencing of shock wave on the MT-LB hull are given.

1. Актуальность исследуемой задачи. Возрастание мощности оружия массового поражения, увеличение количества различных террористических актов, в том числе с использованием различных взрывных устройств высокой мощности, а также различные крупные аварии и стихийные бедствия, привело к необходимости учитывать воздействие подобных явлений на различные объекты.

Особую актуальность в этой связи приобретает возможность моделирования воздействия подобных явлений на военную технику легкой категории по массе. Подобные задачи становятся актуальными из-за широкого применения подобной техники в вооруженных конфликтах и при ликвидации последствий различных техногенных катастроф.

Мощные взрывы различного происхождения, стихийные бедствия порождают в воздушном пространстве волну ударного действия. Характеристики воздушного давления (величина избыточного или разрежения) меняются в зависимости от координат, времени и скорости волны.

Ударная волна действует скоростным напором воздушного фронта и избыточным давлением во фронте. Давление скоростного напора способно опрокинуть танк или легкобронированную машину (ЛБМ), сорвать и повредить наружное оборудование. Избыточное давление во фронте волны, перемещающейся с высокой скоростью, мгновенно обжимает объект со всех сторон, деформируя его корпус (особенно тонкие крышу и днище). Это приводит к разрушению агрегатов, близко расположенных к стенкам, креплений люков, пробок и т.п. Кроме того, избыточное давление может проникнуть в обитаемые объемы через неплотности и поразить экипаж [1].

Повреждения могут быть следующих типов:

- сильные, сопровождающиеся срывом башни, разрушением корпуса, вооружения и т.п.;
- средние, вызывающие опрокидывание машины (заклинивание башни, разрыв гусеницы, нарушение центровки и т.п.);
- слабые, если повреждаются лишь оптические приборы, наружные баки и т.п.

Прочностные характеристики корпуса и башни определяются избыточным давлением во фронте ударной волны и скоростным напором [2, 3].

Таким образом, при моделировании новой военной техники и модернизации уже существующей необходимо моделировать воздействие ударной волны разной природы возникновения на корпус боевой машины для обоснования выбора конструктивных параметров данных корпусов [4]. Для примера можно рассмотреть машины серии МТ-ЛБ. Это связано с широким распространением машин данного типа как в мире в целом, так и в Украине в частности. Кроме того, эти машины представляют интерес в связи с большим количеством различных модификаций, что является существенным при решении поставленной задачи.

2. Постановка задачи. Рассматривается корпус боевой машины, подвергающийся действию фронта ударной волны. В ходе работы поставлены для решения следующие задачи:

- 1) Разработать математическую модель напряженно-деформированного состояния корпуса МТ-ЛБ;
- 2) Разработать методику численного анализа динамических процессов при действии ударной волны;
- 3) Разработать методы формирования конечно-элементной модели, включающие моделирование подвижной нагрузки;
- 4) Разработать специализированную систему с базой данных для хранения результатов многовариантных расчетов.

3. Математическое моделирование исследуемого процесса. В общем случае при определении жесткостных и прочностных характеристик корпусных элементов транспортных средств специального назначения при действии на них ударной волны расчет динамического поведения заменяется на расчет от действия статических сил, величины которых умножались на коэффициент динамичности [3]. Такие упрощения связаны с высокой сложностью описания как самой ударной нагрузки, так и процессов, происходящих в транспортных средствах при ее действии. В данной статье приводится более точная постановка задачи: ударная волна моделируется посредством нагрузки, распределенной по линии, контрольные точки которой меняются во времени. Способ задания ударной нагрузки показан на рис. 1.

Расчет динамики поведения корпуса МТ-ЛБ производится в программе ANSYS при помощи метода конечных элементов, реализованного в этом пакете. Метод конечных элементов является численным, приближенным методом, основная идея которого состоит в том, что любую не-

прерывную величину, определенную на произвольном пространстве, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. При этом сами кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе узловых точек рассматриваемой области.

Точность результатов зависит от размеров и размещения конечных элементов. Метод конечных элементов получил широкое распространение во всем мире. Он успешно заменяет методы сопротивления материалов и строительной механики при расчете тел простой конфигурации, а при расчете деталей сложной геометрии в настоящее время является практически единственным инженерным методом. Главными достоинствами этого метода являются гибкость и универсальность, позволяющие в короткое время выполнять расчеты конструкций большой сложности [5, 6]. Основная расчетная формула метода для нахождения напряженно-деформированного состояния при воздействии подвижной нагрузки записана ниже в матричном виде:

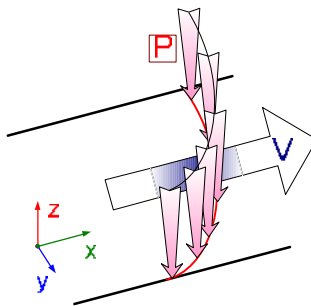


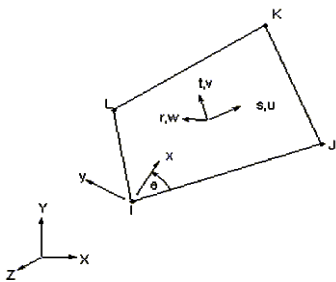
Рис. 1. Подвижная нагрузка

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = [F(\{R\} - \{V\}t)], \quad (1)$$

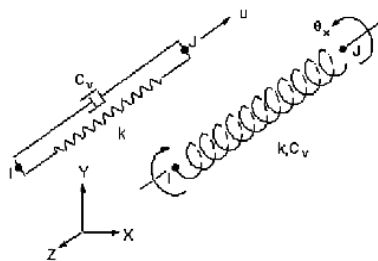
где $[M]$ - глобальная матрица масс;
 $[K]$ - глобальная матрица жесткости конечно-элементной модели;
 $[C]$ - глобальная матрица демпфирования;
 $\{X\}$ - искомый вектор узловых перемещений модели;
 $\{R\}$ - радиус вектор произвольной точки модели;
 $\{V\}$ - скорость перемещения подвижной нагрузки;

$[F(\{R\} - \{V\}t)]$ - глобальный вектор нагрузок (при учете, что нагрузка зависит и от координат, и от времени).

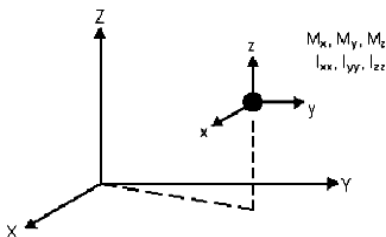
На рис. 2 показаны типы конечных элементов, которые были использованы в КЭ модели МТ-ЛБ.



оболочечный элемент SHELL 43



упругий элемент COMBIN 14



массовый элемент MASS 21

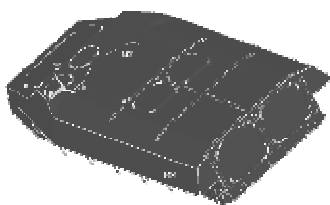
Рис. 2. Конечные элементы, использованные при построении конечно-элементной модели

4. Решение модельных задач. В качестве проверки работоспособности метода выступали расчеты конечно-элементной модели, построенной на базе корпуса МТ-ЛБ.

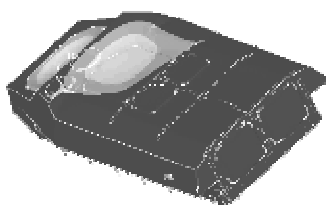
На рис. 3 показана серия из 9 кадров, которая содержит наиболее характерные картины распределения перемещений во время прохождения ударной волны. На рисунке видно последовательное прохождение линии с приложенным давлением, которое вызывает прогибы элементов корпуса. После прохождения волны корпус продолжает совершать колебания до полного затухания.

Несмотря на то, что распространение приложения давления моделировалось линией, проходящей вдоль продольной оси корпуса, на рис. 3 видна несимметричность поведения корпусных деталей. Это объясняется несимметричностью силовых и конструктивных элементов относительно средней вертикальной продольной плоскости корпуса.

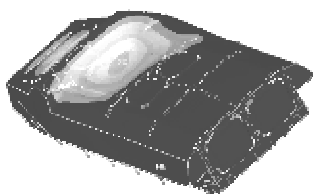
На рис. 4 показаны качественные распределения во времени вертикальных перемещений точек, расположенных на середине люка трансмиссионно-отделения, носа, кормы ряд (1, 2 и 3 соответственно).



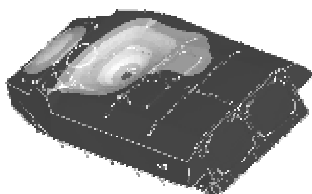
1



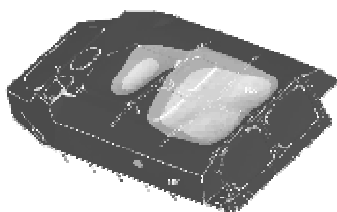
2



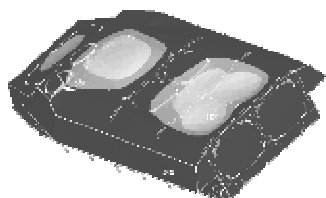
3



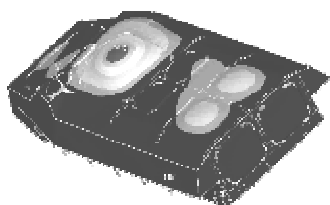
4



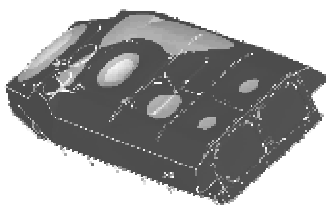
5



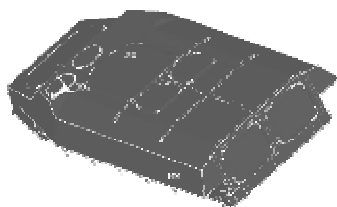
6



7



8



9

Рис. 3. Характерные распределения перемещений в корпусе боевой машины при прохождении ударной волны

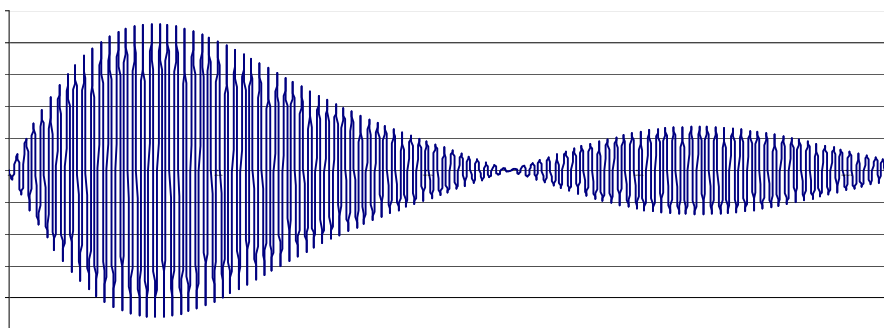


Рис.4. Качественный вид распределения вертикальных перемещений характерных точек корпуса при действии подвижной волны избыточного давления

5. Заключение. В результате решения поставленных в статье задач:

1) Разработана комплексная математическая модель, отличительной особенностью которой является более точное моделирование напряженно-деформированного состояния, вызванного приложением нагрузки от ударной волны на корпус боевой машины, по сравнению с существующими методами;

2) Разработаны модули специализированного программного комплекса для проведения многовариантных динамических расчетов;

3) Проведено решение тестовых задач. Полученные результаты по характеру поведения напряжений и деформирования корпуса БМ подтверждают качественное соответствие моделируемому процессу. Подтверждена работоспособность предлагаемых методов, алгоритмов и программного обеспечения.

В дальнейшем предполагается расширение функциональных возможностей разработанного программного обеспечения и созданных моделей, а также проведение конкретных исследований при реальных значениях варьируемых и фиксированных параметров.

Список литературы. 1. Чобиток В.А., Брижинёв Ю.Н., Долганов А.А., Мирошник А.В. Конструкция и расчёт танков и БМП. – М.: Воениздат, 1984. – 376с. **2.** Балдин. В.А. Теория и конструкция танка. – М.: Воениздат, 1975. - 442 с. **3.** Буров С.С. Конструкция и расчет танков. – М.: Воениздат, 1973. – 602 с. **4.** Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Глуценко Э.В., Ткачук А.В. Программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов сложных механических систем // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – № 31. – С.154-165. **5.** Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с. **6.** Васильев А.Ю. К вопросу о деформировании корпусов транспортных средств при действии ударных нагрузок // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 47. – С.42-50.

Поступила в редколлегию 15.11.2005

Ю.К.ВАСИЛЬЕВ, А.Ю.ВАСИЛЬЕВ, НТУ “ХПИ”

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СНАРЯЖЕНИЯ

Запропоновано підхід до дослідження туристського й альпіністського спорядження. Створено геометричні й скінченно-елементні моделі досліджуваних об'єктів. Наведено результати пробних розрахунків карабінів на міцність.

Tourist and alpinist equipment research approach is offered. The geometrical and finite-elements models of the explored objects are created. Results of pilot stressedly-deformed analysis of carabines are given.

Введение. В современном мире мало кто сомневается в бесценности человеческой жизни. Но даже существующие сомнения резко сокращаются, как только дело доходит до вопроса необходимости сохранности собственной жизни и жизни близких людей. Это и есть основная причина появления таких направлений знания, как медицина, техника безопасности и пр. Причем техника безопасности включает в себя, как своды различных предписаний к поведению людей, так и различные вещественные предметы [1, 2]. Их объединяет то, что они в равной мере направлены на уменьшение риска жизни и здоровью человека во время выполнения каких-либо действий. Вполне естественно, что наибольшее развитие техника безопасности получила в тех областях, где риск выше. И современные правила и обмундирование были “отшлифованы” до их нынешнего состояния ценой многих жизней. Дополнительную актуальность подобные исследования получают ввиду того, что существующие нормативные документы [3 – 9] отражают далеко не все особенности работы оборудования.

В рамках статьи осуществлена попытка сформулировать те вопросы техники безопасности туризма, альпинизма, промышленного альпинизма и смежных областей, которые можно и целесообразно решать при помощи современного программно-аппаратного обеспечения. Основной упор в статье делается на описание возможности оценки эффективности оборудования и инвентаря.

Классификация оборудования и инвентаря. Из всего списка оборудования, применяемого в различных видах туризма и альпинизма, наиболее распространенными и в то же время имеющие повышенные требования по технике безопасности, являются (рис. 1):

- веревки, репшнуры;
- крючья: скальные, ледовые, шлямбурные;
- зажимы для веревки, блоки;
- страховочные и спусковые устройства;



Рис. 1. Примеры оборудования, используемого в туризме и альпинизме

одного направления оборудование отличается формой, размерами и иногда даже принципом действия [1, 10, 11]. Типичным примером такого разнообразия могут служить карабины. Различные варианты формы карабинов показаны на рис. 2.

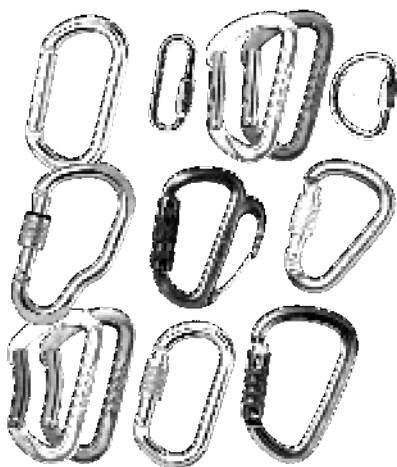


Рис.2. Различные варианты формы карабинов

- ледорубы, айс-байли, альпенштоки;
- карабины;
- кошки;
- каски, шлемы;
- платформы.

Кроме этого необходимо подвергать исследованию оборудование для экстремальных видов спорта: велосипеды, байдарки и каяки, лыжные и сноубордные крепления, парашюты и т.п.

Постановка задачи.

Существует огромное количество разнообразного оборудования, отличающегося по назначению (см. рис. 1), но даже в рамках

Кроме формы основной части, карабины отличаются типом защелки, размерами, и материалом. В качестве материалов чаще всего применяют различные марки стали, алюминия, титана и магния. В соответствии с законодательством карабины должны отвечать требованиям, приведенным в [7].

Из рассмотренных объектов наибольший разброс по типу имеют каски. Они предназначены для защиты головы от ударов. Кроме того, они могут выполнять еще и дополнительные функции. К примеру, форма велосипедных касок выбирается кроме прочего по принци-

пу минимального аэродинамического сопротивления. По форме и используемым материалам каски отличаются кардинально. На рис. 3 показаны некоторые примеры предлагаемых форм касок.



Рис. 3. Примеры предлагаемых форм касок

В качестве основных материалов используются: полипропилен, поликарбонат, полистирен, различные композитные материалы и т.п. Часто в касках используется комбинация нескольких материалов: более прочный и жесткий – верхний слой и внутренний слой – более податливый. В соответствии с законодательством каски должны отвечать [3, 4]. Их особенностью является еще и то, что в отличие, от работающих в основном в линейной области карабинов, каски работают изначально в нелинейной области.

Методика исследования. Для решения задачи об анализе прочностных, жесткостных и других характеристик, определяющих надежность, долговечность и эффективность оборудования, предлагается использовать обобщенный параметрический подход [12] совместно с методом конечных элементов [13].

Использование обобщенного параметрического подхода предполагает построение параметрических геометрических и физических моделей исследуемых объектов. Заложенные в модели параметры должны иметь возмож-

ность вносить не только количественные изменения в модель, но и качественные.

На рис. 4, 5 показаны некоторые из геометрических и конечно-элементных моделей карабинов и их элементов.

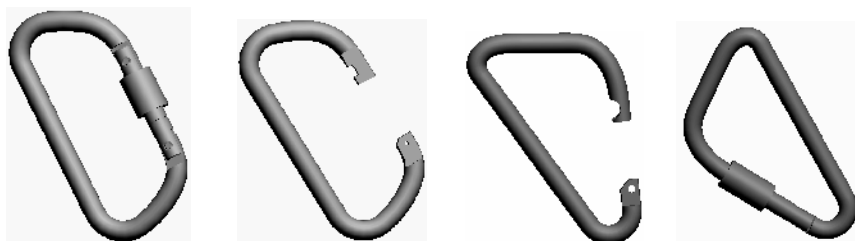


Рис. 4. Геометрические модели карабинов и их элементов

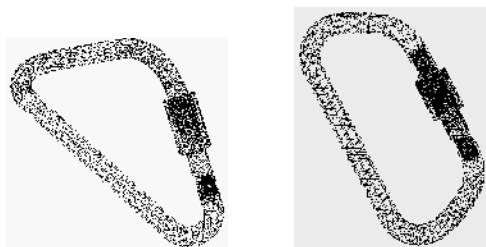


Рис. 5. Конечно-элементные модели карабинов

На рис. 6 показана трехмерная модель велосипедного шлема.

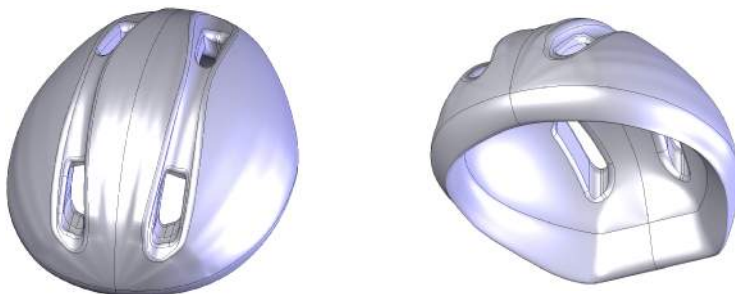


Рис. 6. Модель велосипедного шлема

На рис.7. показаны качественные картины деформаций карабинов, полученные в результате тестовых расчетов на статическую прочность.

Заключение. Как правило, в нашей стране существует практика использовать рассмотренное в статье оборудование с несоблюдением правил эксплуатации. Инвентарь продолжает находиться в применении до наступления состояния полного износа, разрушения. Это влечет за собой травмы, приводящие к потере работоспособности, и даже к летальному исходу.

Кроме того, ни государственные нормы, ни данные производителей оборудования, не описывают поведение оборудования в экстремальных режимах. Также отсутствуют данные о накоплении повреждений в ходе эксплуатации, о возможности повторного использования инвентаря после динамической нагрузки меньшей по величине, чем критическая, и много другой не менее важной информации. Поэтому жизненно необходимо знать характер нагрузок, который может выдержать тот или иной инвентарь.

Таким образом, открывается широкое поле для разносторонних численных и экспериментальных исследований.

В дальнейшем планируется провести исследования различных типов туристского и альпинистского оборудования.

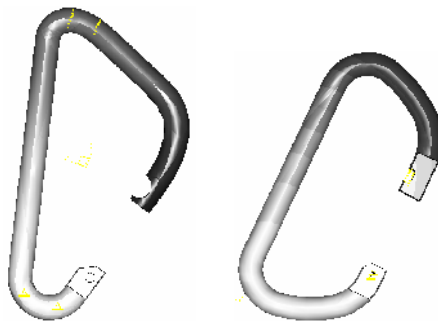


Рис. 7. Результаты тестовых расчетов карабинов на статическую прочность

Список литературы. 1. Кузнецов В.С. Учебное пособие по изучению и использованию методов выполнения высотно-верхолазных работ с применением специальной оснастки и страховочных систем. – Симферополь: Таврия, 2004. – 235 с. **2.** Альпинизм: Пособие / Под ред. И.И. Антоновича. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 344 с. **3.** ГОСТ 12.4.011.-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. **4.** ГОСТ 12.4.107.-82 ССБТ. Строительство. Канаты страховочные. **5.** ГОСТ 12.4.087.-84 ССБТ. Строительство. Каски строительные. **6.** ГОСТ 12.4.128.-83 ССБТ. Строительство. Каски защитные. Общие технические требования и методы испытаний. **7.** ТУ 62-4239-78 Зажимы альпинистские. **8.** ТУ 62 – 7791-82 Устройства для спуска по веревке. **9.** ТУ 62-01-00-9401-90 Карабины альпинистские. **10.** Сайт журнала “Вертикальный мир”: www.vertmir.ru. **11.** Каталог компании Petzl. – 2005. – 290 с. **12.** Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем// Механіка та машинобудування. – 2002. – №1, С.6-13. **13.** Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2005

Ю.В.ВЕРЕТЕЛЬНИК, НТУ «ХПИ»

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТИТАНОВЫХ ЭНДОПРОТЕЗОВ

Запропоновано підхід до розрахунково-експериментального дослідження елементів біомеханічних систем. Досліджено напружено-деформований стан титанового ендопротеза. Отримані експериментально обґрунтовані скінчено-елементні моделі досліджуваних ендопротезів.

The experiment-calculated approach for research of the biomechanics systems elements is offered. The stressedly-deformed state of titanium implants is investigated. The experimentally grounded finite elements models of the implants are got.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ. В настоящее время в жизни человека в числе других можно выделить два негативных аспекта. Во-первых, малоактивный образ жизни (имеется в виду отсутствие регулярной физической нагрузки для поддержания мышечной системы в надлежащей форме). С другой стороны, человек в повседневной жизни постоянно подвергается критическим для позвоночного столба нагрузкам, а именно неправильное поднятие и переноска тяжелых грузов, сильные динамические перегрузки в транспорте и т.д. Кроме перечисленных факторов, с возрастом проявляются различные патологии.

В результате количество травм позвоночного столба постоянно растет. Достаточно большое количество повреждений удается вылечить, не прибегая к хирургическому вмешательству. Но все равно количество случаев, требующих операций, постоянно растет [1-5]. При операциях используются эндопротезы различных конструкций отдельно или в сочетании с разнообразными поддерживающими конструкциями. Это обуславливает актуальность исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) эндопротезов различных конструкций.

Исследованию данной проблемы уделяется много внимания. Существует достаточно много вариантов конструкций эндопротезов. Данная статья посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния одного из вариантов эндопротеза, разработанного в Харькове.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. При проведении экспериментальных исследований могут ставиться различные цели. В данном конкретном случае исследования проводятся с целью верификации математической численной моделей для описания НДС эндопротезов.

Стремительное развитие технологий проектирования предоставило конструкторам мощные средства проектирования. Конструктор может не только спроектировать конструкцию, но провести экспресс-анализ конструктивных решений. Выбранный вариант инженер-расчетчик может обосновать с помощью специальных программных продуктов. При этом расчеты могут быть