

## **Эргономическая адаптивность и задачи улучшения защиты от ударных перегрузок**

**Липов Б. П.**

*Компания Реал-Бизнес. Адаптивные системы,*

*Мневники, 7, корп.1, Москва, 123308, Россия*

*e-mail: libor@list.ru*

### **Аннотация**

Защита от ударных перегрузок в авиации представляет собой актуальную задачу. В работе рассматриваются ударные перегрузки, возникающие при аварийной посадке. Учет антропометрии конкретного пилота в системах защиты позволяет улучшить эргономичность рабочего места и переносимость ударных перегрузок. Эргономическая индивидуализация на базе адаптивных ложементов позволяет улучшить переносимость ударных перегрузок благодаря формированию и поддержанию оптимальной силовой формы позвоночника и равномерному распределению усилий по площади контакта. На основе этих принципов рассматриваются активные системы защиты от ударных перегрузок на базе адаптивно-индивидуальных панелей. Такие системы формируют рациональное положение тела и надежно сохраняют эту позу в момент удара, обеспечивают рациональное приложение и дозированную передачу ударных сил на скелетно-мышечную систему пилота.

### **Ключевые слова**

эргономическая адаптивность, ударные перегрузки, аварийная посадка, защита от ударных перегрузок, кресло, шлем

Эргономическая адаптивность представляет собой сравнительно новое понятие в инженерной эргономике. Адаптивные (самонастраивающиеся) устройства предназначены для применения в конструкции рабочих кресел, шлемов и других компонентов рабочих мест, с которыми человек-оператор непосредственно (физически) контактирует в процессе работы. Адаптивные устройства обладают способностью изменять форму своей контактной поверхности в соответствии с формой контактирующих участков тела человека, а затем зафиксировать, «запоминать» полученный отпечаток – см. рисунок 1. В результате компоненты рабочего места приобретают индивидуальную и эргономичную форму, улучшается удобство

размещения

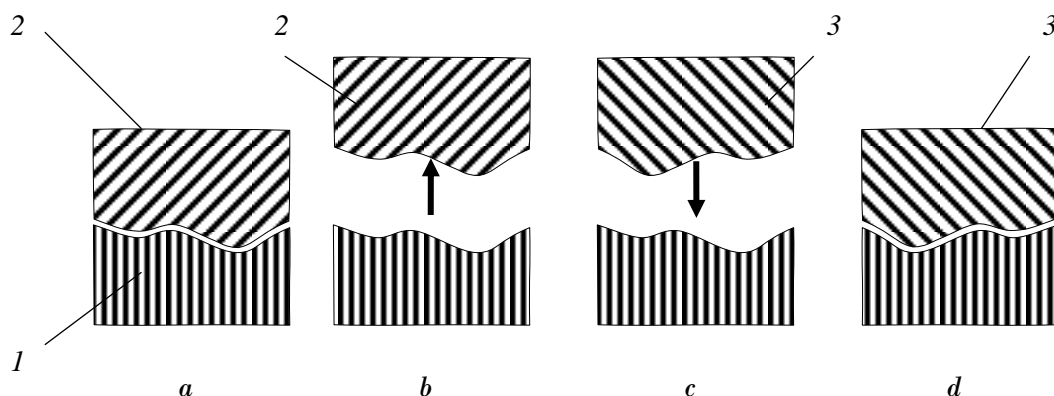


Рис. 1 Схема работы адаптивного ложемент

1 – адаптивный ложемент, 2 – тело произвольной формы №2, 3 – тело произвольной формы №3  
а – адаптация по телу «2», б – тело «2» удалено, форма адаптивного ложемента сохраняется,  
с – на адаптивный ложемент размещается тело «3», д – адаптация по телу «3».

оператора и эргономичность рабочего места в целом. К таким устройствам относятся конструкции адаптивных ложементов, защищенные патентами РФ [1], [2]. Адаптивные ложементы могут применяться в конструкции кресел авиационных экипажей – как основа спинки и сидения. Известно также устройство для защитных шлемов [3], обладающее свойствами эргономической адаптивности. В настоящее время на базе известных адаптивных устройств разрабатываются модернизированные адаптивные устройства, предназначенные для применения в конструкции рабочих мест экипажей летательных аппаратов с целью улучшения их эргономичности.

Наиболее эргономичным может быть такое кресло, у которого все контактные поверхности имеют специальную, индивидуальную форму, полностью соответствующую форме контактирующих участков тела человека. Такая эргономическая индивидуализация формы – придание контактным поверхностям строго определенных индивидуальных геометрических форм, соответствующих антропометрии конкретного пользователя – состоит в том, что все эргономические параметры кресла имеют индивидуальные значения, полностью соответствующие антропометрии каждого конкретного оператора.

Примером полной эргономической индивидуализации служит индивидуальный ложемент кресла космонавта, который формируется непосредственно по телу данного конкретного космонавта, полностью повторяет его форму в виде статического слепка, однако является сугубо индивидуальным и не может быть использован другим космонавтом [4].

При этом очевидно, что широкое применение эргономической индивидуализации способом индивидуального формования опорных поверхностей имеет существенные организационные и технические ограничения. Поэтому речь должна идти об управляемой эргономической индивидуализации, средством реализации которой являются адаптивные самонастраивающиеся системы и устройства, которые могут обеспечить эргономическую индивидуализацию форм контактных поверхностей (кресло, шлем и др.) для широкого контингента пользователей. В отличие от существующих кресел, которые проектируются для 95 перцентиля [5] и обеспечивают совпадение форм только для узкого контингента пользователей, адаптивные ложементы могут обеспечить эргономическую индивидуализацию для широкого контингента пользователей.

Применение адаптивных конструкций в системах защиты от ударных перегрузок - в частности в системах фиксации летчика в кресле - является перспективным направлением. Адаптивные компоненты систем фиксации, обеспечивая точное копирование формы тела человека, позволяют увеличить площадь контакта, равномерно распределить контактные напряжения и снизить их удельные значения. На рисунке 2 схематично показаны условия нагружения в зоне контакта с условным телом для случая обычных и адаптивных компонентов систем фиксации.

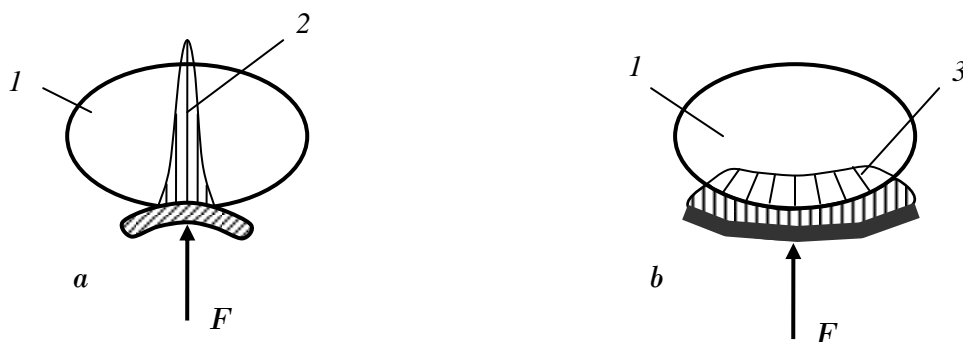


Рис. 2 Компоненты систем фиксации (КСФ)

*a* - обычные, *б* – адаптивные

1 – удерживаемое тело; 2 – эпюра контактных напряжений для неадаптивного КСФ,

3 – эпюра контактных напряжений для адаптивного КСФ,

*F* – внешняя сила

Неадаптивные компоненты систем фиксации (привязные ремни) имеют малую площадь контакта с удерживаемым телом. Поэтому контактные напряжения, вызванные силой *F*, имеют интенсивные пиковые значения (рисунок 2, эпюра 2). А для адаптивных компонентов

систем фиксации контактные напряжения распределяются по площади контакта без пиковых значений (эпюра 3).

На основе использования этих свойств адаптивных конструкций имеется возможность дальнейшего усовершенствования систем фиксации летчиков и повышения их защищенности от ударных перегрузок.

Ударные перегрузки, возникают в чрезвычайных ситуациях при аварийной посадке и при катапультировании. Такие ситуации возникают при отказах или повреждениях летательных аппаратов, из-за которых дальнейшее пилотирование невозможно и создается реальная угроза жизни членов экипажа. В этих случаях аварийное приземление или покидание самолета (вертолета) является единственным способом выхода из сложившейся ситуации и спасения членов экипажа.

Для скоростных самолетов основным способом аварийного покидания и спасения летчика является катапультирование, а аварийная посадка применяется значительно реже. В случае же транспортных самолетов и вертолетов покидание с парашютом крайне затруднено, поэтому при отказе такой техники единственным способом спасения экипажей является аварийная посадка. Однако это связано с большими рисками нанесения ущерба здоровью летчика. При аварийной посадке, в следствие интенсивного торможения летательного аппарата при ударе о землю, на летчика действуют значительные инерционные силы, вызванные ударными перегрузками. Имеющиеся статистические данные иллюстрируют высокий уровень травматизма, вызванного действием ударных перегрузок: при аварийных посадках примерно половина участников летного происшествия получают травмы различной степени тяжести или гибнут. При катапультировании также возникают различные травмы – в том числе компрессионные переломы позвонков и другие повреждения позвоночника. В этой связи задача улучшения систем защиты экипажей от ударных перегрузок представляется весьма актуальной.

Ударные перегрузки имеют высокие скорости нарастания и большие амплитудные значения. Нормативными документами [6] устанавливаются проектные значения перегрузок, которые с высокой вероятностью достигаются при аварийной посадке. В частности значения перегрузки «голова-таз» - на уровне 20 ед., «спина-грудь» 16 ед., а «грудь - спина» 2 ед. Нагрузки от инерционных сил на плечевые ремни устанавливаются на уровне от 800 до 900 кгс, а усилия в поясничной зоне позвоночника – 680 кгс. В условиях реальных аварийных посадок ударные перегрузки по всем трем осям могут превышать нормированные значения.

Инерционные силы, сопровождающие ударные перегрузки, как и перегрузка, зависят от времени и могут быть представлены выражением:

$$F(t) = mgn(t), \quad (1)$$

где  $F(t)$  – вектор инерционной силы, приложенной к телу массой  $m$ ,

$n(t)$  – перегрузка,

$g$  – ускорение свободного падения.

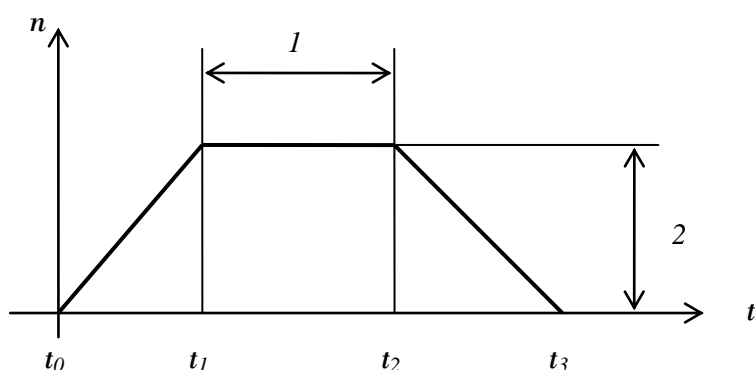


Рис. 3 Типовая зависимость ударной перегрузки от времени

$l$  – длительность,  $2$  – величина

Ударная перегрузка характеризуется направлением, величиной (амплитудным значением), длительностью и скоростью нарастания (рисунок 3). В каждом конкретном случае именно взаимное сочетание этих четырех характеристик необходимо учитывать при оценке воздействия перегрузки на человека.

Перегрузка характеризуется так же «импульсом ударного ускорения» [7], или «дозой перегрузки» [8] - показателем, учитывающим изменение перегрузки во времени:

$$\Delta V = g \int_{t_0}^{t_3} (n - 1) dt \quad (2)$$

где  $\Delta V$  - доза перегрузки (скорость потерянная при ударе);

$g$  - ускорение свободного падения;

$n(t)$  - ударная перегрузка;

$t_0$  - момент времени начала удара;

$t_3$  - момент времени окончания удара.

Известные системы защиты от ударных перегрузок имеют в своем составе: рабочее кресло, привязные ремни, защитный шлем.

Рабочее кресло может дополнительно оснащаться подголовником, подлокотниками, вставкой для поддержки поясничной зоны, амортизатором для поглощения энергии удара.

Сидение и спинка кресел могут иметь профилированную опорную поверхность, обеспечивающие более плотную посадку в кресле.

Привязные ремни оснащаются инерционными механизмами автоматического стопорения и механизмом принудительного притяга ремней. Эти устройства срабатывают в момент возникновения ударной перегрузки для усиления фиксации летчика в кресле.

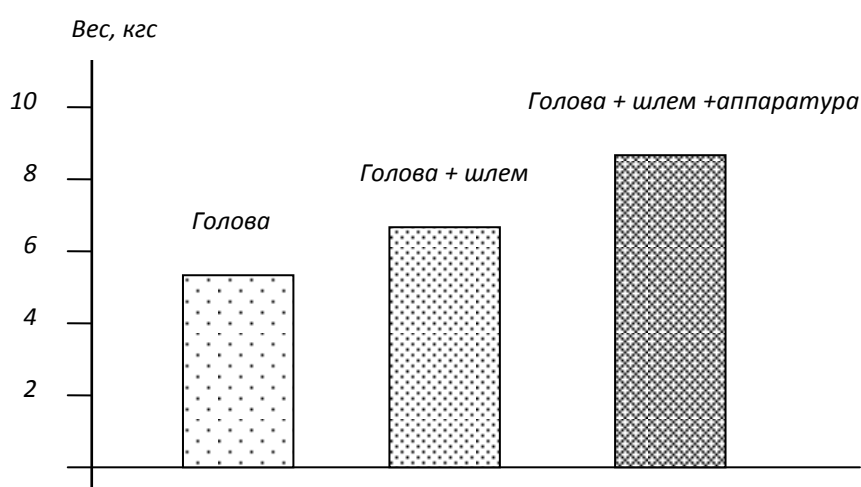


Рис.4 Тенденция роста нагрузки на шейный отдел позвоночника

Защитный шлем служит для предотвращения травмирования головы летчика от соударения с элементами конструкции кабины. Вместе с тем шлем не защищает от кинематического действия ударных перегрузок.

Ударные перегрузки направления «спина-грудь» вызывают интенсивное перемещение головы пилота вперед - так называемый «кивок». Ситуация усложняется тем, что шлем и нашлемная аппаратура, размещаемые на голове пилота, значительно увеличивают массу системы «голова – шлем – аппаратура» (рисунок 4). Это приводит не только к росту статической нагрузки на шейный отдел позвоночника, но и к существенному увеличению инерционных сил, создающих интенсивные изгибные деформации шейного отдела позвоночника. Возникают в высшей степени неадекватные и не

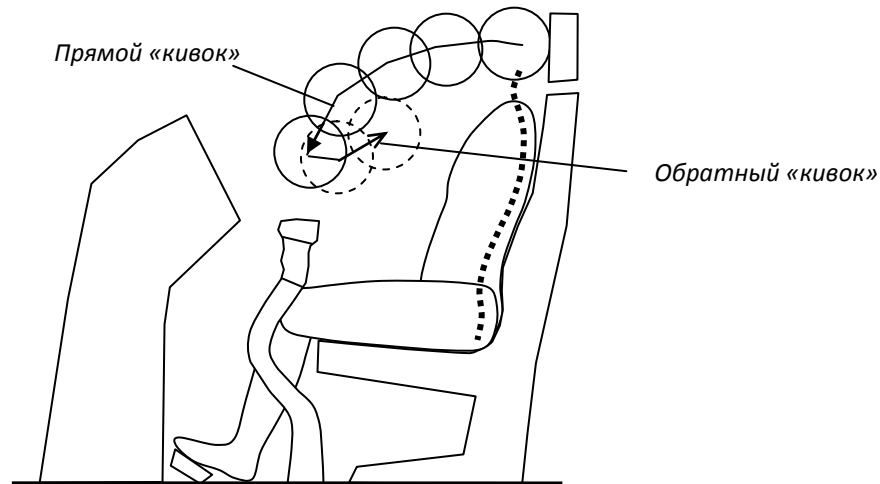


Рис. 5 Кинематика движения головы под действием перегрузки «спина-грудь»

физиологические деформации шейного отдела позвоночника, имеющие огромный травмирующий потенциал: риск повреждения и разрыва связочно-суставных структур шейного отдела позвоночника вплоть до повреждения спинного мозга, а также риск удара головой об элементы конструкции кабины с получением черепно-мозговых травм. В настоящее время в авиации проблема защиты шейного отдела позвоночника находится в стадии решения, но в практическом плане применяются в основном профилактические компоновочные мероприятия, исключающие установку в «ометаемой» зоне приборов, оборудования и органов управления (рисунок 5).

Степень защищенности и переносимость ударных перегрузок в значительной степени зависит от конструктивных особенностей систем фиксации. Материалы экспериментов [8] показывают, что кресло, оборудованное боковыми опорами для туловища, головы и ног обеспечивает удовлетворительную переносимость испытателем боковой перегрузки  $n_y = 23,1$  ед, при этом доза перегрузки составила  $\Delta V_y = 8,4$  м/с, а скорость нарастания -  $dn_y/dt=1200$  1/с. В другом эксперименте система фиксации имела площадь охвата 553 см<sup>2</sup> и была применена защита от кивка головы – была отмечена удовлетворительная переносимость перегрузки «спина-грудь» -  $n_x = 45,4$  ед. при  $\Delta V_x= 56$  м/с.

Анализ экспериментальных данных показывает, что технические средства улучшения переносимости ударных перегрузок и повышения защищенности летчика должны обеспечивать:

- формирование физиологически правильной позы тела перед воздействием ударной перегрузки;

- обеспечение и поддержание оптимальной формы скелетно-мышечной системы в процессе действия ударной перегрузки;
- рациональное приложение инерционных сил к скелетно-мышечной системе летчика и их равномерное распределение по контактной площади;
- фиксацию подвижных частей тела (в особенности – головы).

В наибольшей степени перечисленные факторы могут быть обеспечены применением в защитных системах адаптивных устройств и систем. Адаптивные компоненты защитных систем позволяют получить для широкого контингента пилотов точное копирование формы контактных поверхностей и увеличение площади контакта тела с креслом и с устройствами фиксации. За счет этого достигается активное формирование физиологически правильной позы тела перед воздействием ударной перегрузки и поддержание оптимальной формы позвоночника в процессе действия ударной перегрузки – рисунок 6.

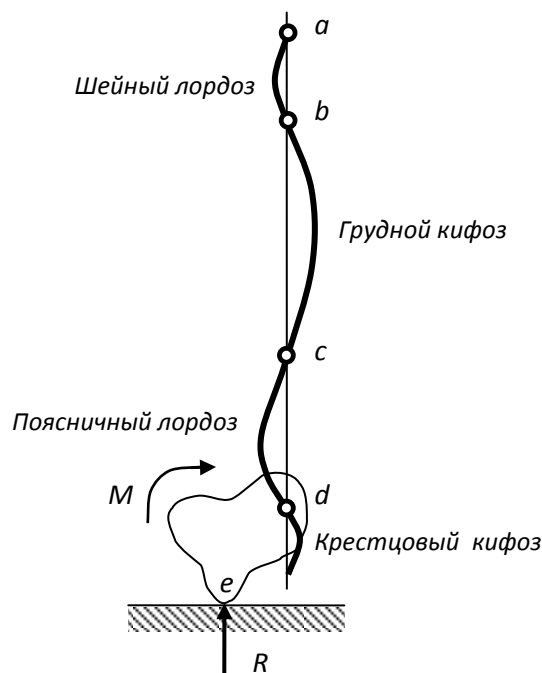


Рис. 6 Физиологически правильная форма позвоночника в сагитальной плоскости  
*a*- атлант; *b* – VI шейный позвонок;  
*c* - IX грудной позвонок; *d* – пояснично-крестцовое сочленение

Наибольший эффект достигается приданием позвоночнику анатомически правильной формы и рациональным приложением сил и моментов, вызванных ударными перегрузками. В процессе эволюции скелетно-мышечная система человека сформировалась для восприятия



таких усилий, которые оптимальны по величине и по способу приложения. В этом смысле позвоночник человека, как основной элемент скелета, наиболее эффективно воспринимает внешние силы, если его форма соответствует естественной анатомической, S-образной – рисунок 6.

Физиологически правильная форма позвоночника обеспечивает также оптимальную работу межпозвоночных дисков, так как при такой форме позвоночника смежные торцы позвонков параллельны друг другу и межпозвоночный диск нагружается симметрично, что исключает его смещение и повреждение.

Для обеспечения оптимальной формы позвоночника необходимо иметь такую форму спинки сидения, которая в точности повторяет форму контактирующих частей тела летчика. Необходима эргономическая адаптивность контактных поверхностей кресла, так как предварительно спроектированные формы спинки не могут соответствовать индивидуальным формам конкретного человека. Эргономическая индивидуализация формы спинки может быть достигнуто применением конструкций, разработанных на базе адаптивных ложементов [1], [2], которые обеспечивают копирование формы контактной поверхности.

Дальнейшим развитием адаптивных ложементов в системах защиты от ударных перегрузок могут быть адаптивные панели. Такие конструкции позволяют обеспечить значительную боковую поддержку и одновременно точное копирование формы. Адаптивные панели имеют профилированный контур и контактируют с телом летчика через самонастраивающиеся формообразующие элементы, конструкция которых находится в стадии разработки. Применение адаптивных панелей позволит реализовать дополнительные условия оптимальной работы позвоночника, как силовой основы скелета человека, состоящие в необходимости обеспечить рациональное приложение внешних сил по отношению к точкам *a*, *b*, *c*, *d* и оптимизировать приложение внешних сил на скелетно-мышечную систему пилота. Обычно инерционные силы порождают реакцию *R* приложенную в точке *e* (седалищные бугры), что приводит к возникновению момента *M*, деформирующего позвоночник в зоне поясничного лордоза (рисунок 6). В этом состоит одна из причин возникновения травм и повреждений позвонков и межпозвоночных дисков при аварийных посадках и катапультировании. Адаптивные панели могут улучшить эту ситуацию за счет перераспределения реакций и контактных напряжений.

### **Библиографический список**

1. Патент РФ №2308863 на изобретение кл. А 47С 23/4 «Регулируемый механический ложемент» Патентообладатель Б.П. Липов, автор Б.П. Липов Приоритет изобретения 28 декабря 2005 г. Бюл. № 30 от 27.10.2007.
2. Патент РФ №2349242 на изобретение кл. А 47С 27/10 «Ложемент пневматический регулируемый» Патентообладатель Б.П. Липов, автор Б.П. Липов. Приоритет изобретения 28 декабря 2006 г . Бюл. № 8 от 20.03.2009.
3. Патент РФ №2150874 на изобретение кл. А42В3/12 «Подшлемник защитного шлема» Патентообладатель НИИ Информатики и систем управления МГТУ им. Н.Э. Баумана, автор Маслов В.С. и др., Приоритет изобретения 05 апреля 1999г. Бюл. от 20.06.2000 г.
4. И.Ф. Образцов, И.С. Адамович, А.С. Барер Проблемы прочности в биомеханике. М.: 1988. 311 с.
5. ГОСТ 21889-76 Система «Человек-машина» Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
6. Авиационные правила. Часть 29 Авиарегистр Международного Авиационного Комитета Издание ОАО «Авиаиздат», 2003
7. Г.И. Северин, Б.А. Рабинович Проектирование амортизационного кресла пилота ЛА. Учебное пособие - М. МАИ 1987
8. Б.А. Рабинович Безопасность человека при ускорениях. (Биомеханический анализ). М. 2007