

## Маяки буранной гавани

15 ноября этого года исполнилось 35 лет со дня успешного полета в космос нашего космического корабля многоразового использования Бурана, в полностью автоматическом режиме (Рис.1). И, хотя корабль сделал лишь один полет, обогнув два раза Землю, он принес нашей стране как минимум один приоритет, так никогда и не перекрытый американскими Шаттлами - полет Бурана проходил полностью в автоматическом режиме.



*Рисунок 1. Подготовка к взлету Бурана на ракете Энергия*

Искусственный интеллект, получивший сегодня такое широкое распространение в мире, проявил себя в Буране в полной мере, самостоятельно рассчитав траекторию полета корабля и откликаясь на возникшую при посадке нештатную ситуацию, совершил незапланированный маневр, тем самым избежав катастрофы. Этому способствовал, алгоритм минимизации ошибок посадочных маяков, позволяющий реализовать самостоятельную настройку траектории корабля и, конечно, уникальная конструкция посадочных маяков ближней и дальней навигации, частота сигналов которых было в то время фантастичной. При этом задача местоопределения корабля решалась без привычной сегодня системы ГЛОНАСС. Для выполнения точностных требований на заключительном участке спуска (с  $H \leq 50$  км), после выхода из плазмы и вхождения в зону при аэродромных радиосредств, должна была производиться коррекция базового вектора навигации ОК «Буран» по измерениям сначала от наземных радионавигационных дальномеров, затем от курсовых и глиссадных радиомаяков. По мере снижения ОК поправки в систему управления спуском поступали также от радиовысотометров ОК и, в качестве резерва, от системы воздушно-скоростных параметров. Посадка ОК осуществлялась в «бездвигательном» режиме, т. е. должна была быть надежно обеспечена с первого и единственного захода на аэродром. ВНИИ радиоаппаратуры (ВНИИРА директор Громов Г.Н.) разрабатывал комплекс аэродромных радиолокационных и радиомаячных средств и ответной бортовой аппаратуры, используемых для траекторного контроля полета ОК на спуске и для коррекции бортового навигационного вектора состояния. В 09 ч 11 мин, когда корабль находился на высоте  $\sim 50$  км, он был обнаружен аэродромными локаторами, и оттуда начался прием телеметрии. В этот момент «Буран» отделяло от посадочной полосы около 550 км, а скорость его хотя и уменьшилась с космической, но все еще

почти в десять раз превышала скорость звука. На этом участке полета, по прогнозируемой логике движения, ОК при снижении должен был пройти на высоте  $\sim 16$  км вдоль ВПП аэродрома в западном направлении, пойти на правую половину (по ходу полета) ЦРЭ и, развернувшись на  $180^\circ$ , пойти на ВПП «восточным заходом», практически против ветра. Однако, по данным радиолокационных средств и телеметрии, через  $\sim 7$  мин после выхода из плазмы, в  $\sim 09$  ч 18 мин на высоте точки приведения  $H \approx 20$  км при  $M = 1,9$ , ОК неожиданно заложил левый крен до  $-50^\circ$  и, резко поменяв курс, пошел на левую половину ЦРЭ. Через  $\sim 1,5$  мин на высоте  $H \approx 14,5$  км при  $M \approx 1,0$  ОК прошел практически поперек оси ВПП, затем с правым креном до  $50^\circ$  начал движение по левой половине ЦРЭ. Из-за того, что Буран подлетал поперек посадочной полосы, возникла нештатная ситуация. В ЦУПе лихорадочно решался вопрос: Куда направить Буран для безопасного падения? В этой критической ситуации Главный конструктор посадочного комплекса «Вымпел» Г.Н.Громов принял единственно правильное решение, не вмешиваться в работу бортового компьютера. Как показал послеполетный анализ, «Буран» (т. е. его БЦВК с МО спуска и посадки, с учетом коррекции от наземных средств) выбрал траекторию гашения энергии на предпосадочном маневре, оптимальную для конкретных начальных условий захода на ВПП в этот день. В точке приведения на  $H = 20$  км скорость полета ОК хотя и не превышала расчетного допустимого значения, но была выше номинальной. При более продолжительном торможении на левой половине цилиндра рассеивания энергии к моменту схода с ЦРЭ достигалось снижение скорости полета ОК до номинального значения. В  $\sim 09$  ч 21 мин 30 с ОК вышел с ЦРЭ, развернувшись почти на  $180^\circ$  по курсу, и в  $09$  ч 22 мин на  $H \approx 7$  км при уже дозвуковой скорости вышел расчетным «восточным заходом» на касательную к ЦВК. Началось завершающее предпосадочное маневрирование. В ключевой точке на высоте 4 км — выход на посадочную глиссаду [1]. Изображение в ЦУП начали передавать аэродромные телекамеры. Еще минута, выпуск шасси... И вот в  $09$  ч 24 мин 42 с ОК «Буран», преодолевая почти предельно допустимый боковой ветер, легко коснулся посадочной полосы, были выпущены тормозные парашюты, и через 42 сек. корабль замер практически в центре ВПП. Дистанция пробега 1 620 м, отклонение от осевой линии ВПП аэродрома «Юбилейный» всего 3 м. (Рис.2) Бортовые и наземные средства управления, при надежной совместной работе, обеспечили все требования по точности навигационной информации при посадке ОК и контролю его полета. Была произведена необыкновенно красивая и правильная посадка 80-тонной машины! Просто не верилось, что посадка беспилотная.



Рисунок 2. Буран после посадки

Успешному полету и посадке космического челнока «Буран» предшествовали многодневные полеты Летящей Лаборатории (ЛЛ) на базе ТУ-134 Ш (Рис.3). Целью этих полетов была отладка и настройка новых навигационных маяков ближней и дальней навигации, развернутых на аэродроме «Юбилейный» в Байконуре, по методике, утвержденной Главным конструктором посадочного комплекса «Вымпел» Г.Н.Громовым. Исходным параметром для оценки работы маяков являлась «Дальность» (Д), поступающая на борт ЛЛ или корабля Буран от наземных посадочных маяков.



(сп 73550815) 65098 Ту-134Ш Жуковский, ЛИИ им. Громова, 2001 год (с) Григорий Рябоконт

*Рисунок 3. Летящая лаборатория, созданная на базе самолета ТУ-134 Ш*

Из зарегистрированных на борту ЛЛ значений  $D$ , выданных посадочными маяками, в процессе наземной обработки методом наименьших квадратов создавались выборки по 100 значений  $D$  (чем больше объем выборки, тем выше достоверность результатов), и на выходе программы обработки мы имели графическое представление эталонных параметров и истинных значений  $D$ , а также значения  $\sigma$  фл. и осист. Частота поступления сигналов от посадочных маяков позволяла разбить всю посадочную глиссаду ЛЛ на сотни прямолинейных участков по 100 измерений в каждом, что гарантировало проведение оценки  $D$  без искажений, связанных с траекторией полета ЛЛ. После наземной обработки каждого полета оформлялись графики с нанесением измеренных на боту параметров  $D$  и расчетных точек, полученных после обработки данных методом наименьших квадратов [2]. Метод наименьших квадратов – это статистический метод, используемый для аппроксимации данных путем минимизации суммы квадратов разностей между наблюдаемыми и предсказанными наиболее вероятными значениями. Такое представление позволяло разработчикам посадочных маяков наглядно оценить их работу и своевременно вносить необходимые изменения. По мере доработки маяков и повышения их характеристик, точность оценки  $D$  методом наименьших квадратов увеличивалась (это самонастраивающийся инструмент отладки) и доводилась до среднестатистической погрешности равной 1 метру. Контрольные полеты летающих лабораторий продолжались вплоть до исторического запуска космического челнока. Вот что предшествовало триумфальной посадке Бурана в точно заданное место на пятикилометровой посадочной полосе.

#### ЛИТЕРАТУРА

Бровкин А.Г., Кравец В.Г. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОСАДКА БЕСПИЛОТНОГО МНОГОРАЗОВОГО ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ «БУРАН» // КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ № 1 (4)/2014

Roger Fletcher. Practical methods of optimization. — 2nd. — New York: John Wiley & Sons, 1987. — ISBN 978-0-471-91547-8.