

Еволюцията на вътрешните обратни връзки в биомеханичната система „пилот—самолет“

Димитър Йорданов

Институт за космически изследвания, БАН

Същност и роля на вътрешните обратни връзки
в контура за управление на самолета

Основата, върху която функционира системата „пилот—самолет“, е затвореният контур за управление. В него протичат процесите на адаптация на пилота към променящите се свойства на самолета в скоростно-височинния му диапазон.

Вложената психофизиологична енергия от летеца при работа на борда на самолета се разпределя главно за две функции: за непосредствено управление на обекта (поддържане и изменение на режима на полета) и за друга дейност по конкретната задача на полета (например наблюдение, откриване на ориентири, взаимодействие с група летящи обекти и наземни пунктове за управление, бойно използване). При добри динамични свойства на самолета и съответна подготовка пилотът има възможност да сведе разпределението на енергията между управление и целево използване до съотношение 1:4 в полза на последното. Добре адаптираният се летец към свойствата на самолета го управлява с автоматизирани движения. Установено е, че в сигнала от летеца винаги присъстват малки, непрекъснати движения на командния лост с честота около 1 Hz и амплитуда, предизвикваща ответна реакция на самолета около индивидуалния праг на чувствителност на всеки пилот. Това е тест, с който летецът, образно казано, „опипва“ обекта за управление и получава ценна информация за собствената си адаптация към променящите се свойства на апарата, неговата изправност и отсъствие на аномалии. Тези движения са особено характерни при кацане [4].

Изучаването на механизмите на адаптация и възможностите на пилота да осигури устойчив режим на управление в нормални и аварийни обстоятелства е постоянна задача на изследователите. Главният резултат от тази дейност е преразпределение на функциите между човека и системата за управление при гарантирана ефективност и безопасност на полетите и приемлива стойност на промените и въвеждането на нови технологии. Тази дейност се извършва главно на тренажори [1, 3, 4, 7]. През последното десетилетие, поради развитието на изчислителната техника, се забелязва тенденция за опростяване на моторната компонента в дейността на пилота по управлението на самолета (движения с командните лостове за запазване или изменение на режима на полета). На развитието на тези проблеми в контура за управление е посветен настоящият обзор.

Процесите на адаптация протичат както на входа на пилота, така и на изхода от него. От съвършенството на информационното осигуряване на реалния или на визуализирания модел на полета зависи главно закъснението при приемане на информацията, нейните параметри на дискретизация и формирането на екстраполационния механизъм, който позволява на пилота правилно да разпределя вниманието си в кабината и на пространството извън нея. В другата точка — на изхода от пилота се формират адаптационни механизми, които осигуряват устойчивост на контура за управление и играят главна роля за самочувствието му като командно звено в контура за управление. С особен приоритет за летеца са усещанията за прилагани усилия и преместване на лоста за управление и резултата от тези въздействия. Усилията и преместванията на командните лостове се разглеждат като случайни величини, а при моделиране на контура се представят от коефициента на усилване в предавателната функция на пилота с установен от изследователски задачи закон на разпределение. В системата за управление преместванията и усилията на командните лостове се разглеждат като детерминирани величини (характеристики на статична управляемост) и са нормативно регламентирани. Процесът на адаптация по характеристики на управляемост може да се смята в най-простия случай за завършен, когато случайните величини на коефициента на усилване на пилота са групирани около статичната характеристика на управляемост и разсейването му е в границите на допустимите изменения.

За да може да настрои своя коефициент на усилване към статичните характеристики на управляемост, у пилота в процеса на управление се формират вътрешни обратни връзки — от чувствителните органи (на ръката, например) до централната нервна система. В съвременните системи за управление с хидроусилватели тези усещания за т.нар. „коравина“ на органите за управление се формират изкуствено чрез натовазващи механизми най-често с пружини, работещи на натиск. Тези механизми имитират усилие при преместване на лостовете дори при нулева скорост. За характеризиране на това свойство се използва понятието „приведена коравина на натовазващия механизъм към ръкохватката на пилота“. При леки дозвукови самолети с управление без хидроусилватели необходимото усилие за преместване на командните лостове в кабината се получава естествено от шарнирния момент на органите за управление и се усеща от пилота само след като самолетът набере определена скорост. С увеличаване

на скоростта необходимото усилие от летеца за едно и също отклонение на кормилата нараства.

В резултат на прилагане на сила на изхода от лоста за управление се получава преместване, което системата за управление превръща в отклонение на кормилото. Тази преобразуваща функция на системата за управление се характеризира от предавателното ѝ число. При изкуствено формирано усилие в системата за управление предавателните числа и коравината на натоварващите механизми в различните канали за управление трябва да са функции на режима на полета и практическата реализация на тези зависимости е една от най-важните задачи на синтеза на системите за управление — от нея зависи устойчивостта на затворения контур за управление с пилот като командно звено. Усещането за изменения в податливостта на командните органи за управление активира у пилота вътрешната обратна връзка по усилие, която му спомага да се адаптира към свойствата на самолета и да го управлява адекватно на неговата реакция.

Ролята на вътрешните обратни връзки в пилота и механизмите, които ги активират от системата за управление, най-добре се илюстрира от изследване на контура за определяне границата на устойчивост при постоянни значения на предавателните числа и коравината на натоварващите механизми. С помощта на удобен аналитичен метод [2] може да бъде получен пределният от условията на устойчивост коефициент на усилване на летеца — това е усилието за движение на командните органи, което предизвиква напълно определени изменения на параметрите на полета (например, претоварване), но контурът за управление при тези усилия е на границата на устойчивост, а това се изразява в невъзможност да се стабилизира самолета. При по-големи усилия от летеца амплитудата на колебанията на параметрите нараства. По резултати от проведено изследване на контура за управление за маневрен самолет могат да се получат необходимите изводи за потребните изменения в системата за непряко управление, за да се осигури устойчивост на затворения контур.

Общите изводи от моделирането и аналитичното изследване се свеждат до следното:

1. При постоянни значения на коравината на натоварващия механизъм и предавателното число от командния лост до кормилото с увеличаване на скоростта на полета се намалява пределният коефициент на усилване на пилота. Той пресича на дозвукови скорости зоната на нормативния (работния) диапазон по усилия, който е формиран от системата за управление.

2. За да запази устойчивостта на контура за управление пилотът трябва непрекъснато с увеличаване на скоростта да прилага все по-малки усилия и да отклонява по-малко кормилата, което не може да бъде дозирано правилно, ако необходимите усилия са под някакъв психофизиологичен праг, индивидуален за всеки пилот. Трудността идва и от обстоятелството, че самолетът става много чувствителен в нормативния диапазон по усилия, който е съобразен с реалните възможности на човека и е характерен с най-голяма точност на движенията. При такова съвпадение на пределния коефициент на усилване и нормативните характеристики на статична управляемост се получават явления, които в авиационната практика се

наричат „преуправляемост“ („разкачка“, „overkontrol“). Подобни режими са регистрирани в началния етап на приложение на хидроусилватели, когато имитацията на усилия в контура за управление е била недостатъчно прецизна. Среца се и при откази на системата за имитация на усилия върху командните лостове. Незатихващите колебания се прекратяват при пускане на лоста за управление, т.е. след прекъсване на затворения контур на управление.

3. Ако системата за управление не активира полезна вътрешна двигателна обратна връзка, пилотът достига т.нар. „предел на управляемост“, поради изчерпване на адаптивните си способности. Необходимо е с увеличаване на скоростта, както при механичното управление, „коравината на управлението“ да нараства. Ако това е осигурено от специални автомати, летецът чрез лоста за управление усеща промяната на режима на полета, а пределният коефициент на усилване е разположен извън диапазона на статичните характеристики на управляемост. Благодарение на големия резерв по коефициент на усилване колебателната неустойчивост е изключена при нормални функции на летеца.

Същественото предимство на тази двигателна (кинестетична) информация е, че тя е защитена от смущения и заедно с останалите усещания (вибрации, шум, посока на претоварването) спомага на летеца да управлява с автоматизирани движения. На някои режими (големи ъгли на атака) даже умишлено се създава полезно тресене на лоста за управление като предупреждение за доближаване на пределен режим. Игнорирането на този вид информация, което се получава реално при някои опростени тренажори, е основната причина за чувството на летеца, че тренажорът не е самолет. При такива симулатори се ограничава процесът на изграждане на верен концептуален модел на полета само чрез тренировки на земята в моделирани условия.

Ситуацията започна да се променя през 70-те години, когато внедряването на бордови изчислителни комплекси и електродистанционни системи за управление стана масово явление.

Тенденции в ролята на вътрешните двигателни обратни връзки

След 70-те години започна тенденция за опростяване на натоварващите механизми и централния лост за управление. Появиха се странични ръчки с много малък ход, върху ръкохватките на които се разполагат множество бутони за въвеждане на команди на летеца и превключване на различни режими от системата за управление. С такива ръчки обикновено се използват пружинно-натоварващи механизми, които не променят коравината си по режима на полета. Задачата за устойчивост на контура за управление в такъв случай се решава от бордовата ЕИМ. Пилотът и неговите команди се контролират и доработват непрекъснато. Съществуват експериментални странични лостове за управление, при които балансирувълното положение не се променя с изменение на центровката и скоростта на самолета, а се променя само положението на кормилото, което е грижа на електродистанционната система за управление (ЕДСУ) и ЕИМ. Летците на самолети с подобни системи за управление могат да усетят, че в управлението „някой непрекъснато се намесва и коригира командите“, защото се променя

съществено установилата се практика на ръчно пилотиране. Тази тенденция не среща подкрепа от повечето пилоти и затова в по-нататъшното развитие на системите с ЕДСУ в паметта на ЕИМ се залага зависимост между балансиращото положение на лоста и скоростта на полета. Споменатото опростяване на ролята на вътрешните обратни връзки по усилие на съвременните самолети се придружава и от нова дисплейна технология за изобразяване на положението на самолета в пространството. На централния дисплей чрез компютърна визуализация се представя модел на полета, създаден по принципа „гледане на самолета от наблюдател“ — на фона на изображение на земната повърхност. Тази информация е особено полезна за военните пилоти, които изпълняват разузнаване, поддържане на сухопътните войски от въздуха и унищожават цели върху земната повърхност. Тя подпомага пилота при пълно отсъствие на видимост, когато, например, преднамерено се затваря със специални щори остъкленото на кабината при използване на ядрено оръжие (Б-52) и при кацане в сложни условия. Този сравнително нов информационен елемент в пилотирането по прибори е опит да се реши почти полувековния спор за формиране на адекватен образ на полета чрез приборната информация. Психологическото предимство на изображението от типа „гледане на самолета от наблюдател“ е доказано в експерименти и се обяснява плавно от обстоятелството, че при отсъствие на естествен хоризонт център за ориентация в пространството става самолетът. Модерните технологии променят характера на работа на пилота — завишават се изискванията за операторски умения и това оправдава двучленния екипаж при маневрените военни самолети. Новите технологии са в състояние да осигурят управлението и на маневрен безпилотен самолет при изпълнение на реална задача по бойно използване (например, проект Х-36 на Боинг). С роботизацията на бойните самолети се цели да се запази най-трудно възпроизводимото във военната авиация — човекът и натрупания от него опит.

Изводи

Основният и най-важен извод от споменатите тенденции в управлението на съвременните самолети е, че пилотът все повече се намира в моделиран контур за управление — най-подходящ от психофизиологична гледна точка. Свойствата на самолета, променящи се в широк диапазон, чрез системата за управление (ЕДСУ и ЕИМ) се свеждат до най-удобния за пилота динамичен модел.

Опитът от авиацията и особено от космонавтиката определя в бъдеще все по-значителна роля на моделираните условия на полета при формиране на пилота. Съотношението между времето за работа на тренажор и реален полет зависи от етапа на подготовка и от характера на полетните задания. При изпитателни полети на въздушнокосмически апарати това съотношение може да бъде 30:1 в полза на тренажорите. Себестойността на един час „полет“ на тренажор е от 10 до 100 пъти по-ниска от същото време при реален полет като ефективността на обучението е практически една и съща. По мнението на специалисти по инженерна психология [7] времето за подготовка на летци чрез тренажор се намалява три пъти, а това време при традиционни методи на подготовка е 25% от общия летателен стаж.

Ролята на пилота като основно звено в контура за управление вероятно ще се запази за транспортните самолети, малката авиация и ще се променя за тактическата авиация в посока — увеличаване на операторските функции.

В бъдеще ще се стеснява полето за адаптация на пилота към свойствата на самолета. Тези функции ще поеме системата за управление. Практически безпроблемната еволюция от централен щурвал към странична ръчка за управление разкрива възможности за използване на много от съществуващите идеи в компютърните игри за създаване на специализирани опростени тренажори. Общата психологична структура на летателната дейност е заложена като основа в създаването на такива компютърни модели на полета, а това е най-важното изискване за съответствие между биомеханичните системи „пилот—самолет“ и „пилот—тренажор“.

Литература

1. Авиационно. Експрес-информация. — ВИНТИ, Москва, 1984, № 47, с. 18; 1985, № 36, с. 25; № 47, с. 38.
2. Йорданов, Д. В. Летателни апарати — системи за управление. С., Изд. Мадара-Принт, 1999.
3. Береговой, Г. Т., А. А. Тищенко, Г. П. Шибанов, В. И. Ярополов. Безопасность космических полетов. М., Машиностроение, 1977, 97—106, 219—231.
4. Бюнгенс, Г. С., Р. В. Студнев. Динамика продольного и бокового движения. М., Машиностроение, 1979, 106—107.
5. Делчев, О. Пилотите днес — продукт на една нова философия. — Авиофорум, 1993, бр. 5, издание на авиокомпания „Балкан“.
6. Делчев, О. Компютрите не са емоционални. — Авиофорум, 1991, бр. 6, издание на авиокомпания „Балкан“.
7. Денисов, В. Г., В. Ф. Онищенко. Инженерная психология в авиации и космонавтике. М., Машиностроение, 1972, 59—74, 125—133.
8. Aviation magazin international, 1987, No 941. Cockpits nouveaux.

Постъпила на 7.IV.1997г.

Evolution of internal feedbacks

Dimitar Jordanov

(Summary)

In the review, the engineering-psychological aspects of airplane control circuits are considered. The fundamental role of the kinesthetic (motor) internal feedbacks is discussed based on the results from a stability study of a modelled control circuit. The tendencies for modification of the control lever in the cabin, and simplification of the motor component of the pilot's action are shown.