

На правах рукописи

СУРИНА Элеонора Ильдаровна

РАЗРАБОТКА
МЕТОДОВ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ
ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ

специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и
обработка информации (по отраслям)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Самара 2006 г.

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» (СГАУ) и авиакомпании «Волга–Днепр»

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Коптев Анатолий Никитович

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор Титов Борис Александрович
кандидат технических наук,
профессор Кармалеев Борис Александрович

Ведущее предприятие: Московский государственный технический университет гражданской авиации

Защита состоится «20 » октября 2006 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д212.215.07 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, корпус 3а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан «19» сентября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

И.В. Белоконов

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В последние годы статистика тяжелых авиационных происшествий показывает, что примерно 80% из них так или иначе связано с человеческим фактором

Межгосударственным авиационным комитетом были проанализированы материалы расследований 100 тяжелых авиационных происшествий за период 1990 – 1994 годов. Установлено, что в 82% из них пусковым фактором развития аварийной ситуации явились собственно решения и действия экипажа и лишь в 18% случаев – иные причины (отказы авиационной техники (АТ)) различной природы, перегрузки, нарушения центровки и т.д).

Неизменность этой ситуации в состоянии безопасности полетов существует на фоне непрерывного совершенствования авиационной техники, средств навигации, управления воздушным движением, эксплуатационных инструкций. Это является объективным признаком того, что проблема человеческого фактора (ЧФ) в авиационной транспортной системе актуальна.

Этот факт был признан международной организацией гражданской авиации (ИКАО), которая определила долгосрочную стратегию в решении проблем человеческого фактора и опубликовала соответствующее решение.

Осознание международным авиационным сообществом необходимости работы в области ЧФ постоянно подтверждалось и подтверждается событиями, в причинах которых преобладает признак “ошибка человека”.

Основываясь на стратегии и требованиях ИКАО, в подавляющем большинстве стран – членов ИКАО в гражданской и коммерческой авиации, в частности, была внедрена постоянно действующая система подготовки и сертификации авиационного персонала в области ЧФ, которая заняла одно из ведущих мест в общей системе профессионального обучения, осуществляемого в авиакомпаниях и учебных центрах. Этим был сделан существенный вклад в предотвращение авиационных происшествий по признаку "ошибка человека".

Вместе с тем, несмотря на значительный научный и методический потенциал, в отрасли только сейчас начинает создаваться единая, целостная и эффективная система подготовки и сертификации эксплуатационного персонала в области ЧФ и управления ресурсами экипажа, которая требует разработки методов и средств анализа и синтеза целенаправленных действий авиаспециалистов с позиций функционального и системного подходов для оценки ЧФ в системе «человек – машина».

Вышеизложенные факты и необходимость совершенствования системы безопасности полетов с учетом ЧФ определили актуальность темы диссертационной работы.

Диссертационная работа базируется на теоретических и практических результатах исследований действий членов экипажа воздушного судна (ВС) в ожидаемых условиях эксплуатации с учетом влияния различных эксплуатационных факторов, воздействующих на систему «экипаж – воздушное судно – окружающая среда». Положенные в основу диссертационной работы исследования были проведены автором самостоятельно или при его непосредственном участии на протяжении последних лет в авиакомпании «Волга-Днепр» и Самарском государственном аэрокосмическом университете.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является создание комплекса моделей для решения задач повышения уровня безопасности и обеспечения эффективности управления ВС на основе учета влияния ЧФ.

Достижение цели работы обеспечивается решением следующих взаимосвязанных задач:

- анализа существующих методов оценки влияния ЧФ на процессы управления ВС;
- разработки методов формального представления действий членов экипажа (ЧЭ) в автоматизированных системах управления (АСУ);
- разработки методов анализа функционирования экипажа ВС в АСУ;
- разработки методов синтеза индивидуальных и коллективных структур действий ЧЭ;
- разработки системы контроля и управления безопасностью и эффективностью управления ВС с учетом ЧФ.

Объектом исследования является повышение уровня безопасности и обеспечения эффективности управления ВС с учетом ЧФ.

Предметом исследования являются методы и средства анализа и синтеза действий ЧЭ на процессы управления.

Методы исследования. В работе использован системный подход, основанный на математическом моделировании функционирования ЧЭ в АСУ, охватывающий в совокупности ее важные свойства, такие как иерархическая структурность, логическая и операционная сложность, пространственно-временной и вероятностный характер, многоплановость, свернутость и развернутость осуществления, включающий: методы теории графов, теории вероятностей, теории множеств, математической логики, прикладной теории алгоритмов, эвристический структурный анализ и синтез.

Научная новизна результатов работы заключается в том, что поставлены и решены следующие задачи:

- исследование принятой методологии оценки влияния ЧФ на повышение безопасности и эффективности управления ВС;
- разработка метода представления целенаправленного взаимодействия ЧЭ и экипажа ВС в целом на основе набора образующих введенного языка, определенных в рамках точного формализма и используемого в качестве концептуальной основы для анализа и синтеза образов действий ЧЭ;
- разработка абстрактной модели действий, обеспечивающей путем различной содержательной интерпретации формирование множества частных моделей, в основу которых положены структурно-алгоритмические принципы моделирования и анализа действий;
- разработка структурно-алгоритмической модели и методов реализации алгоритмов решения конкретной задачи, режима работы, индивидуальных и коллективных действий ЧЭ;
- построение структурно-алгоритмической методики исследований целенаправленного взаимодействия ЧЭ, объединяющей этапы структурного анализа, алгоритмизации и синтеза алгоритмических структур, образованных совокупностью последовательно выполняемых алгоритмов решения задачи.

Достоверность результатов исследований. Полученные результаты исследований основаны на практических работах автора по разработке нормативно-методических документов и программ подготовки ЧЭ ВС в авиакомпании «Волга-Днепр», согласованных с Минтранс и отвечающих требованиям ИКАО по учету ЧФ

в рамках отдельной авиакомпании. Математические модели, методы и алгоритмы разработаны автором на основе реальных данных эксплуатации ВС типа Ан-124-100, проверены на практике и введены в нормативные документы группы авиакомпаний «Волга-Днепр».

На защиту выносятся:

1. Метод формального представления целенаправленных взаимодействий членов экипажа ВС в АСУ.
2. Метод структурного анализа действий членов экипажа ВС и авиаспециалистов.
3. Метод структурного синтеза моделей режимов работы, индивидуальной и коллективной деятельности ЧЭ.
4. Структурно-алгоритмические модели индивидуальных и коллективных действий ЧЭ.
5. Методика оценки действий членов экипажа ВС.
6. Рекомендации по качественной и количественной оценке действий экипажа ВС на основе результатов оперативного контроля.

Практическая значимость исследований заключается в разработке и внедрении в авиакомпании «Волга–Днепр» системного подхода к оценке ЧФ с учетом логической и операционной сложности, многоплановости действий экипажа ВС на основе структурно-алгоритмического метода описания анализа и синтеза этой деятельности, позволяющего учесть такие свойства как сознательная целенаправленность, структурность, стохастичность, и на этой базе совершенствовать организацию деятельности ЧЭ и программы профессиональной подготовки.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы, а также научные и практические результаты исследований докладывались на XII Всероссийском научно-техническом семинаре по управлению движением и навигации летательных аппаратов, г. Самара, 2005 г., на ежегодных научно-практических конференциях и семинарах «Безопасность и эффективность эксплуатации ВС» эксплуатантов самолета Ан-124-100, ежегодно проводимых в авиакомпании «Волга-Днепр», г. Ульяновск, 2002 – 2005 гг.

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 11 печатных работах.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, приложений А и Б.

Основная часть работы изложена на 148 страницах текста. Работа содержит 25 рисунков 6 таблиц и 85 библиографических названий. Общий объем работы 180 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и определяется цель исследований. На основании анализа современного уровня безопасности и эффективности управления ВС формулируются задачи исследований. Излагается краткое содержание диссертации, описывается последовательность выполненных исследований и приводятся полученные результаты.

В *первой главе* «Состояние теории и практики качественной и количественной оценки человеческого фактора в процессах управления» дается анализ традиционных подходов и современных тенденций к совершенствованию функционирования современных авиационных транспортных системах (АТС), который выявил проблему более полного учета ЧФ.

В настоящее время сформирована концепция международной организации гражданской авиации (ИКАО) по ЧФ. Для ее понимания в главе использована модель SHELL, предложенная профессором Эдвардсом и усовершенствованная Ф. Хоуккинсом (рисунок 1). Важной составляющей модели является цепочка, затрагивающая схему SHELL – взаимодействие между людьми. Традиционно вопросы показателей при полете были сфокусированы на отдельных ЧЭ.

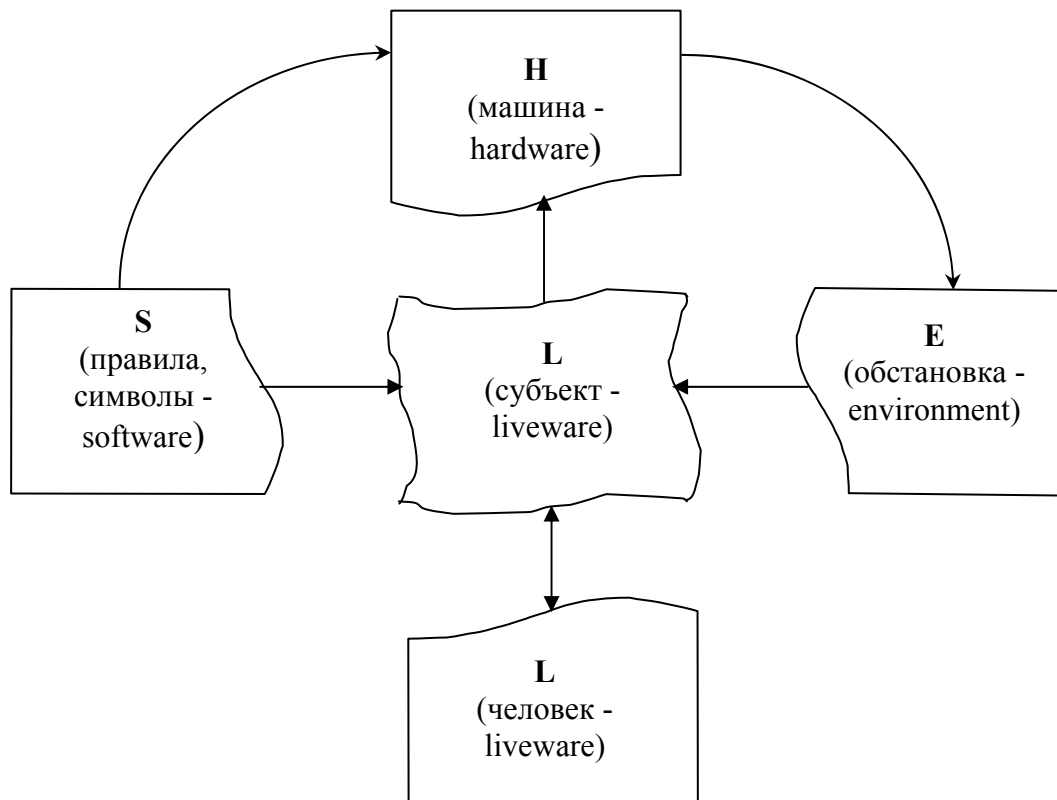


Рис. 1. Модель взаимодействий Эдвардса-Хоуккинса

Однако все больше внимания стало уделяться проблемам, возникающим при совместной работе ЧЭ или системе обеспечения безопасности путем формирования резервов с учетом человеческого фактора. Летные экипажи функционируют как группы, что требует учета влияния групповых факторов на определение поведения и показателей деятельности, т.е. L–L взаимодействия, прежде всего в плане лидерства, сотрудничества внутри экипажа, коллективной работы и личных взаимодействий между ЧЭ. Фактически управление ресурсами в кабине ВС можно рассматривать как особый случай в рамках системы SHELL.

В этой связи рассмотрены состояние проблемы ЧФ в АСУ, количественной оценки этого фактора на основе моделирования действий ЧЭ при решении задач контроля и управления ВС.

Проведенный анализ проблем проявления ЧФ при управлении ВС позволил определить цели и задачи диссертационной работы.

Во *второй главе* «Формальные основы теории представлений целенаправленных действий членов экипажа воздушного судна» рассмотрена проблема системного подхода к взаимодействию ЧЭ.

Системный подход определен как функциональный или целеустремленный, что потребовало концептуального анализа опыта как целого, являющегося исходным пунктом научного анализа действий ЧЭ, и экипажа, как малого коллектива.

Решение задач о действиях ЧЭ в достаточно узкой сфере управления ВС также, как и в случае общих постановок, требует во-первых, создания концептуальной системы для определения некоторых логических, временных и пространственных понятий для описания взаимодействий и во-вторых, разработки формальных понятий, для разработки моделей и методов исследования действий ЧЭ ВС.

При таком подходе на основе функциональной концепции построена система взаимосвязанных понятий и определений, связанных с действиями ЧЭ при решении специальных задач контроля и управления ВС. В рамках функционального подхода определены базовые понятия «свойство», объект и субъект воздействия; понятие «экипаж» ВС, как множество индивидов; пространственно-временные понятия для индивидуализации и идентификации объектов и событий. Для описания важных свойств ЧЭ, связанных со структурой, сложностью, пространственно-временными аспектами и многоплановостью, введен язык для их представления, включающий образующие, как некоторые элементы – носители информации, имеющие значение первичных высказываний.

Множество всех образующих A состоит из непересекающихся классов образующих

$$A = \bigcup_{\alpha} A^{\alpha}, \quad (1)$$

где A^{α} – непересекающиеся классы; α – индекс класса образующих.

Интерпретация этого разбиения состоит в том, что образующие, сходные качественно, будут относиться к одному классу.

Образующие – это элементы представления объектов, субъектов или событий, некоторые стандартные блоки, обладающие определенными свойствами. При этом рассматриваемые свойства могут быть двух типов.

Первый тип свойств – это признаки. Образующей ставится в соответствие признак $p = p(a)$, причем в качестве значений признака p могут выступать целые числа, действительные числа, векторы и так далее. Одной из составляющих признака служит индекс класса образующей α , другие составляющие представляют более специфическую информацию

Второй тип свойств охватывает связи. Определенной образующей a соответствует определенное число связи $\rho(a)$, которое выражается неотрицательным целым числом. Величина этого числа указывает максимальное число соединений, связывающих данную образующую с остальными, и представляет собой сумму входных связей $\rho_{in}(a)$ и выходных связей $\rho_{out}(a)$

$$\rho(a) = \rho_{in}(a) + \rho_{out}(a). \quad (2)$$

Эти показатели характеризуют максимальное число соединений, входящих в образующую и выходящих из нее, соответственно.

Каждому подобному (потенциально возможному) соединению соответствует показатель связи, обозначаемый символом β с соответствующим индексом. Характер показателей связи β существенно изменяется в зависимости от конкретного случая представления.

Множество связей всякой образующей a , соответствующим образом перенумерованное, образует структуру связей образующей. При этом структура связей не определяет значения показателей, поставленных в соответствие отдельным связям.

В дополнение к свойствам образующих вводится идентификатор или имя для того, чтобы иметь возможность различать используемые образующие.

Графический формализм образующей представлен на рисунке 2.

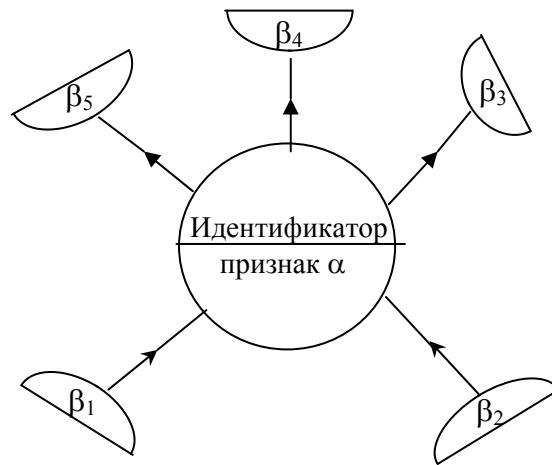


Рис. 2. Графический формализм образующей

Представление образов поведения на основе образующих определено совокупностью правил и ограничений относительно того, как описывать целеустремленное поведение ЧЭ. Эти правила приводят к типичным регулярностям образов и представляют собой комбинаторную структуру. Структурное объединение стандартных блоков–образующих позволяет строить конфигурации, описывающие поведение ЧЭ, определяемые составом и структурой.

Состав конечной конфигурации c будем определять как

$$\text{состав}(c) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \quad (3)$$

где правая часть представляет собой некоторое множество, абсолютно неструктурированное.

Структура конфигурации представляет собой множество σ соединений, существующих между всеми или некоторыми связями образующих, входящих в ее состав. Если перенумеровать связи как β_{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, \rho(c_i)$, то множество σ можно задать списком вхождений вида $(\beta, \beta') = (i, j), (i', j')$, соответствующих соединению связей β и β' . С другой стороны, множество σ можно задать с помощью квадратной матрицы инцидентности порядка $\sum \rho(a_i)$, в которой единицы и нули указывают наличие или отсутствие соединения в определенных парах связей.

Рассмотрена формализация представления поведения ЧЭ в сложном пространстве с размерностью более трех, в частности в наиболее часто используемое четырехмерном пространстве для представления пространственно-временных образов, которые описывают движения:

$$X = R^3 + R^1 - \text{опорное пространство, где } R^1 - \text{пространство времени.}$$

В заключение рассмотрен вопрос представления изображения из образующих, представленных подграфами с полной графовой структурой.

Классы образующих A^α будут состоять из попарно сравниваемых признаков: если $a_1, a_2 \in A^\alpha$, то один влечет другой, так что или $a_1 \Rightarrow a_2$, или $a_2 \Rightarrow a_1$.

Тип соединения Σ показан на рисунке 3. Любой $\sigma \in \Sigma$ будет состоять из одного или нескольких изолированных подграфов, каждый из которых имеет более p образующих и подграфов с полной графовой структурой.

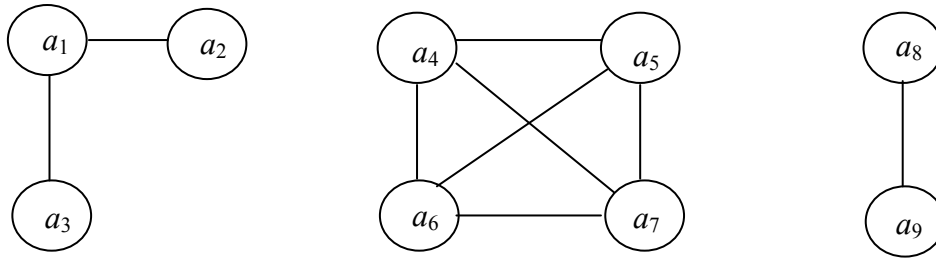


Рис. 3. Тип соединения булевых образов

В *третьей главе* «Разработка методов анализа и синтеза целенаправленных действий членов экипажа и авиаспециалистов воздушного судна» рассмотрены задачи анализа, алгоритмизации и синтеза действий в условиях функционирования человека в контуре АСУ. Проведенные исследования показали, что существующие в практике моделирования этой деятельности с целью ее анализа математические модели и методы исследования не охватывают в совокупности такие ее важные свойства, как иерархическая структурность, логическая и операционная сложность, пространственно-временной и вероятностный характер, многоплановость, свернутость или развернутость осуществления.

Для устранения этих недостатков в работе предложена абстрактная модель деятельности, в основу которой положены разработанный в предыдущей главе язык представлений любой деятельности как образа; теория графов, как основа актуальной абстракции в виде специального полного графа, и структурно-алгоритмическое представление любой профессиональной деятельности в виде системы взаимосвязанных элементов (образующих). В рамках такого подхода разработана система структурно-алгоритмических моделей профессиональной деятельности.

Структурно-алгоритмические модели интерпретируются как равновесные стохастические мультиграфы, научная интерпретация которых дана с позиций законов сохранения.

Рассмотрены принципы структурно-алгоритмического моделирования действий и две основные формы структурно-алгоритмических моделей: операционно-логическая и предметно-функциональная.

В основу структурно-алгоритмической модели в работе положены следующие три группы универсальных принципов: принципы исходного описания субъектов и объектов действий, принципы результирующего описания структуры действий и принципы процедуры моделирования. На основе модели, определены ℓ задач и m режимов работы оператора. В силу некоторой неопределенности ситуации решения i -ой задачи ($i = \overline{1, \ell}$), i -ая задача в g -м режиме решается оператором по вероятностному алгоритму, каждая j -ая реализация которого осуществляется с некоторой частотой f_{rij} , определенной на полной группе n несовместных реализаций, и представляет собой достоверную последовательность конечного числа некоторых «элементарных» операций (действий). После кодирования операции j -ой реализации i -ого алгоритма в некотором алфавите символов, строится орграф, вершины которого суть символы действий (или предметов, с которыми совершаются действия, в частности, средств контроля и управления), а дуги между вершинами обозначают «переходы» между операциями. Такому орграфу однозначно соответствует матрица смежности A_{rij} ,

строки и столбцы которой обозначают приборы, с которыми взаимодействует оператор в j -той реализации, а элементы a_{pq} характеризуют частоту перехода от действия с прибором p к действию с прибором q .

Для i -ой задачи управления в r -м режиме перечисляется конечное число n реализаций и для них определяются матрицы A_{rij} , а также частоты f_{rij} этих реализаций. Они обобщаются в матрицу B_{ri} , описывающую вероятностный алгоритм решения i -ой задачи в r -м режиме:

$$B_{ri} = \bigcirc_{j=1}^n A_{rij} f_{rij}. \quad (4)$$

Аналогично (4) получаются: матрица C_r для r -го режима работы

$$C_r = \bigcirc_{i=1}^{\ell} B_{ri} f_{ri} O Z_r, \quad (5)$$

где f_{ri} – частота появления i -той задачи в r -м режиме;

– Z_r – матрица переходов от задачи к задаче «внутри» r -го режима;

– матрица D для работы ЧЭ при всех m режимах (т.е. для индивидуальных действий в целом)

$$D = \bigcirc_{r=1}^m C_r f_r O Z, \quad (6)$$

где Z – матрица переходов от режима к режиму, f_r – частота r -го режима работы ЧЭ.

Объединяя (4), (5) и (6), можно записать в матричной форме структурно-алгоритмическую модель индивидуальных действий:

$$D = \bigcirc_{r=1}^m \left[\bigcirc_{i=1}^{\ell} \left(\bigcirc_{j=1}^n A_{rij} f_{rij} \right) f_{ri} O Z_r \right] f_r O Z. \quad (7)$$

Для коллективных действий, когда действия выполняются N операторами и для k -го ЧЭ ($k = \overline{1, N}$) известна матрица индивидуальных действий D_k . Матрица коллективных действий имеет вид:

$$E = \bigcirc_{k=1}^N D_k, \quad (8)$$

и структурно-алгоритмическая модель коллективных действий в матричной форме запишется следующим образом:

$$E = \bigcirc_{k=1}^N \left\{ \bigcirc_{r=1}^m \left[\bigcirc_{i=1}^{\ell} \left(\bigcirc_{j=1}^n A_{krij} f_{krij} \right) f_{kri} O Z_{kr} \right] f_{kr} O Z_k \right\} f_k O Z. \quad (9)$$

Здесь сохранены прежние обозначения индекса k , принадлежащего k -ому ЧЭ.

В (4) – (9) знак \bigcirc является символом операции получения мультиграфов из графов Бержа или стохастических графов обобщения. Индексы N, m, ℓ, n – номера обобщаемых графов (матриц).

Формулы (4–9) позволяют различать математические модели на разных структурно-алгоритмических уровнях: реализация алгоритма, алгоритма задачи, режима работы, индивидуальных и коллективных действий, причем каждая из моделей может быть построена в двух специфических формах – операционно-логической или предметно-функциональной.

В заключение главы предложена методика структурно-алгоритмического моделирования действий ЧЭ. Процедура моделирования расчленена на три этапа: структурный анализ, алгоритмизация и структурно-алгоритмический синтез. На первом этапе осуществлено иерархическое структурирование действий, т.е. вычленение непротиворечивым и удобным образом индивидуальных и коллективных действий, режимов работы и задач, решаемых ЧЭ в каждом из режимов. При этом последовательно выполняются следующие операции: выделение круга обязанностей для каждого из ЧЭ, выделение режимов работы и подмножеств задач, решение которых предписывается каждому из них в определенных режимах.

Алгоритмизация анализа и синтеза действий включила:

1. Построение алгоритма задачи в форме графа Бержа на основе выделения «сенсорных», «моторных», логических действий ЧЭ со средствами контроля и управления (1–5) и объединение их в граф (6) (рисунок 4), запись которого в симметричной форме представлена формулой

$$\downarrow^1 "1" \downarrow^2 "3" \uparrow^2 "2" q \uparrow^1 \omega \downarrow^1, \quad (10)$$

где

$$q = \begin{cases} 1 - \text{изменение достигнуто, и тогда задача решена,} \\ 0 - \text{изменение не достигнуто, переход обратно к "3";} \end{cases}$$

ω – всегда тождественно ложное условие, символизирующее возвращение в исходное состояние (т.е. прекращение работы).

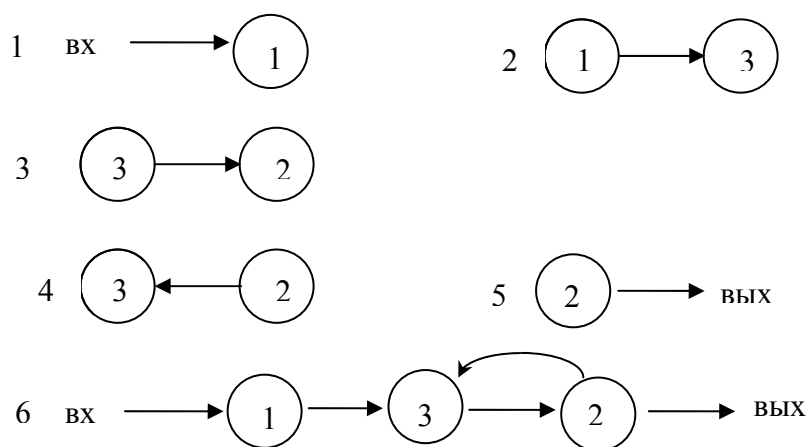


Рис.4. Построение алгоритма задачи в форме графа Бержа

1) – 5) – элементы графа, соответствующие логическим действиям; 6) – граф Берж как объединение элементов

2. Перечисления реализаций алгоритма, включающие выделение простых и сложных путей с контуром (рисунок 5).

3. Взвешивание реализаций, с оценкой вероятностей реализаций алгоритма с циклом (таблица 1).

Таблица 1

Оценки вероятностей $P(k)$ реализаций алгоритма с циклом k -ой степени (для наиболее вероятных значений k)

k	0	1	2	3	4
$P(k)$	0,38	0,26	0,17	0,11	0,08

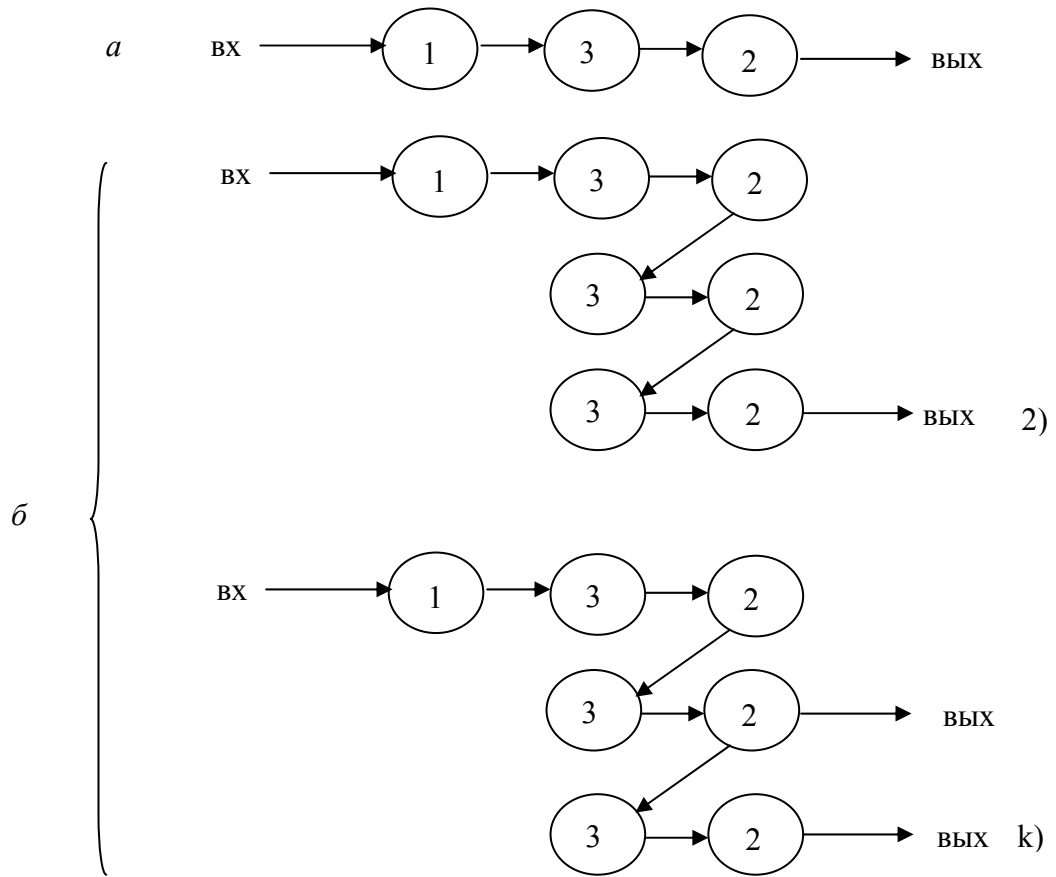


Рис. 5. Перечисление реализаций по графу на рисунке 4
a – элементарный путь; *б* – сложные пути со степенью цикла 1, 2, ..., *k*.

4. Обобщенная реализация построения вероятностного алгоритма (рисунок 6) сводится к объединению вершин графа, когда все одноименные дуги суммируются по их весам и проверяется равенство полустепенных входов и выходов в каждой вершине.

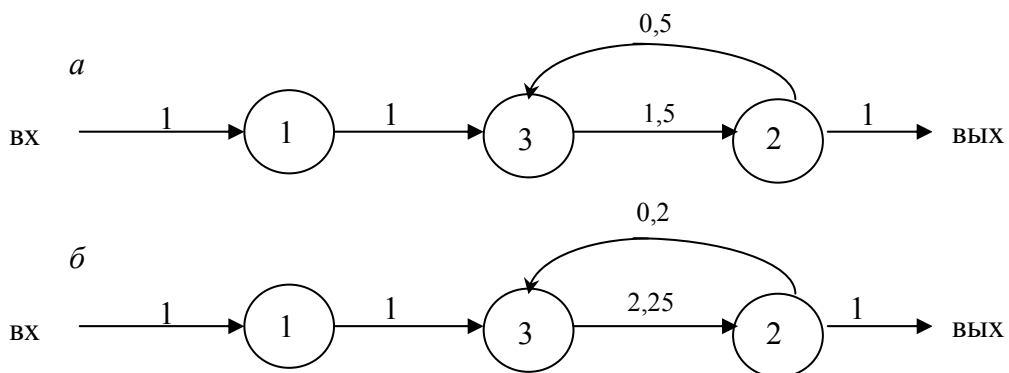


Рис.6. Варианты вероятностного алгоритма

a – при двух равновероятных и *б* – при пяти неравновероятных реализациях.

Третий этап – структурный синтез связан с построением метаструктур из отдельных структур путем операций соединения. При этом операции состоят в синтезе моделей на уровнях: режима работы, индивидуальных и коллективных действий на основе уравнения

$$S = \left(\bigcirc_{i=1}^N Q_i f_i \right) OZ, \quad (11)$$

где S – матрица соединения N структур, $i = \overline{1, N}$ – номера соответственно соединяемых структур; Q_i – матрицы; f_i – «веса», определяемые рядом условий соединения; Z – матрица переходов, представляющая собой матрицу смежности графа Кёнига, построенного для *выходов* и *входов* соединяемых структур.

В четвертой главе «Система контроля и управления безопасностью и эффективностью целенаправленных действий с учетом человеческого фактора» на основе обработки результатов проведенных исследований и анализа качества выполненного полета, охватывающих основные стороны действий экипажа при управлении полетом ВС, предложена система оценки, которая позволяет:

- определять причины массовых отклонений;
- выявлять экипажи, требующие особого внимания, и определять стереотипы их действий;
- оценивать динамику изменения основных показателей качества пилотирования за заданные периоды.

Предложена методика корректировки подготовки экипажей ВС Ан-124-100 на основе анализа результатов компьютерного контроля отдельных этапов полета путем оценки значений показателей качества полета, вычисленных на основе 4-х компонент: фактического, номинального, максимально и минимально допустимых значений контролируемых параметров.

Разработана методика и получены формулы оценки действий экипажа на наиболее ответственных этапах полета – посадке и взлете.

Для получения обобщенной оценки действий экипажа на рассматриваемом подэтапе используются частные показатели качества (ЧПК).

$$Q_{pj} = (Q_h + Q_z + Q_v + Q_{v_y}) / 4, \quad (12)$$

где Q_{pj} – обобщенная оценка на j подэтапе; Q_h – ЧПК «выход на порог взлетно-посадочной полосы (ВПП) по высоте»; Q_z – ЧПК «выход на порог ВПП по боковому отклонению»; Q_v – ЧПК «выход на порог ВПП по приборной скорости»; Q_{v_y} – ЧПК «выход на порог ВПП по вертикальной скорости». Каждый ЧПК является безразмерной величиной, изменяющейся в пределах от 0 до 1 и зависящей от номинальных, максимальных (\max) и минимальных (\min) значений по отношению к фактическому значению. Например

$$Q_h = \begin{cases} 1, & \text{при } H_{P_{\text{факт}}} \geq H_{P_{\text{ном}}} + 3 \text{ и при } H_{P_{\text{факт}}} \leq H_{P_{\text{ном}}} - 3; \\ 0, & \text{при } H_{P_{\text{факт}}} > H_{P_{\text{max}}} \text{ или } H_{P_{\text{факт}}} < H_{P_{\text{min}}}. \end{cases} \quad (13)$$

Аналогичным образом формируются ЧПК Q_z , Q_v , Q_{v_y} . Такая форма представления ЧПК проста в понимании летным составом, так как предельные значения определяющих параметров берутся из документации, регламентирующей действия экипажа, и позволяет определять обобщенные оценки как подэтапов, так и этапа в целом.

Все ЧПК имеют одинаковую важность и позволяют количественно оценить точность пилотирования.

Для анализа пилотирования на данном этапе предусмотрен контроль четырех видов взлета: нормальный взлет; взлет в условиях контроля уровня шума; прерванный взлет; продолженный взлет при отказе двигателя.

Условно этап взлета (кроме прерванного взлета) разбивается на 4 подэтапа: разбег (от выхода на ВПП до отрыва от нее); набор высоты 120м; уборка механизации с одновременным разгоном до скорости V_4 ; разгон самолета от момента окончания уборки механизации до наивыгоднейшей скорости набора высоты.

Для контроля точности управления на взлете используются следующие частные показатели:

Q_1 – «Дистанция разбега»; Q_2 – «Скорость отрыва от ВПП»; Q_3 – «Средняя скорость на участке $H = 10 - 120\text{м}$ »; Q_4 – «Средний градиент набора высоты на участке $H = 10 - 120\text{м}$ »; Q_5 – «Скорость начала уборки закрылков»; Q_6 – «Скорость конца уборки закрылков»; Q_7 – «Градиент набора высоты при $V = 450 \text{ км/ч}$ ».

Формула вычисления значений обобщенных оценок точности пилотирования на взлете имеет вид

$$Q_{\text{вз}} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7) / 7. \quad (14)$$

Кроме того, по информации контролируемых полетов выполняется поиск ситуаций, связанных с выходами значений параметров пилотирования за пределы установленных для них ограничений и допусков.

Предложены обобщенные оценки отдельных подэтапов осуществления посадки: «выпуск механизации и вход в глиссаду», «полет по глиссаде», «полет по продолженной глиссаде», приземление и пробег.

Качество выполнения каждого полета оценивается значением обобщенного показателя качества Q_p :

$$Q_p = (p + f + Q_{\text{вз}} + Q_{\text{зп}}) / 4, \quad (15)$$

где p – показатель, учитывающий факт наличия ситуаций выходов значений контролируемых сигналов за установленные для них ограничения или допуски; $p = 1$ – при отсутствии выходов за ограничения; $p = 0$ – при наличии хотя бы одного выхода; f – частота выходов за ограничения; $f = 1 / (m + 1)$, m – количество выходов; $Q_{\text{вз}}$ – обобщенный показатель качества выполнения взлета; $Q_{\text{зп}}$ – обобщенный показатель качества выполнения захода на посадку и посадки.

Внедрение разработанной методики с учетом ЧФ позволила существенно улучшить показатели управления ВС (таблица 2).

Таблица 2

Статистика нарушений правил полетов

Год	Количество отклонений и нарушений	Количество посадок на оценку «удовлетворительно»
1993	52	13
1994	28	5 в т.ч. в Найроби – грубая посадка
1995	13	Нет
1996	8	Нет
1997	10	Нет
1998	9	1
1999	8	2
2000 ÷ 2005	2 ÷ 3	1 ÷ 2

Количество проконтролированных полетов Ан-124-100 – 90-97%, Ил-76 – 90-100%, Як-40 – 60 - 65% от выполненных.

В заключительном разделе главы приведены разработанные автором программы первого и второго этапа подготовки экипажей самолета Ан-124–100 с учетом рекомендаций ИКАО по ЧФ.

В заключительной части работы представлены основные результаты и выводы, полученные в ходе диссертационных исследований.

Результаты и выводы по диссертационной работе

Научные результаты работы включают:

- анализ существующих методов оценки влияния ЧФ при управлении ВС;
- разработку формального метода представления действий ЧЭ;
- разработку метода анализа действий ЧЭ ВС;
- разработку методики синтеза индивидуальных и коллективных структур действий экипажа, как малого коллектива;
- разработку моделей индивидуальных и коллективных действий ЧЭ ВС;
- создание системы контроля и управления безопасностью и эффективностью действий экипажа с учетом ЧФ.

Научные результаты позволяют сделать следующие выводы

1. Состояние теории и практики качественной и количественной оценки ЧФ для его учета в процессах обеспечения безопасности и эффективности полетов требует разработки моделей и методов исследования целенаправленной деятельности с учетом иерархической структурности, логической и операционной сложности, пространственно-временного и вероятностного характера, ее многоплановости.

2. Для решения специфических задач, учитывающих важные свойства целенаправленной деятельности, созданы формальные средства представления такой деятельности и на ее основе разработана абстрактная модель деятельности.

3. В рамках различной интерпретации абстрактной модели предложены методики построения операционно-логических и предметно-функциональных моделей.

4. Процедура структурно-алгоритмического моделирования определила требования к методике моделирования целенаправленной деятельности, разработанной в рамках функционального подхода и включающей структурный анализ, алгоритмизацию и структурно-алгоритмический синтез.

5. На основе решения практических задач повышения качества управления ВС разработана система контроля и управления безопасностью и эффективностью деятельности экипажей с учетом ЧФ.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Сурина Э.И., Вдовина Е.А.. К вопросу о реализации программ подготовки в области человеческого фактора на предприятиях–эксплуатантах //Сб. научн. тр. по материалам межвузовской научно-методической конференции 16-17 ноября 2000 года, УВАУ ГА. – Ульяновск, 2001. – С.19–23.

2. Вдовина Е.А., Сурина Э.И. О применении стандартизированного метода исследования личности в ГА. Современные научно-технические проблемы транспорта России // Сборник материалов II международной научно-технической конференции 28-30 марта 2002 года, УВАУ ГА. – Ульяновск, 2002. – С. 3 –25с.

3. Сурина Э.И. Современные методы оценки деятельности экипажа. Программно-аппаратное обеспечение обработки и анализа полетной информации как один из факторов повышения безопасности полетов // Методы и средства технического об-

служивания, экономика и управление сложными системами /Вестник СФ МГУП – М., 2004. – Вып.3. – С.27-36.

4. Коптев А.Н., Сурина Э.И. Моделирование процесса поддержания функциональных характеристик летного состава //Методы и средства технического обслуживания, экономика и управление сложными системами./Вестник СФ МГУП – М., 2004, – Вып.3. – С.10 -15.

5. Коптев А.Н., Сурина Э.И. Математическая модель обучения эксплуатации объектов авиационной техники //Методы и средства технического обслуживания, экономика и управление сложными системами/Вестник СФ МГУП. – М., 2004.– Вып.3. – С.22-27.

6. Коптев А.Н., Сурина Э.И. Состояние теории и практики моделирования изменения взаимодействия в системе «летчик – среда» //Методы и средства технического обслуживания, экономика и управление сложными системами./Вестник СФ МГУП. – М., 2004.– Вып.3. – С.15-22.

7. Коптев А.Н., Митрюшкина Т.Н., Сурина Э.И. Некоторые вопросы количественной оценки для человеческого фактора при функционировании авиационных комплексов и их компонент //Методы и средства технического обслуживания, экономика и управление сложными системами /Вестник СФ МГУП. – М., 2004. – Вып.3. – С. 88-93.

8. Наумова Е.А., Сурина Э.И.. О применении стандартизованного метода исследования личности на авиационном предприятии-эксплуатанте. – Матер. III и IV молодежн. научн.-практ. конфер. – Ульяновск, 2004. – С.50-52.

9. Сурина Э.И., Наумова Е.А. Социально-психологические аспекты обеспечения эффективной работы предприятия в системе воздушного транспорта. – Матер. III и IV молодежн. научн.-практ. конфер. – Ульяновск, 2004. – С.47-50.

10. Коптев А.Н., Сурина Э.И.. Основы теории представлений деятельности членов экипажа и специалистов // Вестник СФ МГУП. – М., 2005. – Вып.3.– С. 5 -26.

11. Коптев А.Н., Сурина Э.И. Формализация представлений деятельности членов экипажа и специалистов // Вестник СГАУ. №1 (9), 2006. – С. 244–253.