

Б. Е. Федунов, д-р техн. наук, проф., нач. сектора, boris_fed@gosniias.ru,
ФГУП ГосНИИАС,

А. В. Бойцов, студент, **И. С. Гиндзе**, студент, **Т. Е. Кондратова**, студент,
М. А. Семенова, студент, **С. А. Шатковская**, студент,
МАИ (технический университет)

Моделирование использования бортовых интеллектуальных систем тактического уровня в аварийной посадке пассажирского самолета на реку Нева (август 1963 г.)

Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня (БИС ТУ) в процессе полета самолета решают задачи оперативного целеполагания и конструирования способа достижения оперативно назначенной цели полета. Задачу оперативного целеполагания решают интеллектуальная информационная система "Ситуационная осведомленность экипажа" (ИИС СОЭ) и бортовая оперативно советующая экспертная система "Оперативное целеполагание" (БОСЭС-целеполагание). Среди обнаруженных потенциальных угроз ИИС СОЭ выделяет непосредственные угрозы (НУГ) выполнению текущего этапа полета (коллизия "Текущий этап полета — возникшая НУГ"). Наиболее приоритетная НУГ передается в БОСЭС-целеполагание, которая рекомендует экипажу текущую цель полета. Если экипаж принимает эту рекомендацию, то включается соответствующая бортовая оперативно советующая экспертная система "Конструирование способа достижения этой цели полета" (БОСЭС ТС "Назначенная цель полета"). Найденный способ рекомендуется экипажу для реализации. Если назначенная цель была проработана в полетном задании, то рекомендуется заранее подготовленный способ ее достижения.

Проиллюстрирована работа БИС-ТУ в условиях полета пассажирского самолета Ту-124, который в августе 1963 г. был вынужден совершить аварийную посадку на р. Нева в центре Ленинграда. Для условно оснащенного БИС ТУ и необходимыми для их работы измерительными системами самолета опишем роль и результат работы БИС ТУ в возникших в полете коллизиях.

Ключевые слова: коллизия, непосредственные угрозы, точки невозврата, бортовая оперативно советующая экспертная система "Оперативное целеполагание", бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций полета, рекомендации экипажу

Введение

Рассматривается работа бортовых интеллектуальных систем тактического уровня (БИС ТУ) на примере полета в 1963 г. пассажирского самолета Ту-124, с которым произошла нештатная ситуация [1].

Новый (на то время) пассажирский лайнер Ту-124 компании "Аэрофлот" 21 августа 1963 г. совершал регулярный рейс по маршруту Таллин — Москва. Командиром воздушного судна был Виктор Яковлевич Мостовой. Самолет вылетел из аэропорта Юлемисте в 08:55 и взял курс на аэропорт "Внуково".

Спустя некоторое время после взлета экипаж обнаружил, что переднюю стойку шасси заклинило в полуубранном положении. По-

садка в аэропорту Таллина была невозможна из-за тумана, и диспетчеры приняли решение не направлять самолет в Москву, а посадить на ближайшем аэродроме "Пулково" в Ленинграде (аэродром А-Л № 2). Самолет последовал к месту назначения на малой высоте.

К 11:00 лайнер оказался около города и начал облетать его на высоте около 500 м, вырабатывая топливо для того, чтобы уменьшить вероятность и силу возможного пожара при посадке. Малая высота была выбрана во избежание возможной декомпрессии, а также для более быстрой выработки топлива. В это же время экипаж пытался с помощью шеста через пробитую в полу дыру полностью выпустить шасси.

В 12:10 на восьмом круге, в 21 км от аэропорта, когда согласно показаниям топливо-

мера топлива оставалось около 750 л (по другим данным — 2,5 т), достаточное количество, чтобы долететь до "Пулково", остановился левый двигатель (по другой версии — топливо не поступало в двигатель). Экипажу было дано разрешение на сквозной пролет через город. Однако через короткое время остановился и второй двигатель. Таким образом, лайнер начал планировать с полукилометровой высоты над центром города. Экипажу ничего не оставалось, как попытаться совершить приводнение на поверхность Невы. Командир передал управление второму пилоту Василию Григорьевичу Чеченеву, служившему в прошлом в морской авиации и имевшему опыт посадки на воду.

Второй пилот перед приводнением грамотно сориентировал самолет и не допустил ни его заныривания в воду, ни удара хвостовой частью фюзеляжа.

Самолет, снижаясь, пролетел над домом № 6 по Малоохтинскому проспекту, затем пролетел на 4 м выше моста Александра Невского (в то время — строящегося) и приводнился в районе Финляндского железнодорожного моста. Посадка на воду была совершена между мостом Александра Невского и железнодорожным мостом, напротив Александро-Невской лавры (на левом берегу) и улицы Таллинской (на правом берегу Невы). Ширина реки в этом месте — около 400 м.

Проходивший в тот момент паровой буксир оттянул самолет к правому берегу Невы. Для крепления буксировочного троса было разбито стекло в носовой части самолета. Пассажиры были эвакуированы и отправлены в Москву.

1. Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня, которые могли бы оказать интеллектуальную поддержку экипажу в августовском полете 1963 г.

Для определения состава БИС ТУ, которые могли бы оказать интеллектуальную поддержку экипажу ТУ-124, представим формализацию этого полета, используя концептуальную модель "Этап" [2].

Выделим возникшие в этом полете коллизии "Текущий этап полета (типовая ситуация (ТС)) — непосредственная угроза его выполнению", при возникновении каждой из которых включаются в работу:

- интеллектуальная информационная система "Ситуационная осведомленность экипажа (ИИС СОЭ)", выделяющая среди обнаруженных потенциальных угроз непосредственные угрозы (НУГ) [3] и
- бортовая оперативно советующая экспертная система "Оперативное целеполагание" (БОСЭС-целеполагание), рекомендующая экипажу текущую цель полета. БОСЭС-целеполагание работает в трех режимах, зависящих от выполняемого этапа полета и от удаленности НУГ от ее точки невозврата [4—6]

При принятии экипажем рекомендации БОСЭС-целеполагание по текущей цели полета как реакции на возникшую коллизию включается в работу соответствующая бортовая оперативно советующая экспертная система назначенной типовой ситуации/текущей цели полета (БОСЭС ТС) [7—9].

2. Взаимодействие систем тактического уровня и экипажа в процессе выполнения августовского полета 1963 г.

Опишем работу БИС ТУ на всех этапах этого полета. Рекомендации, которые будут выработать БОСЭС-целеполагание и БОСЭС ТС, будем показывать на изображении многофункционального индикатора гипотетического информационно управляющего поля (ИУП) пассажирского самолета, которое взято из сети Интернет. Форма предъявления рекомендаций произвольная. Форма показа рекомендаций претендует только на смысловое содержание, которое нужно донести до экипажа. В реальности они должны быть более краткими, а источник их скорее должен обозначаться не словами, а цветом, как это принято уже сегодня.

2.1. При выполнении запланированного полета (полетное задание) в типовой ситуации полета ТС "Маршрут" экипаж самолета и ИИС СОЭ обнаружили *коллизию "ТС "Маршрут" — Угроза: не полностью убрана передняя стойка шасси"*.

БОСЭС-целеполагание, учитывая, что возврат самолета на аэродром вылета невозможен (туман), рекомендовала экипажу идти на аэродром Ленинграда (теперь Санкт-Петербург, аэродром А-Л № 2), где есть пригодная для аварийной посадки грунтовая полоса (рекомендуемая текущая цель полета). Такая же



Рис. 2. Коллизия "ТС "Уход на заданный аэродром" — Угроза "Отказ правого двигателя":

a — выявленная ИИС СОЭ непосредственная угроза; *б* — рекомендуемая БОСЭС-целеполагание текущая цель полета

Fig. 2. The collision "TS "The leaving on the set airdrome" — Threat" The right engine failure":

a — revealed IIS SOE direct threat; *б* — recommended BOSES — goal-setting "The current purpose of flight"

рекомендация поступила на борт самолета от диспетчера.

Экипаж принял рекомендацию, активизировав тем самым БОСЭС ТС "Маршрутный полет в заданную точку (А-Л № 2)", которая рекомендовала экипажу способ достижения этой точки: маршрут полета с учетом облета запретных зон и атмосферных угроз. На этом этапе полета экипаж самостоятельно принял решение механическим путем выпустить переднюю стойку шасси, попытавшись тем самым сохранить возможность выполнения полетного задания. Попытка была неудачной (в БОСЭС-целеполагание постоянно поступал сигнал "Не полностью убрана передняя стойка"), что вынудило экипаж полностью отказаться от выполнения полетного задания.

Экипаж оперативно составил и принял новый план полета: ТС "Полет до Ленинграда", ТС "Выработка "лишнего" топлива", ТС "Посадка на грунтовую полосу аэродрома А-Л № 2", ТС "Эвакуация пассажиров из самолета" и перешел к выполнению ТС "Полет до Ленинграда".

2.2. При подлете к Ленинграду БОСЭС-целеполагание, сравнив имеющийся остаток топлива с допустимым для посадки, рекомендовала экипажу текущую цель полета ТС "Выработка топлива". Экипаж принял рекомендацию, активизировав БОСЭС ТС "Выработка топлива перед посадкой".

Эта БОСЭС ТС рекомендовала экипажу траекторию выработки топлива, высотный эшелон и скорость полета, которые и начал реализовывать экипаж.

2.3. Во время этапа "Выработка топлива" система ИИС СОЭ выявила НУГ "Отказ левого двигателя" (рис. 1, *a*, см. третью сторону обложки) и передала ее в БОСЭС-целеполагание (первый режим ее работы), которая рекомендовала экипажу текущую цель полета "Уход на заданный аэродром А-Л № 2" (рис. 1, *б*, см. третью сторону обложки).

Оценив обстановку, экипаж принял рекомендацию, выработанную БОСЭС-целеполагание, тем самым активизировав БОСЭС ТС "Уход на заданный аэродром А-Л № 2". Рекомендуемый диспетчером и БОСЭС ТС "Уход на заданный аэродром" маршрут выхода на аэродром Ленинграда, проходящий над городом, был принят экипажем для реализации.

2.4. На этапе ТС "Уход на заданный аэродром А-Л № 2" ИИС СОЭ была выявлена НУГ "Отказ правого двигателя" (рис. 2, *a*). Возникшую коллизия "ТС "Уход на заданный аэродром А-Л № 2" — Угроза "Отказ правого двигателя" БОСЭС-целеполагание рекомендовала разрешить аварийной посадкой на воду (рис. 2, *б*).

Рекомендация, выданная БОСЭС-целеполагание (третий режим ее работы) — "Аварийная посадка на воду" (рис. 2), сразу активизировала БОСЭС ТС "Аварийная посадка на воду".

Эта БОСЭС ТС "Аварийная посадка на воду" проложила маршрут полета по руслу реки (рис. 3, см. третью сторону обложки) и при подлете к каждому мосту (ПрС/С "Пролет над мостом") рекомендовала экипажу высоту полета (рис. 4, см. третью сторону обложки) над мостом и прогноз приводнения между вы-



Рис. 5. БОСЭС ТС "Эвакуация пассажиров", ПрС/С "Вызов помощи":

a — выявленная ИИС СОЭ непосредственная угроза; *б* — рекомендация БОСЭС "Эвакуация пассажиров" в этой ПрС/С)

Fig. 5. BOSES TS "The evacuation of the passengers", the problem supsituation (PrS/S) "A help call":

a — the revealed IIS SOE direct threat; *b* — the recommendation BOSES TS "The evacuation of the passengers" in this PrS/S)

бренными мостами (проблемная субситуация (ПрС/С) "Приводнение").

Экипаж реализовал этот маршрут, выполнив этап полета ТС "Аварийная посадка".

2.5. После посадки самолета на воду активизировалась БОСЭС ТС "Эвакуация пассажиров". В ней при появлении НУГ "Затопление салона" (сигнал из ИИС СОЭ, рис. 5, *a*) активизировалась в базе знаний ПрС/С "Затопление салона" (рис. 5, *б*)

В следующих ПрС/С "Использование помощи буксира", ПрС/С "Причаливание к берегу" и ПрС/С "Высадка пассажиров на берег" (рис. 6, см. третью сторону обложки) БОСЭС ТС "Эвакуация пассажиров" не смогла выработать рекомендации.

Высадка всех пассажиров и экипажа прошла успешно.

Заключение

1. Описанные БИС-ТУ:

- постоянно отслеживают возникающие в полете коллизии "Текущий этап полета — непосредственная угроза его выполнению", определяя при этом точку невозврата для НУГ [2, 6] (ИИС СОЭ);
- рекомендуют экипажу при появлении НУГ текущую цель полета (БОСЭС-целеполагание), а при появлении этой НУГ вблизи ее точки невозврата (третий режим работы БОСЭС-целеполагание) сразу назначают рекомендуемую текущую цель на реализацию;

- при назначении этой новой текущей цели полета подключается соответствующая БОСЭС ТС "Назначенная текущая цель полета", которая рекомендует экипажу способ достижения назначенной текущей цели полета. Если в полетном задании для назначенной текущей цели полета был проработан способ ее достижения, то БОСЭС ТС "Назначенная текущая цель полета" будет его рекомендовать экипажу.

В случае когда НУГ находится вблизи своей точки невозврата, способ сразу передается на реализацию (уточнения описаны в работе [5]).

2. Описанный пример возможного размещения на самолете БИС ТУ показывает процедуры и содержание интеллектуальной поддержки экипажа в процессе решения им задач оперативного целеполагания и конструирования способа достижения этой оперативно назначенной текущей цели полета.

3. Для случая постоянного контроля полета наземными диспетчерами и хорошей предварительной подготовки экипажа по разрешению ожидаемых в полете коллизий читатели могут обнаружить:

- очевидность некоторых рекомендаций БИС ТУ и избыток приведенных БОСЭС ТС на самолете в рассматриваемом полете;
- необходимость слишком больших по объему знаний в базах знаний БИС ТУ и большого числа входных сигналов, поступающих в БИС ТУ и необходимых для выработки ими достаточно глубоких рекомендаций экипажу.

Это справедливо и должно аккуратно решаться в конкретных разработках БИС ТУ для конкретных классов и типов пилотируемых летательных аппаратов.

Список литературы

1. Как 55 лет назад на Неву сел самолет // Газета "Петербургский дневник". № 153—154. 20 августа 2018. С. 8—9.
2. Федун Б. Е. Модель "Этап" для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов // Онтология проектирования. 2012. № 2 (4). С. 36—43.
3. Колисниченко А. В., Федун Б. Е. Бортовая интеллектуальная информационная система "Ситуационная осведомленность экипажа вертолета" // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016, № 10. С. 703—708.
4. Желтов С. Ю., Федун Б. Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции концептуальной модели "Этап". I. Структуры алгоритмов поддержки процесса решения задачи экипажем // Изв. РАН. ТиСУ. 2015. № 3. С. 57—71.
5. Желтов С. Ю., Федун Б. Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции концептуальной модели "Этап". II. Режимы работы бортовой оперативно советующей экспертной системы "Оперативное целеполагание", диалоги с экипажем // Изв. РАН. ТиСУ. 2016. № 3. С. 55—69.
6. Федун Б. Е. "Электронный летчик": "Точка невозврата" пройдена не будет. Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактического уровня для пилотируемых летательных аппаратов // Авианорама. 2016. № 1. С. 9—20.
7. Федун Б. Е. Базовая алгоритмическая оболочка бортовых оперативно советующих экспертных систем типовых ситуаций функционирования объекта // Изв. РАН. ТиСУ. 2009. № 5. С. 90—101.
8. Fedunov B. E. Basic Algorithmic Shell of Onboard Real-Time Advisory Expert Systems for Operation Situations Typical for an Object. Journal of Computer and Systems Sciences International, 2009, Vol. 48, No. 5, pp. 752—764. © Pleiades Publishing, Ltd., 2009.
9. Федун Б. Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем // Изв. РАН. ТиСУ. 2002. № 4.
10. Стефанов В. А., Федун Б. Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы (БОСЭС) типовых ситуаций функционирования антропоцентрических (технических) объектов. М.: Изд-во МАИ, 2006. 191 с.

The Onboard Intellectual Systems of Tactical Level in a Crash Landing of the Passenger Plane on the River Neva (August, 1963)

B. E. Fedunov, boris_fed@gosniias.ru

FGUP GosNIIAS, Moscow, 125167, Russian Federation

A. V. Bojtsov, I. S. Gindtse, T. E. Kondratova, M. A. Semenova, S. A. Shatkovskaja

МАИ (Technical University), Moscow, 125080, Russian Federation

Corresponding author: Fedunov Boris E., D. Sc., Professor, Head of Sector, Moscow, 125167, Russian Federation, e-mail: boris_fed@gosniias.ru

Accepted on October 17, 2018

Abstract

In the course of the plane flight the onboard intellectual systems of tactical level (BIS-TU) operatively are solving the problem of the appointing of the current goal of the flight and the problem of the designing of the way of achievement of this goal. The problem of the appointing of the current goal of the flight is solved by intellectual information system "Situational awareness of crew" (IIS SAoC) and onboard operatively advising expert system "Operative goal-setting" (BOSES goal-setting). The problem of the appointing of the current goal of the flight is solving by the intellectual information system "Situational awareness of crew" (IIS SAoC) and the onboard operatively advising expert system "Goal-setting" (BOSES goal-setting). Among the found out the potential threats the IIS SAoC allocates the direct threats (D-Threat). The priority D-Threat is transferred (as the collision "The current stage of the flight — the arisen D-Threat) in BOSES goal-setting which recommends the current purpose of the flight for the crew. If the crew accepts this recommendation the corresponding onboard operatively advising expert system "The designing of a way of achievement of this goal of flight" (the BOSES TS "The appointed goal of the flight ") joins. It is designing the way and is recommending it to the crew for the realisation. If the appointed goal has been worked in the flight task the advance prepared way will be recommend.

The work of the BIS-TU in the flight conditions of the passenger plane TU-124 which in August 1963 has been compelled to land on the river Neva in the centre of Leningrad is illustrated. Conditionally the plane is having equipped by the BIS-TU and by the measuring systems which necessary for their work. We will describe the role and the result of the work of the BIS-TU in the collisions which have arisen in the flight.

Keywords: a collision, direct threats, non-return points, the onboard operatively advising expert system "Operative goal-setting", the onboard operatively advising expert systems of typical situations of flight, the recommendations for crew

For citation:

Fedunov B. E., Bojtsov A. V., Gindtse I. S., Kondratova T. E., Semenova M. A., Shatkovskaja S. A. Adaptive Observer of Rotor Position and Flux for Salient Synchronous Motor, *Mekhatronika, Avtomatizatsia, Upravlenie*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 122–127.

DOI: 10.17587/mau.20.122-127

References

1. **Kak** 55 let nazad na Nevu sel samolet, *Peterburgskii dnevnik*, 2018, no. 153–154, 20 avgusta, pp. 8–9 (in Russian).
2. **Fedunov B. E.** Model' "Etap" dlya razrabotki oblika bortovykh intellektual'nykh sistem antropotsentricheskikh ob"ektov, *Ontologiya Proektirovaniya*, 2012, no. 2 (4), pp. 36–43 (in Russian).
3. **Kolishchenko A. V., Fedunov B. E.** Bortovaya intellektual'naya informatsionnaya sistema "Situatsionnaya osvedomlennost' ekipazha vertoleta", *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, no. 10, pp. 703–708 (in Russian).
4. **Zhel'tov S. Yu., Fedunov B. E.** Operativnoe tselepolaganie v antropotsentricheskikh ob"ektakh s pozitsii kontseptual'noi modeli "Etap". I. Struktury algoritmov podderzhki protsessa resheniya

zadachi ekipazhem, *Izv. RAN, TiSU*, 2015, no. 3, pp. 57–71 (in Russian).

5. **Zhel'tov S. Yu., Fedunov B. E.** Operativnoe tselepolaganie v antropotsentricheskikh ob"ektakh s pozitsii kontseptual'noi modeli "Etap". II. Rezhimy raboty bortovoi operativno sovetuyushchei ekspertnoi sistemy "Operativnoe tselepolaganie", dialogi s ekipazhem, *Izv. RAN, TiSU*, 2016, no. 3, pp. 55–69 (in Russian).

6. **Fedunov B. E.** "Elektronnyi letchik": "Tochka nevozvrata" proidena ne budet. Bortovye operativno sovetuyushchie ekspertnye sistemy takticheskogo urovnya dlya pilotiruemykh letatel'nykh apparatov, *Aviapanorama*, 2016, no. 1, pp. 9–20 (in Russian).

7. **Fedunov B. E.** *Bazovaya algoritmicheskaya obolochka bortovykh operativno sovetuyushchikh ekspertnykh sistem tipovykh situatsii funktsionirovaniya ob"ekta* (Basic Algorithmic Shell of Onboard Real-Time Advisory Expert Systems for Operation Situations Typical for an Object), *Izv. RAN, TiSU*, 2009, no. 5, pp. 90–101 (in Russian).

8. **Fedunov B. E.** Mekhanizmy vyvoda v baze znaniy bortovykh operativno sovetuyushchikh ekspertnykh sistem, *Izv. RAN, TiSU*, 2002, no. 4 (in Russian).

9. **Stefanov V. A., Fedunov B. E.** Bortovye operativno — sovetuyushchie ekspertnye sistemy (BOSES) tipovykh situatsii funktsionirovaniya antropotsentricheskikh (tekhnicheskikh) ob"ektov, Moskva, Publishing house of MAI, 2006, 191 p. (in Russian).

Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

107076, Москва, Стромынский пер., 4

Телефон редакции журнала: **(499) 269-5510, (499) 269-5397**

Технический редактор *Е. В. Конова*. Корректор *З. В. Наумова*.

Сдано в набор 29.11.2018. Подписано в печать 15.01.2018. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 8,86. Заказ МН219. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-11648 от 21.01.02

Учредитель: Издательство "Новые технологии"

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.