

ПРЕИМУЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ ПОЛЁТОМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКИПАЖЕЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Шевченко А.М., Павлов Б.В., Начинкина Г.Н.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
anshev2@ipu.ru

Аннотация: Предлагается энергетический метод прогнозирования движения воздушного судна. Найдены алгоритмы расчета необходимой длины разбега воздушного судна для разгона до минимальной скорости устойчивого полета и набора высоты для пролета над высотным препятствием. Статистическое моделирование взлета пассажирского самолета в различных вариантах загрузки и центровки показало эффективность опережающего оповещения экипажа о возможности взлета.

Ключевые слова: Управление полетом, прогнозирование, энергетический подход.

Введение

Устойчивой тенденцией последних лет в организации пассажирских и транспортных перевозок стало уплотнение трафика и расширение допустимых погодных условий эксплуатации воздушных судов. В этой связи вопросы безопасности эксплуатации авиационной техники становятся все более острыми.

Из анализа отечественных [1-3] и зарубежных [4,5] исследований статистик авиационных происшествий за последнее десятилетие следует, что на наземные этапы взлета и посадки, как и во все предыдущие годы, приходится более половины всех аварий.

Поскольку управление полетом на этих этапах осуществляется под контролем или при непосредственном участии пилота, то становится очевидной высокая роль «человеческого фактора» в вопросах безопасности авиационных перевозок.

Вероятность неправильных или ошибочных действий пилота возрастает при нештатных ситуациях и при неполной информированности. В нашей работе предлагается методика оценивания текущего и прогнозирования будущего состояния ВС и оповещения пилота о характерных событиях на траектории взлета. Методологической основой разработок является энергетический подход к управлению полетом летательных аппаратов [6,7].

Полученные результаты имеют достаточно универсальный характер, они подтверждены большим объемом экспериментальных исследований

1 Краткое изложение энергетического подхода

С позиций энергетического подхода движение ЛА рассматривается в терминах его полной энергии и её составляющих – потенциальной и кинетической.

В самой общей форме динамика систем управления описывается уравнением вида: $\dot{X} = AX + BU$.

В традиционных системах управления с обратной связью управление U формируется на базе отклонений ΔX некоторого подмножества вектора переменных состояния X . $U = U(X, \Delta X)$.

Функционал качества также выбирается в классе $Q_x = Q_x(U, X, \Delta X)$.

Предложена концепция управления, в которой управляемой величиной является полная энергия движения $E = mgh + mV^2/2$. И тогда управление формируется как $U = U(E, \Delta E)$, а функционал качества задается в форме $Q_E = Q_E(U, E, \Delta E)$.

В результате совместного решения динамических уравнений переносного движения в возмущенной атмосфере и уравнения полной энергии объекта для режимов движения на воздушных участках траектории полета в было получено уравнение баланса энергий

$$\Delta H_E = \Delta H_E^{лв} + \Delta H_E^D + \Delta H_E^w.$$

Однако, на режимах движения по ВПП возникают силы сопротивления со стороны опор шасси. Поэтому уравнение баланса энергий было обобщено на наземные режимы путем добавления члена

$\Delta H_E^{торм} = \int_{t_1}^{t_2} V \mu dt$, отражающего процесс поглощения энергии на преодоление механических сил

торможения [8] $\Delta H_E = \Delta H_E^{лв} + \Delta H_E^D + \Delta H_E^{торм} + \Delta H_E^w$. где μ - обобщенный нормированный коэффициент торможения

Полученное расширенное уравнение баланса энергий даёт возможность формулировать очевидные терминальные задачи при ограничениях на совокупность координат в терминах обобщенной характеристики движения - полной энергии объекта.

2 Метод прогнозирования безопасного пролета над препятствием

Схематично траектория и ограничения на взлете показаны на рис.1.

В момент пролета над препятствием самолет должен иметь скорость не ниже минимальной скорости устойчивого горизонтального полета V_2 , известной для каждого типа самолетов. Таким образом, полная энергия движения в момент преодоления препятствия $E_{H_{преп}}$ должна содержать необходимый минимум кинетической составляющей и запас потенциальной составляющей, которая и определяют достижимую высоту $H_{преп}$ пролета над препятствием:

$$E_{H_{преп}} = m \frac{V_2^2}{2} + mgH_{преп} \quad (1)$$

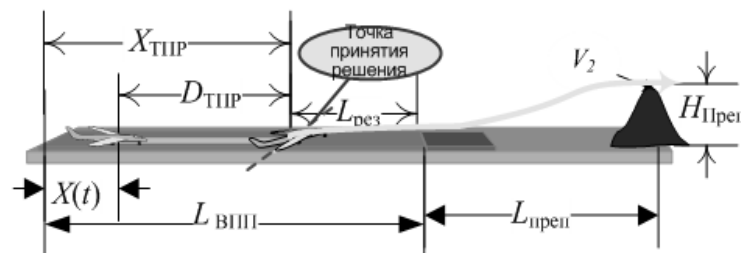


Рис. 1 Координаты характерных точек на взлете

Величина полной накопленной энергии складывается из текущих кинетической и потенциальной составляющих и работы всех внешних сил F_i на траектории маневра. Траектория подлета к препятствию включает наземный и воздушный участки, общей длиной S . Тогда спрогнозированная накопленная энергия на пути:

$$E(t)_{прог} = m \frac{V(t)^2}{2} + mgh(t) + S \sum_i F_i(t), \quad (2)$$

Выражая сумму всех внешних сил через измеряемую перегрузку $\sum_i F_i = ma(t) = mgn_x(t)$ и приравнявая выражения для необходимой (1) и прогнозной (2) энергий, можно найти длину впередилежащего участка траектории, необходимого для накопления недостающей полной энергии:

$$D_{ТПР}(t) = \left(g (H_{преп} - h(t)) + 0.5 (V_2^2 - V(t)^2) \right) / gn_x(t) - L_{преп}$$

Заметим, что это выражение инвариантно относительно массы. В точке траектории, где прогнозируемая длина этого участка обнуляется, прогнозная величина энергии будет достаточной для пролета над препятствием с требуемой скоростью. Эта точка названа точкой принятия решения (ТПР) о безопасном взлете: $X_{ТПР} = x(t) \Big|_{D=0}$. Координата этой точки вычисляется просто:

$$X_{ТПР}(t) = X(t) + D_{ТПР}(t)$$

В отличие от методики взлета, предписываемой руководствами по летной эксплуатации, метод прогнозирования полной энергии указывает на возможность взлета не в момент достижения скорости принятия решения, а намного раньше и в координатах дальности, привязанных к взлетной полосе.

Для повышения ситуативной осведомленности весьма полезным считается знание запаса, или резерва, дальности до обреза взлетной полосы в точке принятия решения. Величина резерва также прогнозируется в процессе разбега:

$$L_{рез}(t) = L_{вспл} - X(t) - D_{ТПР}(t)$$

Метод прогнозирования на основе энергетического подхода позволил получить прогнозную оценку еще одной характерной точки на траектории разбега. В нештатных ситуациях пилот должен оценивать не только возможность продолжения взлета, но и положение самолета на полосе, в котором можно начинать подъем передней стойки. Длина дистанции от текущего положения самолета до достижения скорости подъема вычисляется по формуле:

$$D_v(t) = (V_2^2 - V^2(t)) / 2gn(t)$$

Объективная оценка этой дальности, в отличие от интуитивной, улучшает ситуативную осведомленность пилота и снижает предпосылки для ошибочных действий.

Отличительной особенностью энергетического метода прогнозирования является то, что в текущем прогнозе учитывается полная энергия, приобретаемая самолетом на воздушном сегменте за пределами наземного участка. Соотношение энергий на наземном и воздушном сегментах представлено на рис.2.

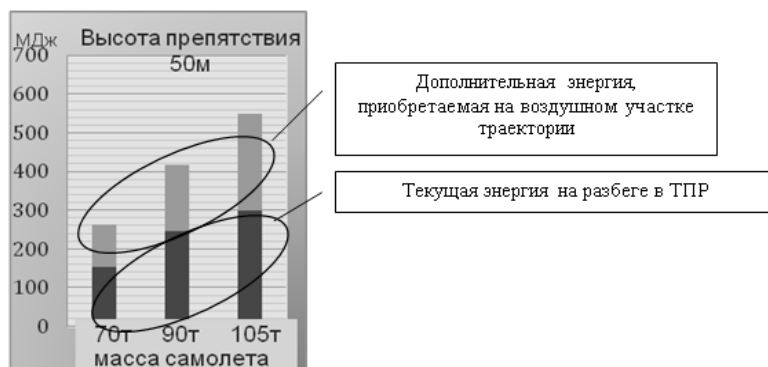


Рис. 2 Доли энергии на наземном и воздушном участках

В следующей таблице 1. приведены координаты точек принятия решения, рассчитанные по прогнозу $X_{VI_прогн}$ и координаты точек, в которых фактически достигается скорость принятия решения $X_{VI_факт}$ для самолета с взлетной массой 70 т, 90 т и 105 т.

Таблица 1. Сравнение прогнозных и реальных координат

Масса, т	V1, км/ч	$X_{VI_факт}$, м	$X_{VI_прогн}$, м	Опереж., м	V_T , км/ч	X_{VT} , м
70	204	515	153	362	210	547
90	220	764	508	256	228	825
105	238	1095	837	258	245	1203

Динамический расчет текущей энергии и сопоставление её с требуемой терминальной позволяет спрогнозировать возможность принятия решения о достижимости конечного состояния с опережением относительно скорости принятия решения, предписываемой руководствами по летной эксплуатации.

Литература

1. Глубокая М.Г. Бортовая система поддержки принятия решений на этапе взлёта пассажирского самолёта. // Техника воздушного флота, т. LXXXII, №1 (690), 2008 – С. 21–30.
2. Никифоров С.П. Бортовая система контроля разбега – эффективное средство повышения безопасности взлётов транспортных самолётов // Техника воздушного флота. – 2002. № 3–4, С.47-54.
3. Кофман В.Д., Полтавец В.А., Теймуразов Р.А. Сравнительный анализ безопасности полетов отечественных и зарубежных самолетов. //Транспортная безопасность и технологии. № 4(5), декабрь 2005.
4. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959 – 2017. October 2018 // <http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf>.
5. Accidents statistics// <http://www.planecrashinfo.com/cause>.
6. Борисов В.Г., Начинкина Г.Н., Шевченко А.М. Энергетический подход к управлению полетом. М., «Автоматика и телемеханика» № 6, 1999. С. 59-70.
7. Kurdjukov A.P., Nachinkina G.N., Shevtchenko A.M. Energy approach to flight control. / AIAA Conf. Navigation, Guidance & Control. AIAA Paper 98–4211. Boston, 1998.
8. A.Kuznetsov, A.Shevchenko, Ju. Solonnikov. The Methods of Forecasting Some Events During the Aircraft Takeoff and Landing, //19th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace (ACA2013).Germany.2013. Proceengs, pp.183-187.