

Теоретическое моделирование ресурсов надежности летного экипажа воздушных судов гражданской авиации

Николай И. Плотников, Акционерное общество научно-исследовательский проектный институт гражданской авиации «АвиаМенеджер», Новосибирск, Россия



Николай И.
Плотников

Резюме. Выполнена разработка теоретических моделей надежности летного экипажа гражданской авиации (ГА) на основании применения ресурсного метода проектирования организационных социальных объектов. Поставлена задача предметного описания деятельности летного экипажа. Составлены формальные модели состава экипажа. Представлены определения надежности представителей интенсивных профессий на примере экипажа ГА. Конкурентная среда открытого мирового рынка воздушных перевозок активно направлена против нормативного регулирования и стандартизации деятельности авиапредприятий и главного объекта авиации пилота и летного экипажа ГА. Авиакатастрофы последних десятилетий выявляют основные причины – дефицит профессиональных свойств пилотов и перегрузки состояний экипажей, в условиях которых совершаются полеты ГА. Данная ситуация создана не только коммерческим прессингом, но и критическим недостатком научно обоснованных методов управления летной эксплуатацией в части человеческой компоненты. В настоящей работе выполнена разработка теоретических моделей надежности летного экипажа на основании положений классической логики и ресурсного метода проектирования организационных социальных объектов транспортного комплекса (авиапредприятия). Содержание проблемы. По известной литературе до сих пор отсутствует теоретическое содержание, формальные модели, пригодные для целей вычисления и управления надежностью деятельности. Ресурсы экипажа исследуются в понятиях надежности и эффективности. Под надежностью экипажа в самом общем виде понимается совокупность надежностей членов экипажа для выполнения задачи назначения. Надежность зависит от состава специальностей и индивидуальных квалификаций членов экипажей. Эффективность является результатом трех компонент: коммуникации, решения, делегирования. Данные взаимодействия делятся на формальные и неформальные. Научное обоснование и определение параметров назначения экипажа в оцениваемых параметрах надежности и эффективности является решением задачи. Формализация задачи. Для формализации задачи предметного описания деятельности летного экипажа возможно рассмотрение экипажа как класса индивидов. В логике классов (множеств) используется классообразующий оператор K – «класс», предикат включения индивидов в класс \in – двуместный предикат, предикат включения класса в класс. Для существования класса достаточно образовать его из области значения термина t . Принципы формирования класса постулируются аксиомами: Каждый элемент класса может быть выбран независимо от образования класса – принцип независимости. Класс индивидов существует (не существует), если он образован (не образован) в соответствии с определением образования класса и аксиомами формирования. Последующее изложение задачи необходимо направлять в детализации, частных решениях для разработки моделей, пригодных для вычисления и управления летной эксплуатацией. Таким образом, разработка теоретического содержания состава и объема экипажа является актуальной задачей и возможна на основе классической логики, теории организационного управления, теории информации.

Ключевые слова: пилот, экипаж, моделирование, класс, индивид, состав, мощность класса.

Формат цитирования: Плотников Н.И. Теоретическое моделирование ресурсов надежности летного экипажа воздушных судов гражданской авиации // Надежность. 2018. Т. 18, № 2. С. 25-30. DOI: 10.21683/1729-2646-2018-18-2-25-30

Введение

Содержание проблемы. Конкурентная среда открытого мирового рынка воздушных перевозок активно направлена против нормативного регулирования и стандартизации деятельности авиапредприятий и главного объекта авиации пилота и летного экипажа воздушных судов (ВС) гражданской авиации (ГА). Авиакатастрофы последних десятилетий выявляют основные причины – дефицит профессиональных свойств пилотов и перегрузки состояний экипажей, в условиях которых совершаются полеты ГА. Данная ситуация создана не только коммерческим прессингом, но и критическим недостатком научно обоснованных методов управления летной эксплуатацией в части человеческой компоненты.

Воздушный кодекс РФ дает следующее описание экипажа: «экипаж воздушного судна состоит из летного экипажа (командира, других лиц летного состава) и кабинного экипажа (бортоператоров и бортпроводников). Полет гражданского воздушного судна не разрешается в случае, если состав летного экипажа меньше минимально установленного состава» [1]. Данное описание сформировано эмпирическим путем в течение всего исторического периода мировой авиации. В известной автору литературе до сих пор отсутствует теоретическое содержание, формальные модели, пригодные для целей вычисления и управления летной эксплуатацией ВС. Исследование возможно начать с рассмотрения проблемы идентификации предмета деятельности путем логического анализа. В работе [2] составлены формальные основы деятельности пилота ГА. Наблюдение (измерение, оценивание) в родовидовом делении свойства надежности индивида позволяет приписывать числа и осуществлять вычисление состояний. Представлены результаты вычисления состояний для целей управления летной эксплуатацией ВС: ресурсов индивидуальной надежности (РИН), ресурсов профессиональной надежности (РПН), ресурсов операционной надежности (РОН) [3].

В сравнении с результатами относительно индивида, формализация и вычисление свойств социальной группы (экипажа) являются не разработанными. В аэрокосмической индустрии с 1980-х годов разрабатывается концепция и технологии управления ресурсами экипажа (УРЭ) (cockpit resources management) (CRM) [4]. В практическом плане технологии используются как сочетание образовательных программ и тренингов по выработке навыков решений, коммуникаций и делегирования, объединяемых в понятие эффективности. Однако научные основы теории и методов вычислений CRM не созданы.

Данная формулировка является постановкой общей задачи, часть которой выполняется и структурируется следующим образом: 1) установление метода; 2) установление терминов предметного описания деятельности объектов в соответствии с положениями классической логики; 3) вывод терминов и определений; 4) формализация

задач вычислений свойств летного экипажа для целей управления летной эксплуатацией ВС.

Установление терминов описания предметной области

Логический анализ терминов предметной области предпринимается по следующим причинам. В технических науках нередко «общепринятые», «общеизвестные» понятия, определения и термины таковыми не являются, поскольку не подвергались гуманитарным и логическим исследованиям. По словам А.А. Зиновьева «... вообще невозможно судить о применимости тех или иных формальных построений в исследовании некоторой предметной области, если о ней нет никаких предварительных сведений, если она уже не изучена в какой-то мере на описательном уровне» [7, с. 7]. Именно поэтому мы считаем принципиально важным установление предметного значения исследуемых ниже терминов, применяемых в теории социальных групп и социологии.

Установим предметное значение терминов «класс», «состав», «индивид». Задача может рассматриваться в теории понятия (раздел логики) [11, 12, 13], в логике классов (множеств) [7]. Полагаем, что необходимо совместное исследование тождественных терминов в указанных теориях для установления их значений. В теории понятия каждое понятие обладает содержанием (совокупностью разнообразных признаков) и объемом (числом тождественных элементов). Установлен закон обратной зависимости родовидовых отношений: чем богаче содержание, тем меньше объем и наоборот. Понятие «индивид» обладает большим содержанием и является видовым таких понятий как «класс», «состав», обладающих большим объемом.

В логике классов [7] социальная группа рассматривается как класс индивидов. Используется классообразующий оператор K – «класс», предикат включения индивидов в класс \in – двуместный (бинарный) предикат, предикат включения индивидов в класс. Определение образования класса формулируется следующим образом.

D1. Образовать (и выбрать) некоторый класс индивидов – значит построить термин «класс индивидов из области значения t , где t есть данный термин, причем t есть субъект» [7, с. 176].

В определении образования класса запись Kt , где K – классообразующий оператор. Индивиды из области значения t суть элементы Kt . Для существования класса достаточно его образовать его из области значения термина t . Область значения термина t (пилот) – индивид, область значения (назначение) которого устанавливается способностью управлять ВС в трехмерном воздушном пространстве.

A1. Термин «индивид» (пилот) и термин «класс» (экипаж) суть термины [«индивид» · «экипаж»], то есть предмет, обозначаемый каждым из терминов, смысл которых известен.

Принципы формирования класса постулируются аксиомами:

A2. Каждый элемент класса может быть выбран независимо от образования класса – принцип независимости элементов от класса.

То есть, любой и каждый пилот может быть включен в любой класс (экипаж). В частном случае индивид тождественен классу, если экипаж состоит из одного пилота.

A3. Относительно любого индивида возможно установить, является ли он элементом данного класса или нет – принцип определенности.

Определенность устанавливается наличием образования, квалификации, опыта и допуском пилота к полетам.

D2. Класс индивидов существует (не существует), если он образован (не образован) в соответствии с определением образования класса и аксиомами формирования.

Рассмотрим важнейшие термины теории классов: мощность, состав.

D3. **Мощность класса.** «Мощность класса есть число его элементов. Экзистенциальная (возможная) мощность класса есть число существующих (возможных) индивидов, являющихся его элементами» [7, с. 187].

Из этого определения следует вывод о тождестве двух понятий логики (мощность \equiv объем): мощность – термин логики классов, объем – термин теории понятия.

D4. **Состав класса.** «Выяснить состав класса, значит выяснить, какие индивиды включаются в него. Выяснить экзистенциальный (потенциальный) состав класса – значит выяснить, какие существуют (возможны) индивиды, являющиеся его элементами» [7, с. 187].

Мы видим, что в определении с описанием «...выяснить, какие...» отсутствуют признаки (содержание) понятия «состав». Следовательно, понятие «состав» обладает большим объемом, родовым, подлежащим делению на видовые понятия.

Следует выяснить, какие компетенции, образования, квалификации членов экипажа ВС включаются в состав класса. В истории авиации известно, что наибольшие компетенции заданы и концентрированы в специальности пилота. С развитием автоматизации в современной коммерческой ГА из состава экипажа исчезли специальности штурмана, бортиженера, бортрадиста и других. Разнообразие (интенциональность) функций пилота способствует уменьшению мощности (объема) класса – числа членов экипажа. Здесь налицо действительность закона родовидовых отношений. Дополним определение «состав класса»: выяснить состав класса (экипажа) значит установить с какими признаками разнообразия содержания (интенциональность) индивиды (пилоты) включаются в класс. Итак, в логике классов ключевыми терминами являются состав и мощность класса. В теории понятия – содержание и объем понятия. Дополнительно, обратимся также к словарным определениям термина «состав».

D5. Состав – предмет (множество), включающий (включающее) в себя множество частей (элементов, компонентов), а также описание качества, количества и иных характеристик частей такого предмета (множества) [8].

D6. Совокупность частей, элементов, образующих какое-нибудь целое [9].

Из словарных описаний также следует, что термин «состав» является обобщающим абстрактным, то есть обладает большим объемом, поэтому может использоваться как родовый термин. По закону обратного отношения объема и содержания понятия, возможно сформировать следующую структуру терминов:

$$(N) \text{ состав: } C \left\{ \text{содержание (интенциональность)} \right\} 1 / V \left\{ \text{мощность, объем (число)} \right\}, \quad (1)$$

где (N) – вводимое обозначение состава (класса, экипажа), C – разнообразие признаков (интенциональность) всех и каждого из i -го индивидов класса, V – объем, мощность – число индивидов класса, (\cdot) – читается как оператор «и».

Состав класса устанавливается во времени {прошлое \leftrightarrow настоящее (сейчас, теперь) \leftrightarrow будущее} наблюдения следующих возможных бинарных антонимических отношений терминов:

существующий (экзистенциальный)	возможный (потенциальный)
постоянный	переменный
ограниченный	неограниченный
конечный	бесконечный
известный	неизвестный
определенный	неопределенный

Данные отношения и число их взаимных сочетаний создают *многоаспектный* контекст задачи:

$$(N): C(\overline{a, n}) \cdot \left\{ 1 / V \left\{ \overline{a', n'} \right\} \right\}, \quad (2)$$

где символы составляют представленные выше условные обозначения.

Существующий класс может быть задан так, что в него включаются только те индивиды, которые размещаются во времени {прошлое \leftrightarrow настоящее}. Конечный класс по числу может оказаться бесконечным по специальностям. Класс, ограниченный по специальностям может быть задан неограниченным по числу индивидов. Мы можем не ограничивать число индивидов, но в будущем {настоящее \leftrightarrow будущее} новые элементы не будут появляться. При этом следует помнить и учитывать исключения, когда закон обратного отношения $C: 1/V$ в теории понятия не работает (для несогласимых понятий). В этом состоит *чрезвычайная* сложность постановки и решения задачи, если использовать арсенал

только классической логики. Тем не менее, представленная структура задачи может являться предметом дальнейших исследований. Выявление и формализации отношений, вероятно, могут быть продолжены средствами псевдофизической логики.

Для решения задачи экспертным путем (эвристически) формируем свертку: множество сложившихся летных специальностей индивидов состава экипажа известны и конечны по мощности (содержанию, специальностям) и по объему (числу, количеству).

Данное утверждение основано эмпирически, на историческом опыте авиации о составе экипажа по специальностям и числу.

Вывод терминов и определений надежности летного экипажа ВС ГА

Для вывода определений используем выполненную терминологическую работу, с учетом изложенных ограничений и допущений. Устанавливаются следующие определения.

D7. Составом N называем класс, заданный назначением мощности и объема:

$$N : \{C \cdot I / V\}.$$

D8. Экипаж (социальная группа) – управляющий субъект транспортного средства (ТС) (crew) ($Cr \geq 1; \bar{1}, n$).

D9. Летный экипаж ВС (aircraft cockpit crew) – управляющий субъект, осуществляющий деятельность в соответствии с назначением полета ВС.

D10. Способность управлять ВС в трехмерном воздушном пространстве называется ресурсом назначения экипажа.

Сущность категории назначения легко понять в отличии перемещения в трехмерном (X, Y, Z) пространстве летательного аппарата от перемещения на плоскости (X, Z) автомобиля.

Надежностью называем совокупность свойств и состояний объекта в метрике нормативного пространства деятельности.

Надежность экипажа определяется как совокупность свойств и состояний, входящих в экипаж индивидов для выполнения назначения (полета).

Задача вычислений надежности летного экипажа

Сформируем содержание задачи вычислений надежности летного экипажа ВС ГА. Используем выше представленные термины, определения, формализации работы [10] в контексте задач настоящей работы.

D13. Вычисление надежности определяется как наблюдение (измерение, оценивание) свойств и состояний летного экипажа, выполнение стандартных операционных процедур (СОП) в заданных параметрах и показателях, соответствующих безопасному и эффективному выполнению полета ВС.

Условия ограничений: число членов (I) и специальностей (C) экипажа известно и конечно;

N_0 – существующий сформированный состав экипажа;

N – целевое состояние экипажа как результат решения задачи управления;

N' – множество вариантов установления целевого состояния, универсальное множество экипажа $N \subseteq N'$, $N_0 \subseteq N'$;

$\Phi = (N, N_0)$ – функционал, ставящий в соответствие начальное и конечное состояние – надежность управления;

$|N|$ – нормативный – установленный стандартами состав экипажа;

$|N| > |N_0|$ – увеличенный состав экипажа: двойной, усиленный, на борту есть проверяющие, стажеры;

$|N| < |N_0|$ – сокращенный состав экипажа: отсутствие штурмана, бортрадиста, других специалистов;

$|N| \neq |N_0|$ – замена состава экипажа: количественная (замена командира воздушного судна (КВС) или второго пилота) и/или специализированная (включение штурмана, имеющего допуск бортрадиста).

Задача формирования экипажа при отсутствии начального состава $N_0 = \emptyset$ имеет вид:

$$\Phi(N, \emptyset) \rightarrow \max_{N \in 2^{N'}}$$

где $N \in 2^{N'}$ – впервые сформированный состав экипажа: КВС, второй пилот.

Задача возможного изменения состава при фиксированном начальном составе N_0 имеет вид:

$$\Phi(N, N_0) \rightarrow \max_{N \in 2^{N'}}$$

где $N \in 2^{N'}$ – возможный состав экипажа; пример: КВС (замена), второй пилот; КВС, второй пилот (замена).

Задача расширенного состава экипажа при первоначальном n количестве и m дополнительных членов имеет вид:

$$\Phi(N, N_0) \rightarrow \max_{N \in 2^{N'} : N_0 \subseteq N, |N| \leq n+m}$$

где $N \in 2^{N'}$ – сформированный состав, $N_0 \subseteq N$, при $|N| \leq n+m$ – расширении состава; пример: введение в состав экипажа одного стажера и одного проверяющего.

Задача сокращенного состава экипажа при первоначальном n количестве и m сокращенных членов формулируется поиском множества $\Delta^- \subseteq 2^{N_0}$, максимизирующим надежность (при условии $\Delta^+ = \emptyset$), имеет вид:

$$\Phi(N, N_0) \rightarrow \max_{N = N_0 \setminus \Delta^-, |\Delta^-| \geq m}$$

где $N = N_0 \setminus \Delta^-$, $|\Delta^-| \geq m$ – описание условия; пример: возникшая необходимость замены КВС летным руководителем и исключением одного из специалистов (бортрадиста, штурмана, бортоператора).

Задача замены членов экипажа при первоначальном n количестве и m заменяемых членов, максимизирующим надежность, имеет вид:

$$\Phi(N, N_0) \rightarrow \max_{N=2^N, |\Delta^-| = \Delta^+ = m}$$

где $N = 2^N$, $|\Delta^-| = \Delta^+ = m$ – описание условия; пример: замена члена экипажа с большим опытом.

В данном классе задач не учитываются переменные, не включенные в вышеизложенное описание. Основным ограничением формализации является введение упрощения: N_0 – существующий сформированный состав экипажа, вместо: N_0 – существующий сформированный (экзистенциальный) количественный $\{V: 1, 2, \dots, n\}$, $v_i \in V$ и специализированный $(C: a, b, \dots, k)$, $c_i \in C$ состав экипажа, состоящий из n индивидов k специальностей, $|N_0| = n, k$.

Кроме того, не формализуются вышеизложенные бинарные (возможно, энарные) отношения терминов состава класса. В целом, допустимо утверждение о возможности формальных построений для вычислений состава летного экипажа и последующей разработки программного обеспечения автоматизированного управления.

Пример вычисления надежности пилота и летного экипажа

Приведем пример вычисления надежности пилота и летного экипажа по избранным двум показателям, которые ставятся в соответствие состояниям свойства надежности. Оценивание состояний осуществляется в шкалах наименований и порядка трехуровневой матрицы рисков: «красный-желтый-зеленый». Пример: пусть три пилота по показателю возраста 40 лет, 30 лет и 65 лет имеют налет часов 10 000, 3000 и 20 000 соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Метрика оценивания надежности пилотов: соответствие назначению

Показатели	Состояния (значения показателей)		
	Зеленый 1	Желтый 2	Красный 3
Возраст	40 лет	30 лет	65 лет
Налет	10 000 часов	3000 часов	20 000 часов
Оценка	полная	приемлемая	несоответствие

Оценивание соответствия назначению осуществляется следующим образом: 40-летний пилот по двум показателям соответствует назначению, 30-летний пилот по тем же показателям приемлемо соответствует. Показатель возраста «65 лет» называется «критическим состоянием» (КС), которое относительно просто прогнозируется и рассчитывается. Поэтому, несмотря на

«зеленый» уровень рисков другого показателя – 20 000 часов полета, общая оценка 65 летнего пилота: «несоответствие». Данный пример оценивания двух показателей является элементарной демонстрацией ресурсного метода вычислений состояний объекта в матрицах рисков. Полная структура состоит из 43 показателей и является научно обоснованным нормативным пространством деятельности [3].

Решение задачи вычисления надежности летного экипажа, состоящего из одного пилота, тождественно вычислению надежности индивида. Для оценивания надежности состава летного экипажа n -индивидов постулируется тезис о недопустимости наличия хотя бы одного показателя, хотя бы одного члена экипажа (за исключением стажеров), значение которых выходят за пределы оценки «приемлемая».

Заключение

Проблема и задача идентификации предмета индивида и социальной группы на примере объектов ГА рассматривается в понятиях назначения и надежности деятельности. Понятие «назначение» возможно рассматривать как родовое, обладающее большим объемом, который «напрямую» трудно использовать для наблюдения свойств и состояний объектов. Наблюдение возможно при делении объема понятия назначения на видовые – эффективность, безопасность, надежность – содержащих меньшие объемы, но большие содержания (признаков). Именно в этом достигается идентификация предмета деятельности.

В понятиях назначения объекты «индивид» и «группа» тождественны. В понятиях надежности – различны. В простейшем случае надежность группы является совокупностью свойств индивидов. Надежность членов экипажа ВС устанавливается на основе различия специальных знаний и навыков для управления функциональными системами ВС. Повышение надежности техники, автоматизации ведет к универсализации знаний и навыков в единой специальности пилота.

Представленные определения и модели летного экипажа ВС являются начальными формальными инструментами управления составом экипажа. Как показано, число сочетаний отношения времени и пространства составляет большой перечень актуальных задач, которые требуют формального описания.

В настоящей работе представлена терминология предмета надежности летного экипажа ВС ГА. Полагаем, что вывод терминов «надежность», «состав экипажа» наиболее соответствует положениям логики. Свойство (назначение) объекта возможно наблюдать (измерять, оценивать) в состояниях, предварительно разработанного нормативного пространства надежности.

Предметное значение термина «надежность» является статической характеристикой субъекта деятельности, которую возможно структурировать для оце-

нивания состояний и вычислений. Формализованное математическое описание эффективности составляет еще большую сложность по сравнению с изложенным содержанием задачи вычисления надежности летного экипажа ВС ГА. В документе [1] представлены математические модели эффективности – решений, коммуникаций и делегирования полномочий и обязанностей членов экипажа.

Библиографический список

1. Воздушный кодекс РФ от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. 18.07.2006 N 114-ФЗ).
2. Плотников Н.И. Ресурсы пилота. Надежность. Монография / Н.И. Плотников. – Новосибирск: ЗАО ИПЦ «АвиаМенеджер», 2013. – 264 с.
3. Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок. Промежуточный, этап № 4: «Адаптация разработанных алгоритмов и программных средств АС». – Научно-технический отчет, шифр «2010-218-02-068», № госрегистрации 01201150118 от 12.01.2011, Инв. № 194. – Ульяновск. – 2012. – 1340 с. / Н.И. Плотников – Раздел 3. Метод оценки рисков для безопасности полетов авиакомпании на основе управления и прогноза ресурсов пилота. – С. 154-238, 1048-1258.
4. Wiener E. L. Cockpit Resource Management / E. L. Wiener, B.G. Kanki, R.L Helmreich. – USA. N.Y: Academic Press, 1993. – 519 p.
5. Плотников Н.И. Ресурсы безопасности транспортных комплексов. Монография / Н.И. Плотников. – Новосибирск: ЗАО ИПЦ «АвиаМенеджер», 2013. – 286 с.

6. Плотников Н.И. Основания теории надежности человека-оператора (пилота) / Н.И. Плотников // Надежность. – 2015. – № 2 (53). – С. 90-93.

7. Зиновьев А.А. Логика науки. – М.: Мысль, 1971. – 279 с.

8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>

9. Толковый словарь русского языка / Под ред. Д.Н. Ушакова. – М.: Гос. ин-т «Сов. энцикл.»; ОГИЗ; Гос. изд-во иностр. и нац. слов., 1935-1940. (4 т.)

10. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 2-е изд / Д.А. Новиков. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.

11. Лосский Н.О. Логика / Н.О. Лосский. – Обелиск, 1923. – 168 с.

12. Гетманова А.Д. Учебник по логике. 2-е изд. / А.Д. Гетманова – М.: «ВЛАДОС», 1995. – 303 с.

13. Гончаров С.С. Введение в логику и методологию науки / С.С. Гончаров, Ю.Л. Ершов, К.Ф. Самохвалов. – М.: Интерпракс, Новосибирск: Институт математики СО РАН, 1994. – 256 с.

14. Книги автора данной публикации скачать: <http://aviam.org/index.php/layout/library>

Сведения об авторе

Николай И. Плотников, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, генеральный директор, Акционерное общество научно-исследовательский проектный институт гражданской авиации «АвиаМенеджер», Новосибирск, Россия, e-mail: ama1990@mail.ru

Поступила 07.08.2017