

ВИКЛИКИ І РОЗВИТОК АВІОНІКИ: СИСТЕМА ПЕРЕРИВАННЯ ПОЛЬОТУ

Валерій Мазуренко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8340-012X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Типовий склад систем авіоніки ракети-носія (РН) є таким: система навігації та керування польотом, система телеметрії та система переривання польоту (СПП). В певних випадках склад може бути розширеним, проте саме ці три компоненти обов'язково присутні в конструкції будь-якого носія. Всі три системи постійно модернізуються та удосконалюються в першу чергу завдяки розвитку електроніки, вимірювальних приладів та комп'ютерної техніки. Що стосується принципів їхньої побудови та функціонування, то тут є суттєва різниця між зазначеними системами. Якщо функції перших двох систем в цілому є однаковими для всіх ракет і відмінності стосуються лише апаратної та програмної реалізації, то для систем переривання польоту все зовсім інакше. Наразі існує, як мінімум, чотири різних принципи побудови цих систем, кожен з яких витікає з відповідної концепції забезпечення безпеки польоту. Розглянемо це питання більш детально, тобто розглянемо систему переривання польоту, її задачі, зв'язок з концепцією, виклики, які з'являються на шляху забезпечення безпеки польоту, та фактори, які формують облік системи.

БЕЗПЕКА ПОЛЬОТУ

В першу чергу треба почати з мети процесів забезпечення безпеки під час проведення пускових операцій, яка полягає в тому, аби ризики втрати життя, здоров'я, власності або завдання шкоди навколишньому середовищу знаходилися у дозволених межах. Значення рівня дозволеного ризику категоруються в залежності від вагомості наслідків та їх локації. Найменшим має бути ризик загибелі людей за межами космодрому [1]. Стандартним прийнятним значенням ризику події з катастрофічними наслідками вважається число $30E-6$ на одну місію. Оскільки ризик аварії РН значно перевищує це значення (наприклад, за даними статистики для нової ракети ризик аварії на ділянці польоту першого ступеню знаходиться в межах від 0.08 до 0.43 в залежності від досвіду фірми-розробника), то для забезпечення потрібного рівня ризику під час польоту РН необхідно звільнити певну,

наперед визначену зону вздовж розрахованої траси польоту. Цю територію називають «зоною безпеки». З цієї зони на період проведення пуску евакуюють всіх людей, які там можуть знаходитися, а також встановлюють заходи, аби в зазначену зону під час пуску не могли потрапити будь-які люди або транспорт, зокрема – авіаційний, або морський в разі виділення безпечної зони на морській акваторії.

Проте аварія РН може проходити за будь-яким сценарієм. В певних випадках рух аварійної РН може бути таким, що ракета вийде за межі виділеної зони і тоді вона може впасти на території, яка не належить до зони безпеки, що в свою чергу може привести до катастрофічних наслідків. Аби запобігти такому сценарію необхідно вчасно перервати політ аварійної ракети. Цю задачу виконує спеціальна система, яка в фаховій англійській термінології носить назву «система переривання польоту» (Flight Termination System), а в термінології, започаткованій в радянській школі ракетобудування, таку систему називають або системою безпеки носія (СБН), або системою виключення двигунів (СВД), системою автоматичної ліквідації (САЛ) та таке інше. Ще більш різноманіття в назвах цих систем у випадку пілотованого польоту, коли задача переривання польоту доповнюється задачею порятунку екіпажу космічного корабля. Найбільш розповсюдженою назвою в цьому випадку є «система автоматичного порятунку» (САП).

РОЗВИТОК СИСТЕМ ПЕРЕРИВАННЯ ПОЛЬОТУ

Далі розглянемо лише системи без функції порятунку. Від початку розвитку ракетної техніки виділилося два принципово протилежні напрямки побудови системи переривання польоту. Перший передбачає задіяння СПП лише на основі показань датчиків гіроскопічної платформи. Другий – задіяння СПП відбувається на основі даних зовнішнього спостереження польоту ракети за допомогою радарів. Перший напрямок реалізує повністю автономне автоматичне керування і він використовувався в радянській ракетно-космічній галузі. Другий варіант потребує залучення оператора і саме він вимагався західними стандартами з безпеки польотів [2].

Як перший так і другий концепції побудови СПП притаманні свої недоліки та переваги. Автономна система активується в разі виходу кутів нахилу РН по каналу тангажу, рискання або крену за встановлені межі, про що сигналізують кінцеві вимикачі, встановлені на гіроплатформі. Система швидко та надійно реагує на аварійну ситуацію, оскільки ракета у випадку аварії втрачає сталість руху. Проте така система не може реагувати в разі введення помилкового польотного завдання.

Що стосується СПП за західною концепцією, то вона позбавлена вказаного недоліку автономної системи, проте вона більш повільна, значно дорожча в експлуатації, оскільки потребує задіяння системи радарів, а саме головне – у контурі керування з'являється оператор, тобто присутній людський фактор, що може привести до хиби: знищення нормальної ракети, або навпаки – продовження польоту аварійної ракети тоді, коли вона має бути знищеною. Ці дві концепції існували паралельно довгий час, оскільки обміну ракетами між радянськими або пострадянськими та західними державами ніколи не відбувалося. Ситуація змінилася з початком реалізації проекту «Морський старт», коли ракета «Зеніт», оснащена автономною СПП, потребувала дозволу від Федерального управління цивільної авіації США (FAA), яке у питаннях безпеки польотів базувалося на західній концепції. Не зважаючи на те, що система безпеки носія РН «Зеніт», яка виконувала функції СПП не відповідала вимогам західних стандартів, тим не менш вона отримала дозвіл та стала до експлуатації у складі космічного ракетного комплексу «Морський старт». Це стало можливим завдяки особливостям траєкторії польоту РН «Зеніт», яка проходить над поверхнею океану, де немає ані цивільних об'єктів, ані населення.

Цей прецедент надав потужного поштовху для зміни стандартів безпеки США. Сьогодні оновлені правила безпеки Східного та Західного полігонів [3] та FAA [1], так само як і новий стандарт НАСА [4] вже не вимагають конкретної побудови СПП. Вони просто встановлюють рівні ризиків щодо падіння уламків ракети за межами визначеної зони безпеки. Ці кардинальні зміни дозволили компанії Space X створити абсолютно нову автономну СПП, яку в США вважають революційною. Їй дали назву «автономна система безпеки польоту» (Autonomous Flight Safety System – AFSS), й ця назва вочевидь посилається до аналогічної системи РН «Зеніт». Система AFSS задля прийняття рішення щодо переривання польоту використовує телеметричну інформацію від інерційної навігаційної системи та інформацію від супутників GPS. Таке рішення по-перше, значно зменшило витрати на один пуск, оскільки немає потреби у використанні радарів безпеки. По-друге, компанія Space X змогла різко збільшити кількість пускових операцій, оскільки відпала необхідність узгодження термінів задіяння радарів безпеки між місями різних компаній, які запускають свої ракети з одного полігону. Розробка AFSS почалася на початку 10-х років, коли ще діяли старі стандарти щодо безпеки польоту, тому AFSS реалізувала вимогу наявності двох джерел про прийняття рішення на переривання польоту, якими в даному випадку є система телеметрії та дані GPS-навігації.

ВИСНОВКИ

Таким чином, можна зробити висновок, що не зважаючи на довгу історію використання тої чи іншої концепції побудови такої системи авіоніки як система переривання польоту, завжди існують певні шляхи її удосконалення, підвищення ефективності та надійності. Конкретна реалізація системи по кінцевому рахунку має відповідати наявній задачі, а в особливих умовах мають використовуватися спеціальні підходи. Зокрема, умови проведення випробувальних пусків ракет різного типу на території України характеризуються високою щільністю населення, відсутністю значних вільних зон, навіть над поверхнею моря. Тим не менш, задачі пусків слід вирішувати, а безпека населення, збереження власності та зовнішнього середовища має бути безумовно забезпечена. Треба відзначити головне: задля отримання можливості створення дійсно ефективних систем авіоніки необхідно, аби керуючі документи, як то: правила, стандарти, положення або настанови, – оперували не директивними вимогами до структури або конструкції систем, а базувалися на методах керування ризиками, тоді проєктанти та інженери будуть мати значно ширше поле для пошуку оптимального технічного рішення. Й саме тут криється виклик для розробників систем авіоніки, бо наразі в Україні не існує жодного нормативного документу, який би визначав вимоги до безпеки польоту ракет, і це тоді, коли країна через необхідність захисту свого суверенітету відновила створення нових зразків ракетної техніки та, водночас, продовжує зберігати, свій науковий та технологічний потенціал, який відповідає статусу ракетно-космічної держави.

Посилання

1. Flight Safety Analysis Handbook. Official edition. 2011. 224 p.
2. EWR 127-1. Eastern and Western Range Safety Requirements. Official edition. 1997.
3. AFSPCMAN91-710V7. Space Systems Command Manual. Effective from 2022-12-27. Official edition.
4. NASA-STD-8719.25. Range Flight Safety Requirements. Effective from 2018-02-05. Official edition.