

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ УЧЕТА ПОЛИФАКТОРНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОЛЕТА В АВИАКОМПАНИЯХ ГОСУДАРСТВ, ВХОДЯЩИХ В ИКАО

к. т. н. Аль-Аммори Али
(НТУ, Киев, Украина)

В статье впервые в обобщенном виде рассматриваются вопросы учета полифакторности процессов полета воздушных судов. Акцентируется внимание на специфике подходов ИКАО по факторным процедурам. Показана необходимость более полного учета совокупности действующих факторов. Статья содержит исторические моменты, связанные с решением факторных задач. В качестве перспективного подхода при учете полифакторности предлагается информационно-факторный анализ процессов полета.

Проблема учета факторов в научных исследованиях всегда занимала центральное место во всех научных разработках в последние два столетия. Переход к научной аналитике факторов – действующих причин, был вызван тем, что общая структура научных исследований не упрощалась, а значительно усложнилась, вызывая порою значительные организационные трудности в постановке вопроса исследования факторных процессов.

Ярким примером является ошибочная оценка работ академика П. П. Лазарева по учету полифакторных структур, влияющих на чувствительность глаза человека. Эта работа, проводимая в 1930-1938 гг. в рамках биофизики, вызвала значительный резонанс в российской и мировой науке, привела к многочисленным дискуссиям – о научной или антинаучной природе исследования факторных процессов вообще. И только активное вмешательство академика А. Н. Крылова [1] привело к тому, что такие подходы, как факторный анализ, учет большого количества факторов были сохранены для научных работ.

А. Н. Крылов писал: «По поводу определения влияния разного рода факторов необходимо обстоятельно указывать самую методику опытов, чего не сделано также в некоторых докладах, которые мне довелось слушать, может быть, по недостатку места.

В самом деле, положим, что некоторая величина есть какая-то неизвестная функция переменных $x, y, z, t \dots$ физических и точно измеряемых и, кроме того, некоторых параметров $\alpha, \beta, \gamma, \delta \dots$, которые точно измерены быть не могут, и про которые нельзя сказать, сохраняют ли они при изменениях переменных свои значения. Таким образом, будет:

$$S = F(x, y, z, t, \dots, \alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots).$$

Когда ставится вопрос об определении влияния изменения переменной x на изменение величины S , то при достаточной малости этих изменений, математически говоря, требуется определить частную производную $\partial S / \partial t$, а для этого необходимо, чтобы не только все прочие переменные y, z, t, \dots сохраняли неизменными свои значения, но и все параметры $\alpha, \beta, \gamma, \dots$

Относительно переменных y, z, t, \dots , которые физически измеримы, это сделать легко. Относительно же параметров, которые точно измерены быть не могут, это практически невозможно, или же требуется громадное число наблюдений, при которых величина x изменялась бы систематически, а случайные изменения α, β, γ исключились бы сами собою вследствие громадного числа наблюдений» [1].

С 1964 г. до нашего времени решением задачи учета большого количества факторов (ЗУБКФ) занимались **основоположник процессного подхода Е. М. Хохлов** и его ученики в работах [2, 3, 4]. Суть предложенного решения этой задачи заключается в следующем:

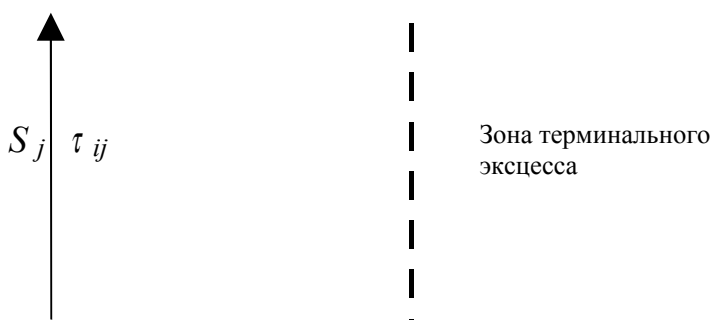
Процессы, с которыми встречаются исследователи, как правило, полифакторные и имеют сферу неопределенности, т.е. при их анализе всегда необходимо решать в частном или в общем виде ЗУБКФ.

Если речь идет о процессах в авиации, то при функционировании ВС ЗУБКФ очень часто пилоты называют «накладками» факторов - из-за эффекта одновременного действия совокупности (комплекса, множества, групп и т.д.) факторов, т.е. собственно эффекта ЗУБКФ. При этом ЗУБКФ рассматривают или как стратегию работ - учет комплекса действующих факторов (теоретический аспект задачи) или просто как факторные нагрузки или накладки, особенно при использовании множеств информационных средств (практический аспект задачи).

В настоящее время необходимость рассмотрения логического, математического и статистического решения ЗУБКФ значительно увеличилась, так как факторным процедурам и их счету стали уделять значительное внимание. Первая схема такого комплексного решения ЗУБКФ была предложена еще в 1970 г. Е. М. Хохловым [5].

Первая в мире информационно-факторная модель учета взаимодействия факторов и решения ЗУБКФ приведена на рис. 1. Из графика видно, что взаимодействие по своей природе предельно и гранично, т.е. действительно является *causa finales* (конечной причиной) событий или явлений, *causa* границ процессов. При этом энтропия процесса

$S_j = - \sum_{i=1}^n \tau_{ij} \log \sum_{i=1}^n \tau_{ij}$ достигает максимума или экстремума в зоне 4-5 взаимодействующих факторов [5].



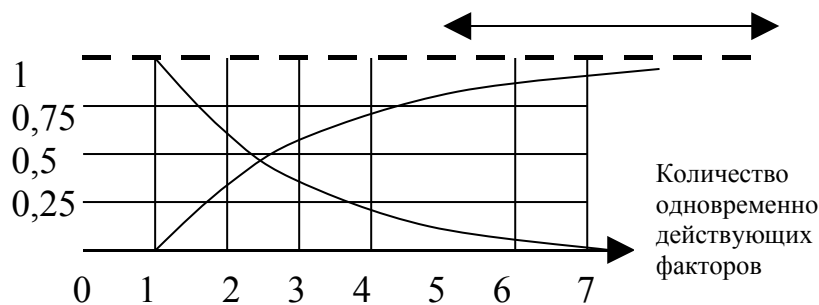


Рис. 1. Информационно-факторная модель решения ЗУБКФ («накладки факторов») при кольцевом анализе процессов

На рис. 1 видно, что при определенном количестве одновременно действующих факторов, возникает зона терминального процесса - область качественного изменения управляющих действий человека-оператора, оказавшегося на информационных пределах и в сфере качественной неопределенности.

Следует отметить также, что математическое и статистическое решение ЗУБКФ специальным кольцевым анализом позволяет по-новому объяснить действия факторных нагрузок в особо сложных процессах, таких как аварийные или катастрофические ситуации. При этом, безусловно, возникают теоретические предпосылки для качественного изменения доли человеческого фактора в экстремальных ситуациях, так становится ясной конечная причина таких событий.

При системном анализе проблема неопределенности так же, как и ЗУБКФ, считается неразрешенной, многие специалисты считают эту проблему образно «зверем», с которым они не могут справиться уже десятки лет [6]. Принципиальная неразрешимость проблемы неопределенности снижается переходом к анализу процессов и общей теории процессов, где неопределенность рассматривается как момент перехода от одной стороны процесса к другой [3].

На практике при научном анализе применения обобщенных критериев встречаются следующие основные трудности:

1. Число факторов стремится к бесконечности;
2. Факторы взаимосвязаны и не варьируются.

В такой ситуации трудно собрать информацию для принятия решений по заранее заданному критерию, то есть при подготовке решений возникают затруднения, прежде всего, чисто информационного характера. Преодоление этих трудностей возможно только с помощью решения задачи учета множества факторов, взаимосвязанных между собой (ЗУБКФ).

В связи с тем, что затруднения носят информационный характер, они могут быть описаны с использованием понятий – «поток информации» или характеристический параметр потока информации (η).

Тогда, если общий вид критерия: $E = \varphi(f_1, f_2, \dots, f_n)$, где f_1, f_2, \dots, f_n – действующие факторы, затруднения, которые встречаются на практике, описываются следующим:

1. Число факторов стремится к бесконечности или практически очень велико $\eta \rightarrow \infty$;

2. Факторы взаимодействуют: $E = \varphi_{\eta \rightarrow \infty} (f_1 \in f_2 \in \dots \in f_n)$;

3. Факторы не варьируются: $f_1, f_2, \dots, f_n - const$.

Таким образом, затруднения связаны с тем, что поток информации становится или очень велик или очень мал ($\eta \rightarrow \infty, \eta \rightarrow 0$), а отсюда, сбор данных по критерию становится невозможным.

Условия ($\eta \rightarrow \infty, \eta \rightarrow 0$) являются информационными пределами применения любой теории как системы преобразований. Это касается и теории факторной цепи ИКАО (рис. 2).

Необходимо отметить, что нужно решать задачу учета человеческого фактора (ЧФ) на всех этапах жизненного цикла (проектирование, изготовление, эксплуатация). Самое сложное - задача по учету ЧФ на стадии испытаний, которую следует рассматривать, как некоторый аспект проблемы учета ЧФ на всех этапах жизненного цикла системы (человек – машина).

Рассмотрим основные определения, которые используются при учете факторов. В существующей литературе дается определение фактора-момента или существенного обстоятельства в каком-нибудь процессе, явлении [6, 7].

Другое толкование фактора: (от латинского factor - делающий, производящий) - причина, движущая сила какого-либо процесса, явления, определяющая его характер или отдельные его черты.

Общий перечень с определениями понятия «фактор» за период с 19-го по 21 век показывает, что это определение включает в себя несколько позиций:

- фактор как момент;
- фактор как движущая сила;
- фактор как причина;
- фактор как показатель, параметр;
- фактор как явление;
- фактор как процесс внешнего воздействия.

Первый в мировой науке перечень факторов, влияющих на человека-оператора, был создан в начале 60-х годов Андреем Ивановичем Прохоровым, который тогда работал в Институте общей и педагогической психологии (г. Москва). Перечень А. И. Прохорова охватывал 1500 факторов, влияющих на человека, работающего со сложными автоматизированными комплексами. Тогда же разрабатывались кольцевые (первичные) методы и были раскрыты возможности границ применения и недостатки таких факторных перечней [5].

ИКАО к 80-м годам 20 века создало систему ADREP на подобных перечнях. К 70-м годам осуществился переход от анализа по отдельным факторным перечням к анализу перечней классификаций факторов (факторные перечни Хохлова), разработаны комплексные методы анализа ЧФ - кольцевые инженерно-психологические методы [3, 5].

Рассмотрим особенности подходов ИКАО, реализуемых с 1984 г., к учету факторов при производстве полетов. Согласно факторной процедуре ИКАО выделяются 114 факторов (рис. 2), которые создают множество действующих факторов при всех потенциально возможных происшествиях. В руководстве по предотвращению авиационных происшествий ИКАО [9] подчеркивается, что успешное предотвращение летных происшествий требует не останавливаться на ошибках личного состава, а «идти дальше в целях определения факторов, лежавших в основе действий человека». Согласно процедуре факторной цепи, на этом множестве факторов действует любая цепь (группа) факторов «длиной» в 13 факторов (в настоящее время фирма Боинг увеличила число факторов до 20), существующих на протяжении полета и приводящих к так называемой «точке неизбежности» - пределу способности пилота противодействовать факторным нагрузкам.

Предоставление докладов об инцидентах и их расследование

Расследование авиационных происшествий

Обзор и проверка мер безопасности

Другие источники информации об аварийных факторах

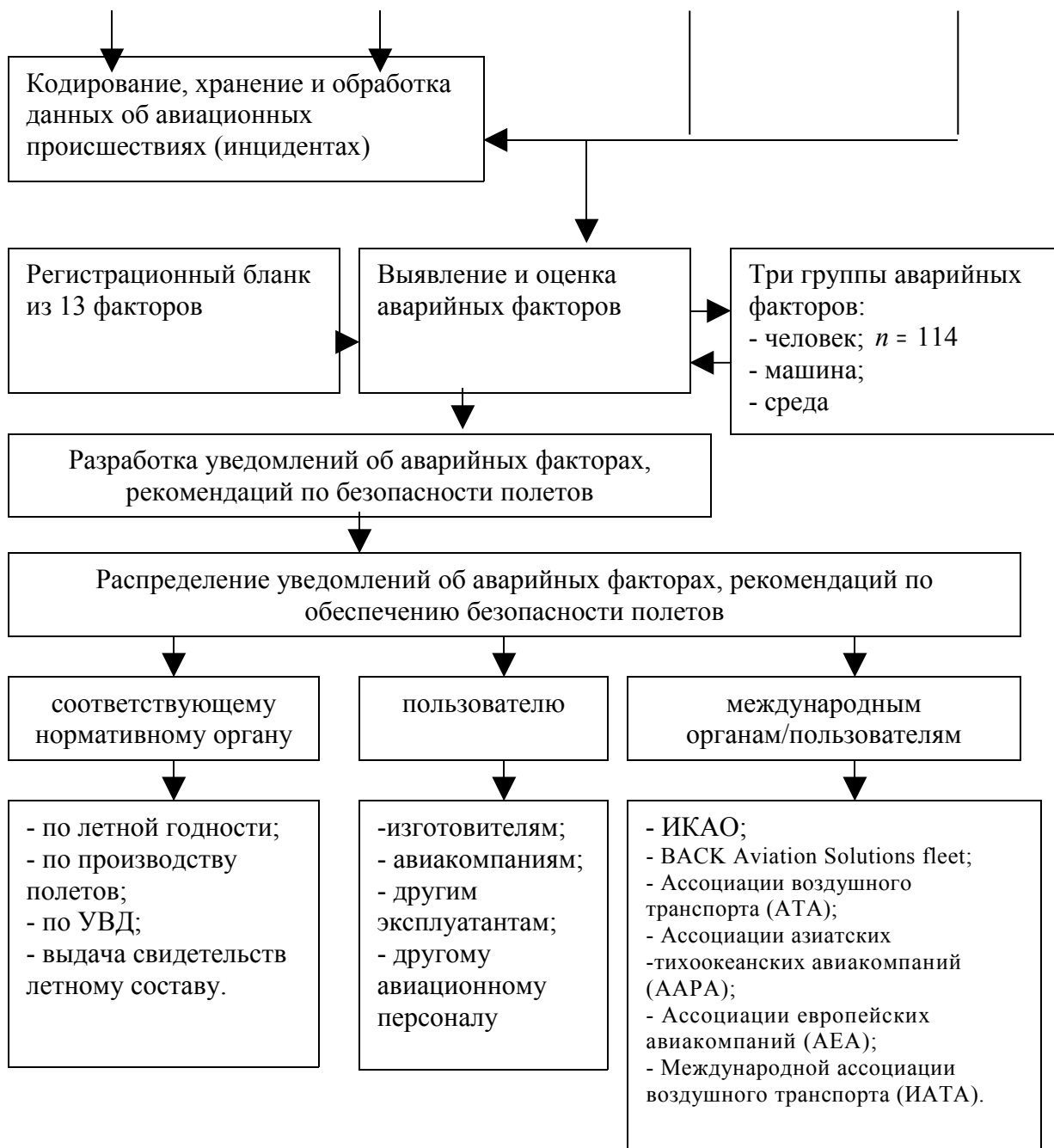


Рис. 2. Процесс предотвращения авиационных происшествий по ИКАО

В результате анализа разрабатываются уведомления об аварийных факторах, рекомендации по обеспечению безопасности полетов, которые рассылаются соответствующим организациям. Очевидно, что позиция ИКАО недостаточно активна, так как направлена на сбор и анализ статистики, а не на предотвращение авиационных происшествий (АП). Кроме того, в упомянутом выше руководстве прямо признается, что последующий прогресс авиационной техники будет сопряжен с появлением новых

аварийных факторов, а, следовательно, принципиально невозможно ликвидировать факторные нагрузки на пилотов в процессе полета.

Однако основным итогом недостаточной практической эффективности такого подхода является то, что в процессах предотвращения АП существует рост по гиперболе числа учитываемых факторов (табл.). И этого не учитывает подход ИКАО. Закономерность обнаружена на основе анализа литературных данных за последние 37 лет [4]. Таким образом, еще в 1985 – 1995 гг. стало ясно, что необходима методологическая доработка теории безопасности полетов, которая позволит сначала теоретически, а затем и практически уменьшить долю летного состава в АП и ошибки по ЧФ, а также совершить **переход от системного анализа к общей теории процессов, от теории опасности к теории безопасности**. Процессная концепция была создана Е. М. Хохловым еще в 1985-1994 гг. [10, 11].

Таблица

Рост числа факторов, учитываемых при анализе безопасности полетов

Год классификации и	1970	1977	1980	1982	1985	ИКАО – ADREP 1985	1987 АСУ - «Безопасность»	2000	2007
Число факторов	12	17	18	24	63	1700	1800	Свыше 1800	около 2000

Центральная категория системного подхода – понятие «система», общей теории процессов – «процесс». Процессная концепция безопасности полетов учитывает теорию противодействия неожиданным раздражителям И. М. Сеченова [12] и обеспечивает анализ «факторных накладок» (взаимодействия факторов) в процессах предотвращения АП.

Таким образом, под **процессной концепцией безопасности полетов** понимается логико-статистическая научная концепция активации ЧФ, основанная на процессной методологии и общей теории процессов и направленная на защиту пилотов от «факторных накладок», организацию противодействия им в структуре антистрессовой подготовки с целью снятия критического уровня безопасности полетов по ЧФ.

При этом учитывается факторная природа процесса полета, и производится разделение процесса полета на ряд временных зон, в которых задача организации противодействия различна. При этом решаются следующие задачи безопасности полетов с учетом ЧФ:

- уменьшение доли аварий по «вине» ЧФ;
- организация антистрессовой подготовки пилотов;
- переход от системного подхода к процессному подходу и общей теории процессов и т.д.

Рассмотрим с помощью процессного подхода общую классификацию процесса полета как «положительных и отрицательных процессов» к решению этих проблем (рис. 3).

Существующая теория безопасности полетов, основанная на системной методологии, как показал процессный анализ, учитывает только

отрицательные полеты и разрабатывает классификации только по отрицательным явлениям (авиапроисшествиям, аварийным факторам, показателям опасности и т.д.). Классификация отрицательных полетов, в сущности, составляет 2% от общей статистики процессов полета.

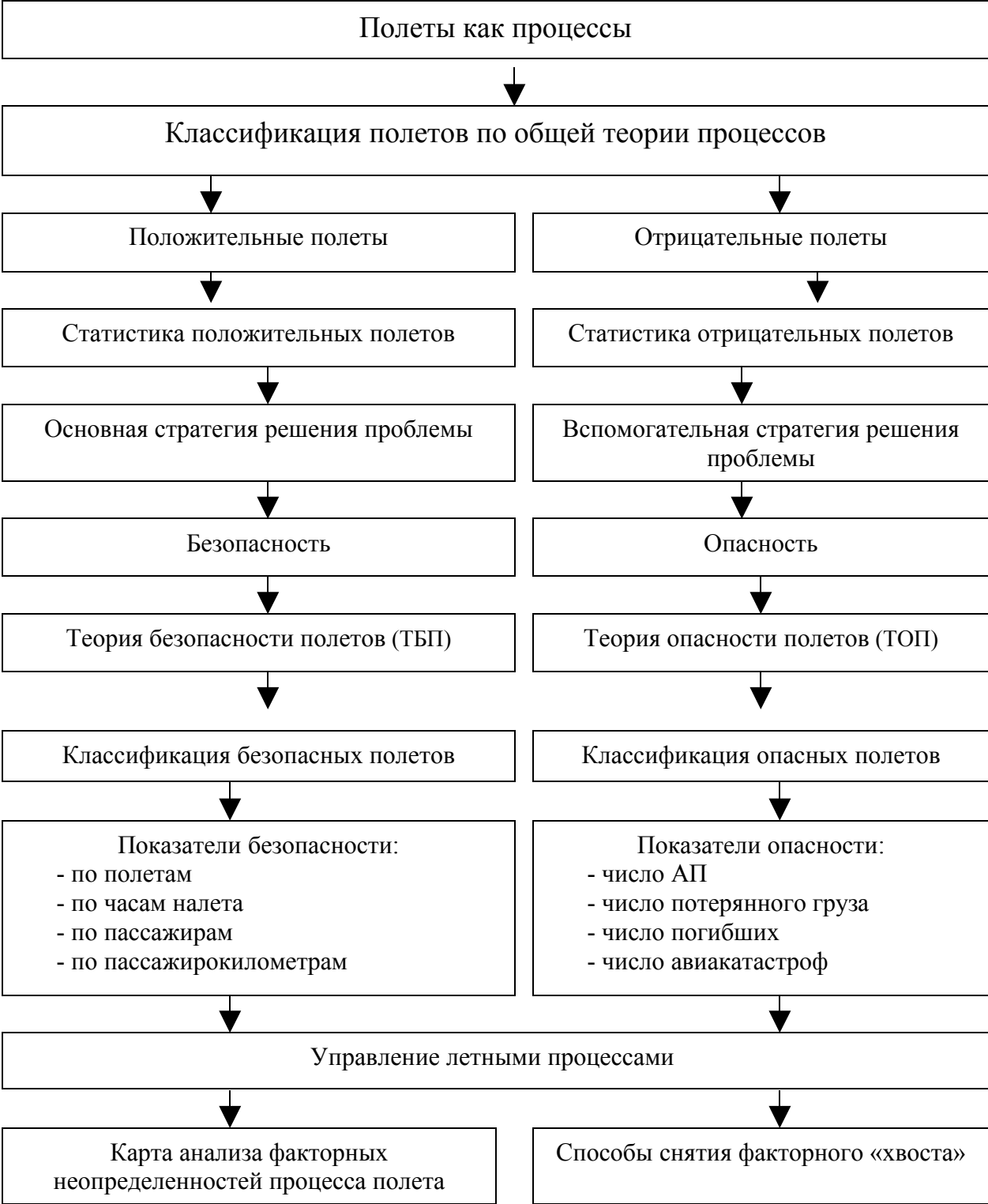


Рис. 3. Процессный анализ, проблемы безопасности полетов [3].

При этом управление безопасностью полетов сводится, в сущности, к управлению опасностью. Миллионные средства (создание многоуровневых полифакторных АСУ, организационных структур, проведение научных работ и т.д.) расходуются только на обработку отрицательных полетов, включенных в результаты полетов (замечания, отклонения, нарушения, инциденты, серьезные инциденты, АП без гибели людей, или катастрофы). Уровень такой статистики самый малый - в общем количестве полетов они обычно составляют тысячные доли процентов. По такой статистике и проводится вся рекомендательно-профилактическая работа по управлению, которую образно можно назвать работой «по хвостам» - случилась катастрофа, авария - принимай меры.

С точки зрения процессного подхода и процессного анализа, нужно обработать всю статистику полетов, разделив на статистику положительных полетов (полетов без замечаний) и статистику отрицательных полетов (полетов с замечаниями, отклонениями, ..., катастрофы). Таким образом, производится исследование вопросов безопасных полетов по общей теории процессов.

К сожалению, анализ состояния практики и теории показал, что фактически управление положительными полетами в целях безопасности выпало из сферы системного управления безопасностью. Появилась необходимость разработки классификации положительных полетов для управления безопасностью. При этом основная статистика – полеты без замечаний авиаспециалистов.

Классификация положительных полетов (в сущности, положительных процессов, т. к. аналогичное положение с теорией безопасности и в других областях, например, в атомной энергетике, горной промышленности и т.д.) позволила производить управление безопасностью не апостериорно, а априори, т.е. до совершения отрицательных явлений.

Процессная классификация разделяет положительные полеты по уровню неопределенности на факторно-безопасные (ФБ), относительно факторно-безопасные (ОФБ) и предельно факторно-неопределенные (ПФН).

Разделение нормальных полетов (полетов без замечаний) на три категории и выделение категории неопределенных полетов прогнозирует и моделирует процесс развития любой аварийной или катастрофической ситуации до того, как она возникла. Нельзя ни отметить, что любая авиакатастрофа - это предельно неопределенный полет по своим этапам, фазам, моментам и обычно она возникает из определенно нормального полета («обычного пилотирования», термин НПП-85).

Нормальный полет может содержать «в зародыше» катастрофу в виде факторных неопределенностей, т.е. неопределенных изменений параметров, этапов полета. Например, факторные неопределенности разворотов нормального полета состоят в изменении формы разворота при входе и выходе из разворота, при входе в наличии колебаний с возрастающей амплитудой на вершине разворота, в неопределенной длительности разворота и т.д.

Нормальные факторно-неопределенные полеты - это источник будущих катастроф и аварий, именно они при увеличении числа факторов, воздействующих на экипажи, переходят в аварии и катастрофы.

Поэтому, пилоты должны знать о потенциально опасных, но пока нормальных полетах, и тогда смогут своевременно учесть их и принять меры для недопущения аварийных и катастрофических ситуаций в полетах.

Более перспективный метод анализа с использованием энтропии информационно-факторного анализа (ИФА) [7, 8] можно предоставить следующим образом:

Информационно-факторный анализ

$$S_{i \text{ уфа}} = - \sum_{i=1}^n p_i \log \sum_{i=1}^n p_i,$$

где p_i - функция отклика факторного анализа, а не просто вероятность, т.е.

$p_i = - \sum_{i=1}^n (x_i + z_i)$, x_i - основные факторы, z_i - дополнительные факторы. Тогда:

$$S_{i \text{ уфа}} = - \sum_{i=1}^n (x_i + z_i) \log \sum_{i=1}^n (x_i + z_i).$$

Эта формула является основой для создания общей теории учета полифакторности процесса полета с позиции процессного подхода.

Информационно-факторный анализ – это логико-математический метод, в котором учитывается не только «весовая» значимость факторов, но и их информационная природа. Этот метод, основанный на процессном анализе и подходе, общей теории процессов, учитывает процессные свойства и динамику поведения объектов при учете взаимодействий факторов (полифакторности) на процесс полета.

Выводы

1. Основные материалы по нормативно-технической документации типа (НПП, ЕНЛГ, ФАП в Российской Федерации, ВСAR – British Civil Airworthiness Requirements в Великобритании, FAR – Federal Aviation Requirements в США, TSS – Concorde, JAR- Joint Aviation Requirements в западноевропейских странах) по эксплуатации ВС и систем не содержат перечней факторов, влияющих на безопасность полетов и анализа факторной структуры полетов.

2. В подходах ИКАО отработаны факторные процедуры только в циркулярах и руководстве по безопасности полетов и человеческому фактору, процедурах ADREP, Руководстве по управлению безопасности полетов (РУБП) -2006. Этого недостаточно для полного учета природы и механизмов всех действующих факторов в полетах. Нужны специальные документы по полифакторным полетам.

3. Решение задачи учета множества действующих факторов в процессах полета носит комплексный характер, и должно решаться на основе процессного подхода, общей теории процессов, процессного анализа и методов информационно-факторного анализа (ИФА).

4. Процессный подход к безопасности полетов является перспективным подходом для решения проблем безопасности полетов и ЧФ для мирового авиасообщества, и его внедрение в авиакомпании мира обеспечивает качественное изменение и снятие отрицательных тенденций по учету ЧФ, которые пока существуют в практике производства полетов.

5. Информационно-факторный анализ как новый процессный подход, создает перспективы более глубокого анализа полифакторности на процесс полета при опасных полетных ситуациях и решения задач обеспечения надежности, отказоустойчивости и безопасности полетов.

6. Информационно-факторный анализ создает новую информационную технологию при принятии решения в процессе полета.

Литература

1. Крылов А. Н. Мои воспоминания. - Л.: Судостроение, 1984. - 480 с.
2. Хохлов Е. М. Решение задачи учета большого количества взаимодействующих факторов кольцевым анализом при противодействии авиаспециалистов факторным нагрузкам // Эргономические проблемы профессионального отбора подготовки и адаптации на производстве авиационных специалистов. - Киев: КИИГА. - 1985. - С. 80 - 90.
3. Хохлов Е. М., Аль-Аммори Али. Авторский процессный подход (авторский взгляд на первое десятилетие внедрения процессного подхода в глобальном масштабе 1995-2005 г.г.) – Киев, 2006. – 174 с. (авторское свидетельство № 16117).
4. Хохлов Е. М. Явление гиперболических факторных переходов в процессах предотвращения авиационных происшествий и в других биопроизводственных процессах // Системы безопасности труда в технологических процессах гражданской авиации. - Киев: КИИГА, 1988. - С. 85 - 91.
5. Прохоров А. И., Смирнов Б. А, Хохлов Е. М, Митин А. У. и др. Инженерно-психологическое проектирование АСУ / – К.: Будівельник, 1973.
6. Оптнер С. А. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. - М.: Сов. радио, 1976.
7. Аль-Аммори Али. Информационно-факторный анализ как стратегический принцип борьбы с пожарами силовой установки ВС // Проблемы безопасности полетов. – Москва.: ВИНТИ. - 1997.- № 4. – С. 21-31.
8. Аль-Аммори Али. Информационно-факторный анализ возникновения первых моментов опасных полетных ситуаций по данным перспективных бортовых сигнализаторов // Проблемы безопасности полетов. - Москва: ВИНТИ. - 2006. - № 9. - С. 39 - 50.
9. Руководство по предотвращению аварийных происшествий (ДОС. 9422 - А/923), ИКАО, 1984. - 138 с.

10. *Хохлов Е. М.* Процессная концепция безопасности полетов // ВИНТИ, Проблемы безопасности полетов. - Москва. - 1999. - № 1. – С. 9 - 23.

11. *Хохлов Е. М., Бурыгин Н. А.* Процессный анализ: Приоритетные идеи в области управления. – К.: Либра - НМЦПА, 1993, 104 с.

12. *Сеченов И. М.* Рефлексы головного мозга. – М.: НАУКА, 1965.