

**СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО К ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ ЛЕТЧИКА
МНОГОФАКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ
ПРОТИВОПЕРЕГРУЗОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ**

д.т.н., проф. А.Г. Гузий
(ВВИА им. Н.Е. Жуковского, ООО «Волга-Днепр-Москва»)

По совокупности идентифицированных и систематизированных факторов, снижающих переносимость пилотажных перегрузок, обосновано формирование закона управления противоперегрузочным устройством пневматического типа, как многомерной функции аргументов: величина пилотажной перегрузки, действующей в направлении «голова-таз», скорость ее нарастания, продолжительность воздействия, величина положительной боковой составляющей перегрузки, степень адекватности реакции организма летчика на действие перегрузки, запас текущих резервных возможностей летчика по переносимости пилотажных перегрузок.

Согласно концепции активного предотвращения авиационных происшествий (АП), безопасность полетов достигается путем заблаговременного снижения уровня риска АП до уровня, определяемого как допустимый. Допустимый уровень представляет собой оптимальный баланс между безопасностью и требованиями, которым должен удовлетворять процесс применения авиации согласно предназначению, включая боевую или экономическую эффективность. Достижение уровня риска, соответствующего допустимому, - интерактивный процесс идентификации, количественного оценивания факторов риска АП и их совокупностей, синтеза, оптимизации и реализации управленческих (корректирующих) воздействий (мероприятий) [1]. При выборе направления активного поиска аварийных факторов приоритетными являются те компоненты авиационно-транспортной системы, которые в наибольшей степени подвержены влиянию неблагоприятных факторов полета. Беспристрастная статистика аварийности в авиации свидетельствует, что 60-80% АП связаны с человеческим фактором [2, 3]. С развитием авиации совершенствуются тактико-технические характеристики авиационной техники, в том числе боевой, и человек становится все более уязвимым звеном в системе «Экипаж-самолет-среда».

В полете на современном боевом высокоманевренном самолете летчик подвергается воздействию множества неблагоприятных факторов. Особое место среди них занимают пилотажные перегрузки, вызывающие изменения в функциональном состоянии (ФС) летчика: от незначительных нарушений функций аппарата зрения до потери сознания. Поэтому пилотажные перегрузки, возникающие при маневрировании высокоскоростных самолетов, относят к наиболее серьезным экстремальным факторам, существенно влияющим на безопасность полетов [4]. Чаще имеют место положительные продольные перегрузки (n_y), действующие на летчика в направлении голова – таз. Они достигают наибольших значений, а переносятся значительно хуже, чем перегрузки, действующие в направлении грудь – спина. По данным анонимных опросов от 12% до 30% летчиков истребительной авиации теряли сознание в полете [4, 5]. Кроме того, есть утверждение, что более 50% потерявших сознание летчиков не помнят этого факта по причине амнезии [6].

Повышение устойчивости летчика к перегрузкам достигается, прежде всего, техническими средствами [7, 8], поскольку фармакологические методы находятся в стадии теоретического и экспериментального изучения [9, 10]. Наиболее широкое практическое применение нашли противоперегрузочные костюмы (ППК). Все их варианты имеют общий принцип действия - создание противодействия на участки нижней

половины тела летчика, причем с увеличением перегрузки, начиная с $n_y=2$ ед., давление в камерах натяжного устройства ППК ($P_{\text{ППК}}$) повышается, как правило, по линейному закону ($dP_{\text{ППК}}/dn_y=\text{const}$), достигая максимального значения. В целях безопасности полетов накладывается ограничение максимально допустимой перегрузки, что равносильно ограничению маневренных характеристик самолета. Как и все системы обеспечения жизнедеятельности экипажей летательных аппаратов, противоперегрузочные устройства (ППУ) рассчитываются на среднестатистического летчика, которого не существует. В результате для летчиков с повышенной переносимостью пилотажных перегрузок имеет место искусственное (не всегда оправданное) занижение маневренных возможностей самолета, а для летчиков с пониженной переносимостью перегрузок - угроза безопасности полетов.

Проблема безопасности полетов особенно обострилась с появлением высокоманевренных самолетов, в которых на организм летчика могут воздействовать пилотажные перегрузки, большие как по величине (более 9 ед.), так по длительности действия (20 - 30 с) и по скорости нарастания (до 5 - 7 ед./с) [7, 11].

Перегрузки с большой скоростью нарастания представляют особую опасность, поскольку естественные защитные функции организма не успевают отреагировать на их воздействие и потеря сознания может наступать неожиданно, без таких предупредительных симптомов, как нарушение функций аппарата зрения [12]. Следовательно, алгоритм управления противоперегрузочным устройством должен формироваться не только по параметру действующей на летчика перегрузки (n_y), но и по параметру скорости ее нарастания (\dot{n}_y), тем более, что ППУ пневматического типа обладают инерционностью, а управление по \dot{n}_y позволяет ввести элемент форсирования в процесс наддува натяжного устройства ППК [13]. Упреждающий наддув натяжного устройства ППК при воздействии быстро нарастающих перегрузок является сигналом летчику на выполнение защитных противоперегрузочных приемов. Для сокращения времени наддува натяжного устройства ППК на высокоманевренных самолетах целесообразно ввести предварительное создание начального обжатия ($P_{\text{ППК0}}$) непосредственно перед воздействием перегрузок.

При воздействии длительных перегрузок высокой интенсивности по мере накопления усталости летчик в значительной степени теряет способность переносить пилотажные перегрузки [10, 11]. Следовательно, алгоритм управления ППУ должен дополнительно содержать интегральную составляющую для компенсации снижения переносимости перегрузок при их длительном воздействии или частом повторении. Интегральная составляющая должна отражать как степень превышения действующей перегрузкой уровня $n_y = 2$ ед., так и продолжительность этого превышения ($t_{m>2}$) [14]. Более того, после снижения действующей перегрузки ниже уровня $n_y = 2$ ед. эта составляющая должна снижаться не сразу, а по мере восстановления организма летчика. Очевидно, что интенсивность восстановления резервных возможностей летчика зависит от продолжительности паузы в действии перегрузки, поэтому интегральная составляющая должна уменьшаться с течением времени по экспоненте.

Влияние перегрузок на человека в лабораторных условиях изучено достаточно глубоко, однако, данные о переносимости перегрузок в реальных маневренных полетах оказываются значительно ниже ожидаемых. Это объясняется тем, что на современных самолетах летчик подвергается комбинированному воздействию длительных и многократно повторяющихся линейных перегрузок по всем трем осям. Установлено, что комбинированное воздействие боковых перегрузок n_z на фоне продольных n_y приводит к существенному ухудшению гемодинамической устойчивости летчика, особенно при наличии положительной боковой перегрузки [15]. В целях более полного учета неблагоприятного влияния перегрузок на ФС летчика при комбинированном их

воздействии целесообразно в закон управления противоперегрузочным устройством ввести параметр боковой положительной перегрузки n_z .

Учесть все неблагоприятные факторы, влияющие на переносимость пилотажных перегрузок летчиком, – задача довольно сложная, а в полном объеме даже неразрешимая, тем более, что переносимость зависит не только от внешних, но, в значительной степени, от внутренних факторов: индивидуальных особенностей организма летчика, его телосложения, текущего психофизиологического состояния, умения выполнять мышечные и дыхательные защитные противоперегрузочные приемы, натренированности, продолжительности перерывов в летной работе и др. [15, 16]. Учет текущей индивидуальной переносимости перегрузки летчиком или степени неадекватности реакции его организма на воздействие перегрузки возможен через текущие значения физиологических параметров, характеризующих функциональное состояние летчика в полете. Известно, что реакция организма летчика на воздействие перегрузки характеризуется повышением частоты пульса, величины артериального давления [15, 17]. Замечено, что при адекватной реакции сердечно-сосудистой системы летчика частота пульса (f_n) находится в линейной зависимости от величины действующей перегрузки n_y [15]. Уменьшение наклона характеристики $f_n = f(n_y)$ ниже нормы, когда $df_n / dn_y < (df_n / dn_y)_H$, свидетельствует о неадекватности реакции организма на воздействие перегрузки, т.е. о недостаточном развитии естественных защитных функций. Поэтому степень снижения наклона текущей характеристики $f_n = f(n_y)$ может быть использована в качестве параметра, корректирующего закон управления ППУ. Таким образом, заниженный наклон характеристики $f_n = f(n_y)$ целесообразно компенсировать соответствующим увеличением наклона характеристики $P_{ППК} = f(n_y)$ [18].

При оценке текущих резервных возможностей организма под действием пилотажных перегрузок одним из наиболее информативных физиологических параметров является эффективное систолическое артериальное давление на уровне глаз, однако, измерение этого параметра в полете связано с техническими сложностями. В качестве адекватного параметра предлагается использовать продолжительность (I) задержки пульса во фронтальной ветви поверхностной височной артерии относительно R–зубца сердечной деятельности по ЭКГ [19].

Экспериментально доказана эффективность использования импульсного наддува натяжного устройства ППК синхронно с сердечной деятельностью, т.е. с частотой пульса f_n [20]. После каждого импульса происходит сброс давления, благодаря чему обеспечивается возможность более активного кровообращения в нижних конечностях летчика, а переносимость перегрузок повышается. Если амплитуду импульсного наддува поставить в зависимость от продолжительности задержки пульса во фронтальной ветви поверхностной височной артерии, то среднее значение давления в натяжном устройстве ППК становится зависимым от запаса резервных возможностей организма летчика. При этом импульсный режим работы ППУ может быть реализован доработанным автоматом давления, включающим форсированный наддув камер ППК по сигналу R–зубца сердечной деятельности на время I, т.е. - до момента поступления сигнала пульсовой волны от фронтальной ветви поверхностной височной артерии. Этим же сигналом одновременно открывается клапан сброса давления [18]. Для практической реализации описанного способа коррекции ФС летчика в маневренном полете требуется значительное снижение инерционности ППУ, поскольку с увеличением частоты пульса постоянная времени запаздывания ППУ становится соизмеримой с требуемой длительностью импульса наддува натяжного устройства ППК.

Таким образом, закон управления пневматическим ППУ с коррекцией по ФС летчика в общем виде можно выразить зависимостью [8]:

$$P_{ППК} = P_{ППК0} + f(n_y, \dot{n}_y, n_z, t_{ny>2}, df_n / dn_y, f_n, I).$$

Техническая реализация такого закона управления требует использования датчиков физиологических параметров, специализированного вычислителя и электромеханического автомата давления с каналом форсированного наддува натяжного устройства ППК, не исключая традиционную механическую схему ППУ. Практическое использование такого ППУ на современных и перспективных высокоманевренных самолетах позволит расширить диапазон разрешенных пилотажных перегрузок без снижения уровня безопасности полетов. Коррекция давления в натяжном устройстве ППК в сторону увеличения при комбинированном действии неблагоприятных факторов полета и при пониженных резервных возможностях организма летчика не только повышает переносимость пилотажных перегрузок за счет своевременного создания соответствующего избыточного давления в камерах ППК, но еще должна способствовать своевременному и правильному выполнению летчиком защитных противоперегрузочных приемов и одновременно сигнализировать по тактильному каналу о приближении текущей (или предстоящей) пилотажной перегрузки к пределу индивидуальной переносимости, предупреждая тем самым потерю сознания.

Таким образом, углубленный анализ влияния на ФС летчика наиболее неблагоприятного фактора полета – пилотажной перегрузки «голова-таз» и обеспечение аппаратной оценки текущего ФС летчика в полете позволяют, учитывая индивидуальную переносимость перегрузок летчиком, минимизировать риск потери сознания с одновременным расширением области ограничения допустимых перегрузок, а, следовательно, маневренных характеристик самолета, в пределах допускаемого риска АП.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 06-08-01518-а.

Литература

1. *Гузий А.Г., Онуфриенко В.В.* Методология предотвращения авиационных происшествий через активное управление уровнем безопасности предстоящих полетов.// Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Научный информационный сб. ВИНТИ. 2006, № 3. С. 52 - 60.
2. *Пономаренко В.А., Лапа В.В., Чунтул А.В.* Деятельность летных экипажей и безопасность полетов. – М.: Полиграф, 2003.
3. *Козлов В.В.* Человеческий фактор: история, теория и практика в авиации. – М.: Полиграф, 2002.
4. *Васильев П.В., Глод Г.Д.* Перегрузки интенсивного маневрирования.// Функциональное состояние летчика в экстремальных условиях./ Под ред. В.А. Пономаренко, П.В. Васильева. – М.: Полет, 1994.
5. *Priorb A.R.J.* Positive pressure breathing for G-protection (PBG).// AGARD – LS – 202, 1995.
6. *Васильев М.А.* Технические аспекты борьбы с воздействием на экипаж перегрузок.// Проблемы безопасности полетов, 1989, № 1.
7. *Малащук Л.С., Шарипова Л.М.* Особенности воздействия на организм летчика больших по величине пилотажных перегрузок и методы повышения устойчивости к ним. /Труды Международной Академии Проблем Человека в авиации и космонавтике.// Вестник, 2002, № 1 (8). С. 40 - 44.
8. *Гузий А.Г.* Проблема переносимости пилотажных перегрузок и пути развития пневматических противоперегрузочных устройств.// Там же. С.77 - 80.
9. Руководство по фармакологической коррекции безопасности и трудоспособности личного состава Вооруженных Сил СССР. - М.: Воениздат, 1989.

10. *Авиационная медицина.* / Под ред. Н.М. Рудного, П.В. Васильева, С.А. Гозулова . – М.: Медицина, 1986.
11. *Хоменко М.Н.* Пилотажные перегрузки. / Психофизиологическая надежность летчика. Научно-тематич. сб. / Под ред. Г.П. Ступакова. – М.: Воениздат, 1993.
12. *Ступаков Г.П., Меденков А.А., Хоменко М.Н.* Пилотажные и ударные перегрузки в авиации. // Проблемы безопасности полетов, 1994, № 4.
13. *Гузий А.Г., Коротков С.М., Болохов А.Н., Васильев С.В.* Патент № 2046064. Противоперегрузочное устройство для члена экипажа летательного аппарата.– Ставропольское ВАИУ ПВО, 1995.
14. *Гузий А.Г., Согнибеда Д.А.* Алгоритмическое обеспечение адаптивного противоперегрузочного устройства. / Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышения эффективности их эксплуатации и ремонта. Тематич. научный сб. № 4. – Ставрополь: СВАИУ ПВО, 1995.
15. *Малинин И.Д., Плахотнюк Л.С.* Некоторые патофизиологические аспекты безопасности полетов при воздействии перегрузок боевого маневрирования. Гемодинамическая усталость. // Проблемы безопасности полетов, 1984, № 8.
16. *Хоменко М.Н., Ходяков Е.В.* Специальная подготовка летчиков в целях повышения устойчивости к большим пилотажным перегрузкам. / Психофизиологическая надежность летчика. Научно-тематич. сб. / Под ред. Г.П. Ступакова. – М.: Воениздат, 1993.
17. *Малинин И.Д., Пономаренко В.А.* Проблемы человеческого фактора и обеспечение полетов за рубежом. // Проблемы безопасности полетов, 1988, № 7.
18. *Гузий А.Г.* Алгоритмическое обеспечение оценки и коррекции функционального состояния летчика в системе жизнедеятельности экипажа. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. технич. наук. – Даугавпилс: ДВВАИУ, 1991.
19. *Васильев М.А.* Контроль состояния летчика при воздействии на него перегрузок. // Проблемы безопасности полетов, 1988, № 12.
20. *Джейрон Д.* и др. Реакция сердечно-сосудистой системы на действие перегрузок: Машинное моделирование. / Труды института инж. по электронике и электротехнике (ТИИЭР), Т.76, № 6, 1988.