

УДК 629.73.072/067

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНЫХ ЭКИПАЖЕЙ В ИНТЕРЕСАХ ГАРАНТИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

И.Г. СОХИН

Статья представлена доктором технических наук, профессором Зубковым Б.В.

Статья посвящена проблеме управления тренажерной подготовкой летных экипажей для гарантированного обеспечения требований к качеству их деятельности в нештатных ситуациях, которые могут возникать в полетах. Показано, что современная методология тренажерной подготовки летных экипажей не обеспечивает гарантию качества их деятельности в возможных нештатных ситуациях. Предложен метод адаптивного управления тренажерной подготовкой летных экипажей, основанный на математическом моделировании состояний их операторских компетенций. Главное достоинство нового метода – возможность получения в ходе тренажерной подготовки статистических показателей качества деятельности экипажей летательных аппаратов в нештатных ситуациях, и тем самым контролируемо обеспечивать заданные требования по безопасности и надежности полетов.

Ключевые слова: полетная операция, нештатная ситуация, безопасность, надежность, полет, компетентность, компетенция, АМК-метод, качество тренажерной подготовки.

Введение

Проблема обеспечения безопасности полетов относится к числу наиболее сложных комплексных проблем, поскольку безопасность полетов определяется множеством разнородных факторов, таких как надежность летательных аппаратов (ЛА), их эргономичность, качество организации управления полетом и т.д. Большая роль в обеспечении безопасности и надежности полетов принадлежит экипажу летательного аппарата, на который возложены функции контроля состояния ЛА, обнаружения и идентификации нештатных ситуаций, осуществления необходимого резервирования бортовой автоматики либо выполнения мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций или уменьшению их последствий в случае возникновения. Поэтому наземная тренажерная подготовка летных экипажей должна *гарантированно* обеспечивать заданные качество и надежность их деятельности во всевозможных штатных операциях и нештатных (аварийных) ситуациях (НшС). Это означает, что вероятность обеспечения безопасности полетов при возникновении любых расчетных нештатных ситуаций должна быть не ниже заданной

$$P_{\text{безопасн}} = \prod_{j=1}^k (1 - Q_j Q_j^{\text{парир}}),$$

где k - количество НшС, которые могут привести к невозможности спасения экипажа; Q_j - вероятность возникновения j -й НшС; $Q_j^{\text{парир}}$ - вероятность неудачи при принятии корректирующих мер по парированию j -й НшС.

Исследования процессов тренажерной подготовки космонавтов, проводимой в Центре подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина [1-3], показали, что главная проблема тренажерной подготовки экипажей сосредоточена в области управления технологическими процессами их тренировок на тренажерах и связана с возможностью оценивания состояний их подготовленности и управления ими. Проблема заключается в противоречии между возможностями современного научно-методического аппарата тренажерной подготовки летных экипажей и требованиями, предъявляемыми к качеству их подготовленности. Вследствие многочисленности и многообразия возможных нештатных ситуаций, которые могут возникать в полете, жестких ограничений на время тренажерной подготовки экипажа ЛА и количество тренировок не представ-

ляется возможным многократно отработать все возможные НшС, и следовательно, получить статистические оценки $Q_j^{нарп}$ и оценить $P_{безопасн}$ для каждого летного экипажа. Поэтому нужны новые эффективные методологические подходы к информационно-управляющим процессам тренажерной подготовки летных экипажей.

Для управления тренажерной подготовкой экипажей ЛА предлагается использовать адаптивно-компетентностный подход [4; 5], при котором репрезентативная выборка нештатных ситуаций, моделируемых на тренажерах в процессе тренировок, выбирается динамически, исходя из текущего состояния подготовленности (компетентности) экипажей. Данный подход и связанные с ним технологии основаны на переходе от традиционной динамической системы «вход-выход» к динамической системе с внутренними пространствами состояний «вход-состояние компетентности экипажа-выход». В новой технологии управления подготовкой экипаж ЛА рассматривается не как традиционный «черный ящик», а как объект, имеющий внутреннюю структуру

$$\Sigma = \langle T, U, Y, X, \Omega_c, \Gamma, \psi, \varphi \rangle,$$

где T – упорядоченное множество моментов времени (тренировок); U – множество значений входных величин (сложности заданий); Y – множество значений выходных величин (результатов действий экипажа); $X = F(U, Y)$ – множество переменных величин, характеризующих состояние компетентности экипажа; Ω_c – пространство функций $u(t)$, описывающих допустимые входные воздействия; Γ – пространство функций $y(t)$, описывающих изменение по времени выходных величин; $\psi: U \rightarrow X$ – переходная функция, характеризующая зависимость элементов множества состояний X от входной величины U и прежнего состояния; $\varphi: U \times X \rightarrow Y$ – выходная функция, характеризующая зависимость элементов множества выходов Y от входной величины и состояния.

Метод адаптивного моделирования состояний операторских компетенций экипажа (АМК-метод)

В целях управления состояниями подготовленности экипажей в ходе их тренажерной подготовки предложен метод адаптивного моделирования состояний компетентности космонавтов (АМК-метод).

Под *моделированием состояний компетентности* экипажей понимается формальный процесс, включающий построение моделей управления состояниями компетентности экипажей, а также практическое применение этих моделей для управления их тренажерной подготовкой. Основными управленческими функциями моделирования компетентности являются: оценка текущего состояния компетентности космонавтов, проектирование адаптивных управляющих воздействий на космонавтов в процессе тренировок на тренажерах, прогнозирование будущих состояний компетентности космонавтов и качества их деятельности в космическом полете для принятия обоснованных управленческих решений.

Информационно-динамическая модель адаптивного управления состояниями компетентности космонавтов представлена на рис. 1. Моделирование состояний компетентности экипажа в ходе его тренировок на тренажерах представлено как многоуровневый двусторонний процесс прямого и обратного «восхождения от абстрактного к конкретному». Использование современного математического аппарата теории сложных систем и динамической теории информации [6] позволило формализовать такие понятия, как информационная сложность деятельности, результаты деятельности, компетентность экипажа, и количественно измерять их. Управление тренажерной подготовкой экипажа рассматривается как дискретный процесс с рекуррентным изменением входных воздействий $U(t)$ от очередной тренировки к следующей. В целях адаптации входных воздействий к текущему состоянию компетентности экипажа используются вышестоящие уровни, представленные абстрактными информационными объектами. Информационные объекты вышестоящего уровня порождают информационные объекты нижестоящего уровня. Пределы

управления, обеспечивающие определенное гарантированное качество деятельности экипажа в условиях космического полета, определяются устойчивостью результатов моделируемой на тренажерах деятельности экипажа к некоторому диапазону сложности входных воздействий.

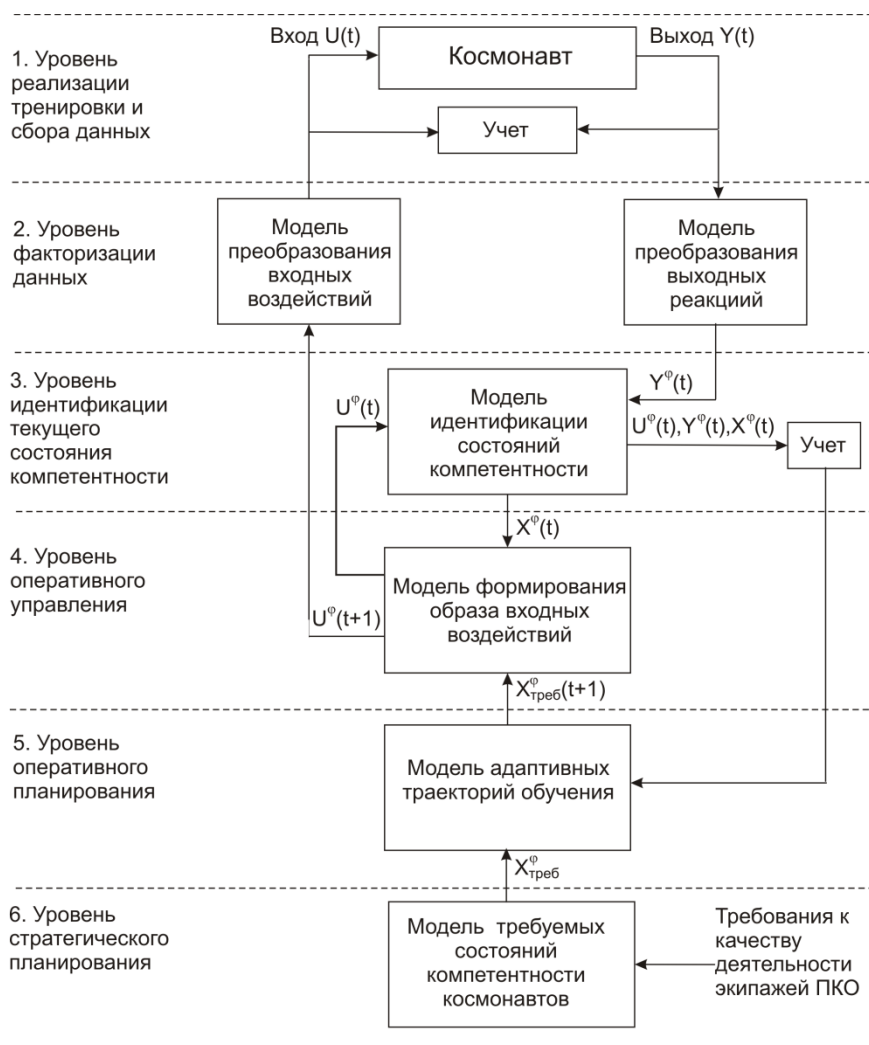


Рис. 1. Информационно-динамическая модель адаптивного управления состояниями компетентности экипажа

В АМК-методе каждый из трех информационных объектов U , Y , X сам по себе является сложной структурой, состоящей из множества разнородных элементов. Поэтому в рассмотрение вводятся три ключевые категории, подлежащие математической формализации:

- "информационное пространство входных воздействий" на экипаж для описания характеристик "входов" (коротко – пространство входов U);
- "информационное пространство выходных реакций" экипажа для описания характеристик "выходов" (коротко – пространство выходов Y);
- "состояния компетентности" экипажа X (отражающего абстрактные внутренние состояния его подготовленности).

Каждая из этих трех категорий может быть представлена своей особенной информационной моделью, имеющей собственную структуру, определенную на множестве только ей присущих элементов. Причем пространства входов и выходов относятся к объектам, с которыми взаимодействует экипаж (т.е. к среде, включающей в себя Центр управления полетами (ЦУП) ЛА). Состояние компетентности является внутренней характеристикой экипажа ЛА. Оно, в отличие

от первых двух категорий, не может быть измерено непосредственно, а должно определяться через отношения двух других категорий. Применительно к деятельности в НшС компетентность экипажа складывается из совокупности его компетенций: обнаружения нештатных ситуаций, их распознавания, планирования и выполнения действий по выходу из нештатной ситуации, которые характеризуют его операторские функции при парировании НшС.

Система количественных показателей качества деятельности экипажей ЛА в нештатных ситуациях

С помощью предложенной модели АМК-метода могут быть рассчитаны статистические показатели состояния компетентности экипажей ЛА применительно к обеспечению безопасности полетов. Состояние компетентности экипажа представляет собой случайный вектор $X(t) = \langle X_1, X_2, X_3, X_4, t \rangle$, в котором переменные $X_1(t) - X_4(t)$ представляют отдельные компетенции. При этом каждая компетенция является двумерной случайной величиной $X_i = (U, Y) = f(A_i)$, поскольку является функцией элементарного события – реализации НшС A_i , имеющей сложность U и исход Y .

Требования репрезентативности выборки НшС, предъявляемые экипажам на тренировках, и условий действия статистического ансамбля событий (повторяемость условий испытаний, статистическая устойчивость и достаточное количество испытаний), необходимых для объективной оценки статистических вероятностей качества операторских компетенций экипажей, в АМК-методе обеспечиваются за счет адаптивно-оптимального формирования тренировочных заданий. В результате в ходе тренировок экипажей ЛА на тренажерах могут быть получены эмпирические функции распределения $F(X_i(t)) = P(U < T_u^\alpha, Y < S_j)$ двумерной случайной величины $X_i(t)$. Для рассматриваемой дискретной двумерной случайной величины $X_i(t)$ её функция распределения представляет собой некоторую ступенчатую поверхность. Следует заметить, что в действительности качество компетентности экипажей следует рассматривать как случайный процесс, изменяющийся с течением времени. Поэтому правильнее говорить о временном срезе функции распределения для фиксированного момента времени. В данном исследовании мы будем рассматривать временной срез функции распределения компетентности экипажа на момент окончания его подготовки к полету. На рис. 2 представлен пример такого временного среза для отдельно взятой компетенции.

Путем композиции компетенций экипажа ЛА, которые задействованы в структуре его деятельности при парировании конкретной НшС, могут быть аналитически вычислены прогнозные оценки вероятности безошибочности его деятельности Q_i^{narp} [5].

Таким образом, на основе использования АМК-метода появляется возможность получения статистических оценок вероятности безошибочной деятельности экипажа в НшС, которые могут быть применены в математических моделях управления качеством их тренажерной подготовки.

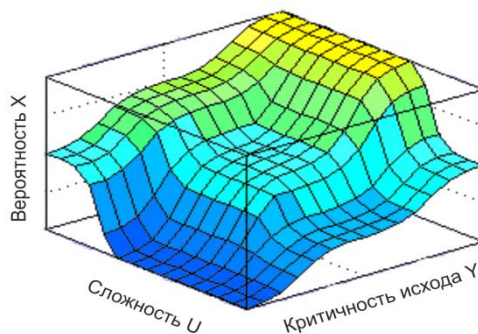


Рис. 2. Временной срез функции распределения качества компетенций экипажа ЛА

Заключение

Экспериментальные исследования, проводимые в Центре подготовки космонавтов, подтвердили практическую реализуемость АМК-метода и эффективность его научно-методического аппарата для целенаправленного управления качеством тренажерной подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов в интересах гарантированного обеспечения требований по обеспечению безопасности и надежности космических полетов.

Использование АМК-метода может оказаться весьма эффективным средством для управления состояниями компетентности летных экипажей воздушных судов в ходе их тренажерной подготовки в интересах гарантированного обеспечения безопасности полетов при возникновении нештатных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сохин И.Г.** Комплексная подготовка экипажей МКС как управляемый технологический процесс: монография. Звездный городок: РГ НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2007.
2. **Сохин И.Г., Крючков Б.И.** Этапы становления и перспективы развития научно-методической базы подготовки космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. - 2011. - №1(1). - С. 78-86.
3. **Сохин И.Г., Крючков Б.И., Курицын А.А.** Этапы эволюции научно-методической школы подготовки космонавтов: от тренировки навыков к формированию профессиональной компетентности // Вопросы истории естествознания и техники. - 2012. - № 3. - С. 145-149.
4. **Сохин И.Г.** Моделирование состояний компетентности космонавтов в процессе тренажерной подготовки. Космонавтика и ракетостроение. - 2011. - Т. 65. - № 4. - С. 180-185.
5. **Сохин И.Г.** Адаптивно-компетентный подход к решению проблемы управления качеством подготовки космонавтов в интересах гарантированного обеспечения заданного уровня безопасности и надежности космических полетов // Пилотируемые полеты в космос. - 2012. - №1(3). - С. 36-48.
6. **Чернавский Д.С.** Синергетика и информация: динамическая теория систем. 3-е изд., доп. - М.: Книжный дом «Либроком», 2009.

MODELING OF THE FLIGHT CREW'S TRAINING PROCESSES ON SIMULATORS IN THE INTERESTS OF GUARANTEED FLIGHT SAFETY

Sokhin I.G.

The paper covers the problem how to control flight crew training on simulators to ensure the fulfillment requirements for the quality of their activity in training non-standard situations which can happen in flight. It is shown that the existing methodology of training pilots on simulators does not ensure the quality of their activity in those non-standard situations. The paper puts forward an adaptive control method (AMC-method) of the simulator training of flight crews using mathematical modeling the states of their operator competences. The main advantage of the new method is the possibility to obtain statistical quality indicators of flight crew activity in non-standard situations and, thereby, to control the fulfillment of prescribed requirements for safety and reliability of space missions.

Key words: space operations, off-nominal situation, safety, reliability, spaceflight, competence, capacity, AMC-method, the quality of the simulator training.

Сведения об авторе

Сохин Игорь Георгиевич, 1954 г.р., окончил Рижское ВВАИУ им. Я. Алксниса (1976), доцент, кандидат технических наук, заместитель начальника управления ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина», автор более 150 научных работ, область научных интересов – управление процессами подготовки космонавтов, повышение качества деятельности экипажей пилотируемых космических аппаратов, безопасность полетов.