

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПЕРЕХОДА ОТ СИСТЕМНОЙ К ПРОЦЕССНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

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

Приводится аналитика перехода от системной эффективности информационно-управляющих систем воздушных судов к процессной. Введены новые понятия: «информационно-факторная» и «процессная» эффективность. Показаны основные подходы - вероятностные, информационные, информационно-факторные и их роль при построении систем показателей процессной эффективности. Намечены пути перехода от системной к процессной эффективности для обеспечения надежности, безопасности и эффективности процессов функционирования информационно-управляющих систем и воздушных судов в целом.

В теории и практике эксплуатации информационно-управляющих систем (ИУС) и воздушных судов (ВС) в целом, значение имеют такие свойства как надежность, безопасность и эффективность [1]. Важными факторами управления процессом развития являются эффективность (процессная, системная, целевая) и обеспечение летно-технических и эксплуатационно-технических характеристик авиационного оборудования (АО). Эффективность с позиции системной методологии - свойство объекта, определяющее степень его пригодности к непосредственному применению по назначению.

Взаимосвязь параметров сложной системы не всегда ясна и определена, поэтому для оценки эффективности функциональных систем (ФС) используется ряд показателей, причем для разных этапов жизненного цикла (ЖЦ) их весомость различна. К таким показателям можно отнести: C - сложности системы, Q - качества (точность, достоверность, быстродействие, колебательность и др.), t_s - отказоустойчивости, t_{sh} - отказобезопасности, I - помехозащищенности, A - адаптивности системы к условиям эксплуатации, M - эргономичности, R - надежности, P - безопасности, G - живучести и др.

Таким образом, в общем случае эффективность ФС имеет вид полкомпонентного функционала типа [2]:

$$E_{\text{ФС}} = E(C, Q, t_s, t_{sh}, I, A, M, R, P, G).$$

Однако вычислить такой обобщенный показатель, как правило, не удается. Поэтому в системной теории эффективности возникает проблема критериев [3, 4].

Показатели эффективности авиационных ФС взаимно коррелированы, неоднозначно связаны между собой и зависят от условий полета (нормальный, факторный). В задачах повышения безопасности полетов и эффективности эксплуатации они могут быть сведены к показателям надежности системы оператор - машина - среда. Применительно к функционированию конечного звена «экипаж - ВС», непосредственно влияющего на безопасность полетов, используют такие показатели, как безотказность и отказобезопасность, для ожидаемых условий нормального полета и живучести для экстремальных условий эксплуатации.

Обеспечение требуемого уровня безопасности полета при отказах авиационной техники (АТ) осуществляется за счет повышения надежности работы, вероятности парирования последствий ее отказов. За критерий эффективности мер по повышению надежности АТ обычно принимают соотношение: $K_{on} = Q_2 / Q_1$, где Q_1, Q_2 - соответственно уровни риска до и после совершенствования АТ и качества функционирования «экипаж - ВС».

Общая теория эффективности при рассмотрении ее с позиции системной методологии изучает эффективность (результативность) действия системных объектов (больших систем, организаций, поведение, динамику групп, автоматов, сетей систем массового обслуживания и т.д.), поэтому объем понятия «системной эффективности» является весьма широким и распространяется на все системные объекты. Понятие «системной эффективности» охватывает все моменты, которые касаются результативности больших, средних и малых систем.

Понятие «системной эффективности» основывается на таких основных предполагаемых теориях и научных дисциплинах как общая теория систем, кибернетика, системотехника, теории алгоритмов, игр, массового обслуживания и т.д.

Наш взгляд исследование эффективности информационно-управляющих систем ВС состоит в рассмотрении двух направлений – системного и процессного как это показано на рис. 1.



Рис. 1. Типы эффективности информационно-управляющих систем при оценке на стадии эксплуатации

Процессная эффективность - количественное или качественное приращение результативности $\Delta \mathcal{E}$ функционирования системы на ЖЦ производственных машин с учетом цикличности. Это понятие основывается на процессном подходе и процессном анализе и общей теории процессов.

При процессном подходе [5] необходимо рассматривать процесс эксплуатации авионики самолетов нового поколения (СНП) с учетом нормальной и факторной эксплуатации (рис. 2).



Рис. 2. Эффективность эксплуатации авионики СНП

В таком понимании эффективность является общим понятием для всех системных и процессных теорий, потому что любая система или процесс выполняют определенную задачу, функционируют целенаправленно и результаты их действий, т.е. эффекты, являются общим моментом для системного и процессного подходов. В теории эффективности различаются показатели и критерии эффективности [6].

При системном подходе говорят о системных свойствах - эффективности, при процессном подходе - об эффективных (положительных) или неэффективных (отрицательных) процессах.

Показатель эффективности - это обычно какая-то математическая мера - функция, обобщенная функция, случайная функция или вероятностная мера, которая записывается символической или математической, как принято, например, в математическом анализе формулой.

Критерий эффективности - это обычно в численном виде заданный уровень. Например, если эффективность - вероятность выполнения задачи - P (интервал $0 - 1$), то критерий эффективности - это тоже P , но уже в пределах, например, от $0,8$ до 1 . Это необходимо учитывать при определении критериев и показателей эффективности. Другими словами, критерий эффективности - это тоже показатель эффективности, но уже в нужных пределах для положительного эффекта работы системы.

Под системной эффективностью ИУС понимается результативность действия полиэргатической системы «экипаж – ИУС» по распознаванию ситуации. Так как ИУС являются сложными системами, то при оценке их эффективности можно использовать следующие подходы (Рис. 3) [5, 6, 7, 8, 9, 10].

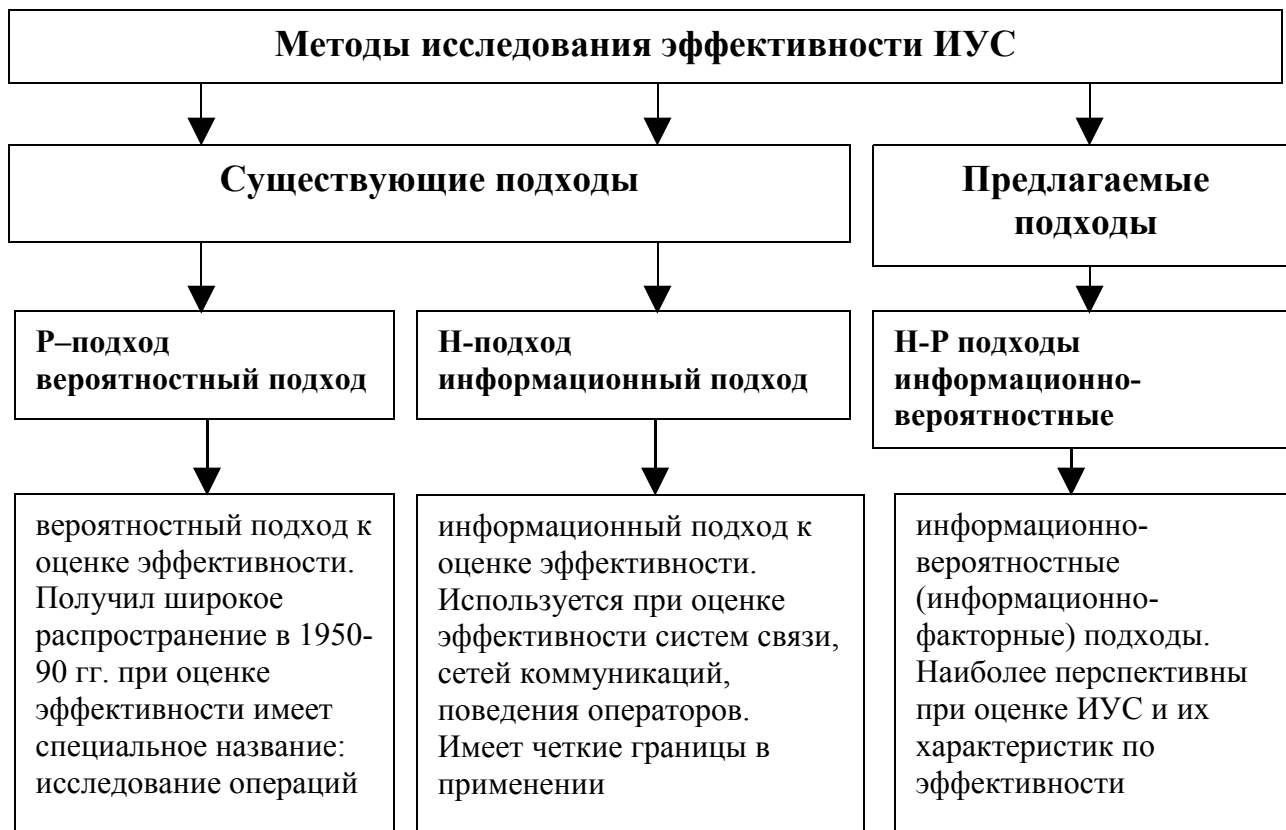


Рис. 3. Общая классификация подходов оценки эффективности ИУС

При оценке системной эффективности получил наибольшее распространение вероятностный подход (Р-подход). Классификация

показателей и критериев при вероятностном подходе показана на рис. 4. При вероятностном подходе и оценке эффективности применяются три типа показателей:

- вероятностные меры - это обычно формулы вероятностей простых и сложных случайных событий, случайных процессов, а также формулы законов распределения случайных величин.

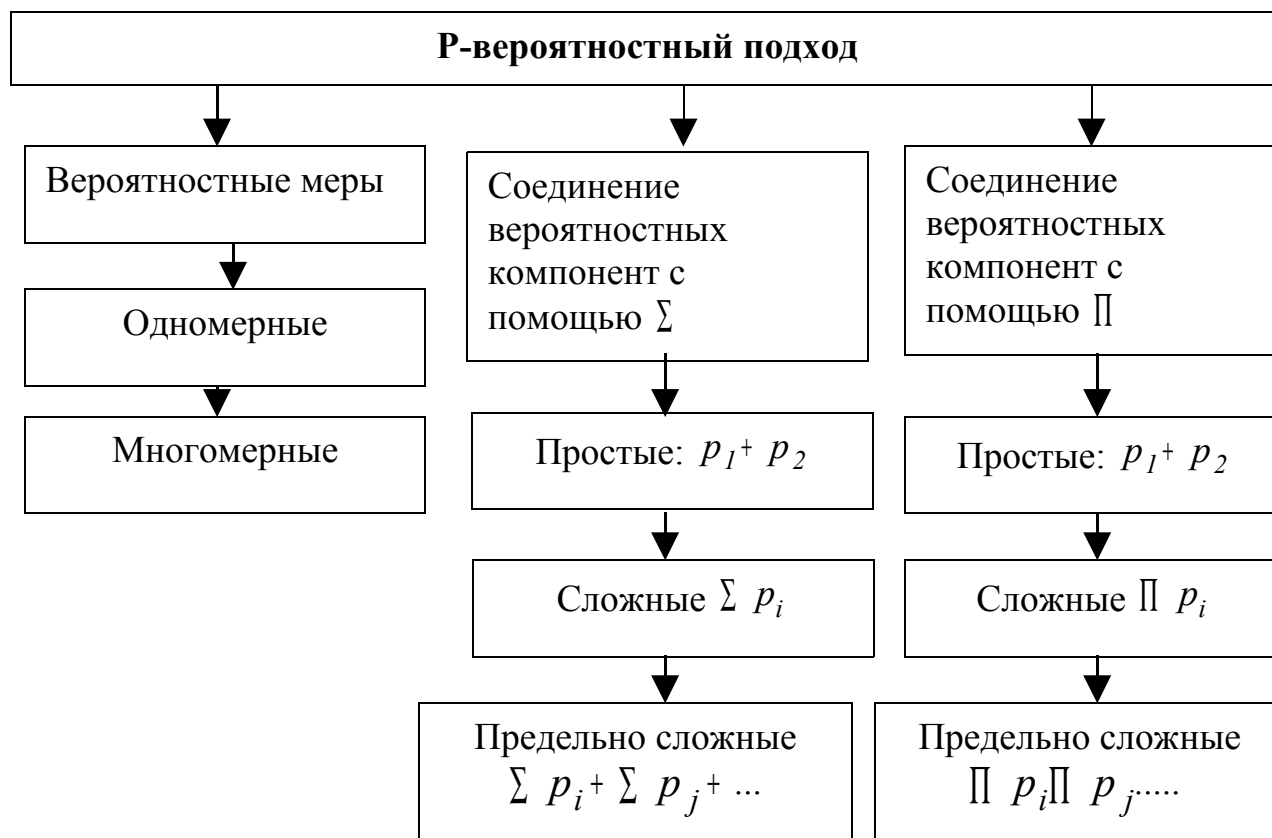


Рис. 4. Классификация показателей и критериев эффективности при вероятностном подходе

Отсюда, такие показатели могут быть дискретными или непрерывными по виду закона распределения [10]. Преимуществом статистических и вероятностных подходов является возможность представления модели взаимосвязи в форме статистического или вероятностного закона. Это обеспечивается экспоненциальной связью, которая характерна для всех законов распределения, как непрерывных (нормального гауссовского, Вейбулла, экспоненциального, логарифмически-нормального и т.д.), так и дискретных (биномиального, Пуассона, Поля и т.д.) [10].

Анализируя законы вероятностных распределений можно сделать вывод, что экспоненциальная связь внутри вероятностных законов, в сущности, является универсальной связью, которая фактически справедлива для всех законов. Из этого следует, что переход от Р-подхода оценки эффективности к Н и Н-Р подходам принципиально возможен из-за абсолютного соответствия каждого закона распределения его собственной энтропии [7, 8, 9].

Информационный подход (Н-подход) можно представить следующим образом (Рис. 5), где в основе этого метода выступает энтропия как мера неопределенности сообщения или состояния системы.



Рис. 5. Классификация показателей и критериев эффективности при информационном подходе

Однако в теории эффективности и надежности обычно пока ограничиваются не энтропией, а вероятностной характеристикой эффективности.

Кроме вероятностных классических мер при оценке эффективности могут быть использованы аддитивные (в виде суммы Σ) или мультипликативные (в виде произведения Π) соединения вероятностных компонент ($0 \div 1$).

Основные виды таких критериев и показателей по данным литературы [1, 3, 6] показаны на рис. 6.

Проведем анализ областей применения критериев эффективности $\sum p_i$ и $\prod p_i$. Из рис. 6. видно, что критерии $\sum p_i$ можно применить при оценке сложных систем (число компонент в системе не менее 5 - 20) именно тогда, когда речь идет об эффективных системах с большим эффектом аддитивности.

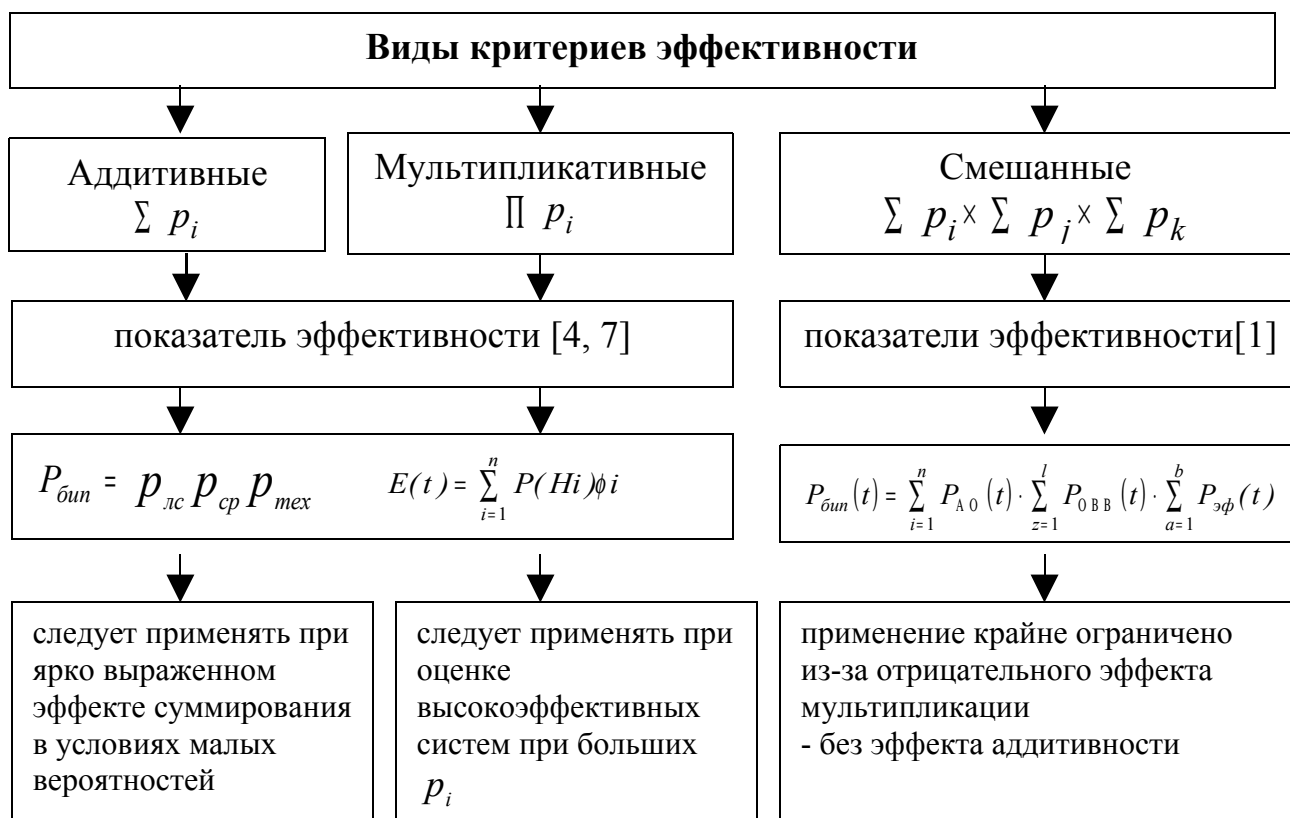


Рис. 6. Общие виды показателей эффективности ИУС при решении проблемы безопасности и распознавания опасных полетных ситуаций

Малоэффективные ИУС при оценке опасных режимов нам просто не нужны, так как нас интересует область высокоэффективных систем, где вероятность выполнения системой своих функций значительно больше уровня 0,9. Поэтому наиболее перспективными являются мультипликативные автоматы распознавания с высокоэффективными компонентами (субблоками). Однако надо учитывать, что человек-оператор воспринимает информацию последовательно (аддитивно), поэтому его можно использовать при распознавании в условиях маловероятности. Для получения высокой эффективности системы в целом можно использовать аддитивные формулы, но

только в условиях строгого соблюдения принципа последовательности информационных потоков. При гипотезе, что человек-оператор представляет собой анализатор и способен действовать только аддитивно-мультипликативно, целесообразно применять критерии, как показано в работе [1].

Как правило, системные критерии теряют свою математическую область применения и становятся не математическими формулами с конкретной областью применения, а логическими символами. Поэтому их применение на практике как мер весьма затруднено. Кроме того, при малых значениях вероятностных составляющих в смешанных критериях наблюдается эффект снижения общей эффективности.

Границы применения аддитивных (в виде Σ) критериев эффективности зависят от числа вероятностных компонент и их значений.

При числе вероятностных компонент более 10, формулы Σp_i можно применить при малом значении компонент.

Эффект снижения общей эффективности системы при маловероятных составляющих в показателе вероятности благополучного исхода полета за счет мультипликативности [1] определяется выражением:

$$P_{\text{бun}}(t) = \sum_{i=1}^n P_{A0}(t) \cdot \sum_{z=1}^l P_{0\text{ВВ}}(t) \cdot \sum_{a=1}^b P_{\text{эф}}(t).$$

Таблица

Эффект снижения эффективности при маловероятных составляющих

P_{A0}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	...	0,9	0,95
$P_{0\text{ВВ}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	...	0,9	0,95
$P_{\text{эф}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	...	0,9	0,95
$P_{\text{бun}}$	0,001	0,008			0,125	...	0,72	0,857

Из таблицы видно, что в условиях маловероятностных компонент смешанные формулы эффективны только тогда, когда с помощью эффекта аддитивности достигнута высокая вероятность в компонентах ($P_{A0} > 0,9$; $P_{0\text{ВВ}} > 0,9$; $P_{\text{эф}} > 0,9$), а если этого нет ($P_{A0} < 0,2$; $P_{0\text{ВВ}} < 0,2$; $P_{\text{эф}} < 0,2$), то нет смысла

применять эти критерии, т.к. эффект мультипликации уменьшит общую эффективность системы.

Аддитивный критерий эффективности следует применять, когда эффект суммирования (аддитивности) сказывается на общей эффективности системы:

$$p_3 = \sum p_i \geq 0,95 \div 0,99.$$

На основании этих выводов можно предложить комплексный критерий показателя эффективности как обобщающего критерия двух анализов: теории вероятности и теории информации, где одновременно можно учесть как вероятностные показатели системы (вероятность благополучного исхода и др.), так и информационные показатели (особые полетные ситуации) (рис. 7).

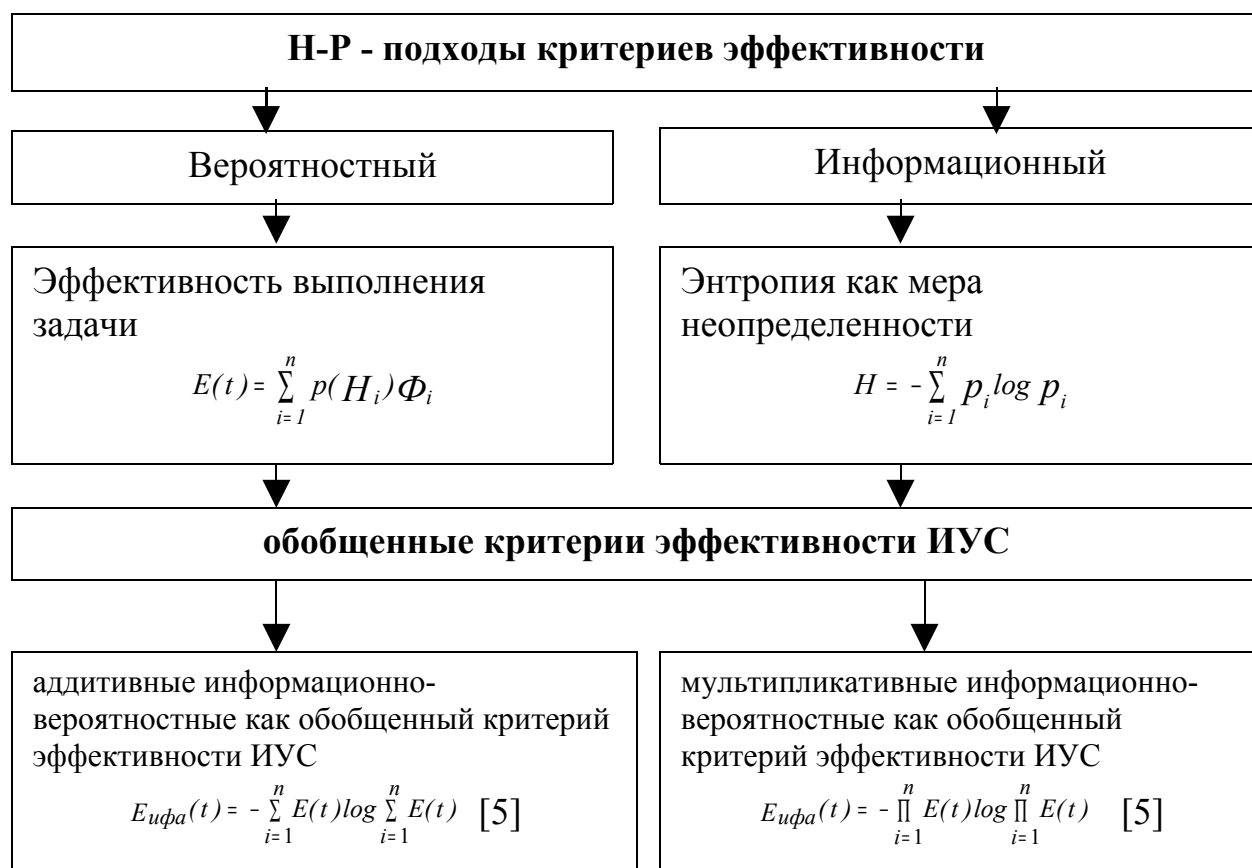


Рис. 7. Обобщенные критерии эффективности ИУС

Как видно из рис. 7, процессный подход основан на новых понятиях энтропии процесса в рамках общей теории процессов [5].

Если рассматривать вопрос эффективности с точки зрения методологии жизненного цикла - (проектирования, производства и эксплуатации), то необходимо раскрыть ее комплексную эффективность на всех этапах ЖЦ, тогда эффективность можно представить следующим образом:

$$E_{жц}(t) = E_{пр}(t) \wedge E_{из}(t) \wedge E_{эксн}(t),$$

где $E_{жц}(t)$ - эффективность на всех этапах ЖЦ;

$E_{пр}(t), E_{из}(t), E_{эксн}(t)$ - эффективность при проектировании, производстве и эксплуатации, соответственно.

Более перспективен метод анализа с использованием энтропии информационно-факторного анализа (ИФА) [8, 9]. Его можно представить следующим образом:

$$E_{ифа}(t) = - \sum_{i=1}^n E_{жц}(t) \log \sum_{i=1}^n E_{жц}(t),$$

где $E_{ифа}(t)$ - энтропии ИФА;

$E_{жц}(t)$ - эффективность на всех этапах ЖЦ.

Эта формула является основой для создания общей теории эффективности с позиции процессного подхода. При этом главным становится не сам критерий эффективности как таковой, а учет изменения приращения - $\Delta \Theta$ эффективности процессов функционирования ИУС, которые можно выразить с помощью ИФА следующим образом:

$$\Delta E_{ифа}(t) = - \sum_{i=1}^n \Delta E_{проц}(t) \log \sum_{i=1}^n \Delta E_{проц}(t),$$

где $\Delta E_{ифа}(t)$ - информационно-факторная эффективность;

$\Delta E_{проц}$ - эффективность взаимодействующих процессов.

На основе этого анализа можно предложить новое определение приращения эффективности. **Информационно-факторная эффективность** - это один из видов процессной эффективности, основанной на энтропии ИФА, одновременно учитывающий степень информирования и перечень факторов, нужных для процесса принятия решения. Таким образом происходит учет

факторной структуры и информации для принятия решения. Чем больше информации о факторах, тем лучше для принятия решения.

Рассмотрим пути обеспечения отказобезопасности и отказоустойчивости.

Обеспечение отказобезопасности на ЖЦ включает в себя следующее:

- повышение профессионального мастерства летного состава и инженерно-авиационной службы (ИАС);
- уничтожение ошибок летного состава, управления воздушным движением (УВД), ИАС при техническом обслуживании и ремонте (ТО и Р);
- качественное изменение характеристик функциональных систем (ФС) и ВС на ЖЦ;
- совершенствование и развитие структур и методов бортовых и наземных систем автоматизированного контроля, диагностики и прогнозирования;
- снятие сенсомоторных нагрузок экипажей современных ВС нового поколения, что вызвано внедрением различных видов компьютерной техники в составе ФС ВС;
- внедрение антистрессовой подготовки ЛС для полетов на ВС нового поколения, включающей в себя знания компьютерной техники и информационных основ, а также летных аналитических технологий.

Обеспечение отказоустойчивости систем и комплексов АО может быть достигнуто тремя направлениями: резервированием систем, планированием и применением стратегий ТО и Р по состоянию и разработкой и внедрением надежного программного обеспечения на основе новых процессных методов. При этом комплексным показателем уровня безопасности полетов может считаться энтропия (ИФА) вероятности благополучного исхода полета [8, 9]:

$$E_{ифа}(t) = - \sum_{i=1}^n p_{\text{оин}}(t) \log \sum_{i=1}^n p_{\text{оин}}(t),$$
$$P_{\text{оин}}(t) = \sum_{i=1}^n P_{\text{АО}}(t) \cdot \sum_{z=1}^l P_{\text{ОВВ}}(t) \cdot \sum_{a=1}^b P_{\text{эф}}(t) \cdot \sum_{k=1}^c P_{\text{ывд}}(t) \cdot \sum_{m=1}^q P_{\text{пожар}}(t) \dots, ,$$

где $P_{\text{АО}}(t)$ - вероятность отказоустойчивой и безотказной работы авиатехники при эксплуатации в ожидаемых условиях;

$P_{ОВВ}(t)$ - вероятность непопадания ВС в условия опасных внешних воздействий;

$P_{ЭФ}(t)$ - вероятность парирования экипажем отказов авиатехники при эксплуатации ВС в ожидаемых и экстремальных ситуациях;

i, n - характер, виды, сочетания отказов авиатехники;

r, l - тип опасных внешних воздействий и их сочетания;

a, b, k, c, m, q - вид и характер ситуаций отказов авиатехники и ситуаций, парируемых экипажем.

В связи с широким внедрением в практику новых поколений самолетов типа АН-74, АН-140, АН-148, В-777, А-340, А-380, ИЛ-96-300, ТУ-204, ТУ-334 и др. достигнутые уровни по отказобезопасности и отказоустойчивости не могут считаться достаточными и требуют применения новых подходов, информационных технологий, создания новых программно-методических комплексов и комплексов технических средств. Повышение безопасности полетов и эффективности эксплуатации авионики приобрело важнейшее социальное и промышленное значение. Поэтому повышение надежности и эффективности ИУС, а значит, и ВС в целом, является важной и актуальной задачей.

Усложнение структур авионики, применение бортовых ЭВМ и микропроцессоров, внедрение в практику новейших информационных технологий и методов эксплуатации «по состоянию» значительно ускорят НТП в гражданской авиации. Успешное решение проблемы обеспечения безопасности полетов и эффективности эксплуатации за счет введения в их структуру видов резервирования (структурного, режимного, функционального, эргатического, параметрического и информационного) и совершенствования стратегий эксплуатации требует раскрытия внутренних свойств отказоустойчивости, отказобезопасности авионики для повышения эффективности строения, функционирования, адаптации и развития [7].

При исследовании процессов функционирования первичных систем сбора информации, например, систем датчиков первичной информации, понятие

информационного резервирования может быть конкретизировано как способ повышения надежности ИУС путем повышения достоверности распознавания опасных полетных ситуации [5, 7, 8, 9].

В качестве общего вывода можно отметить важность перехода на новый методологический подход - процессный подход, процессный анализ и общую теорию процессов [5], для обеспечения надежности, безопасности и эффективности процессов функционирования ИУС и ВС в целом, а главное – для выхода на нулевой уровень аварийности по человеческому фактору в глобальном авиатранспортном процессе.

Литература

1. Федоров С. М., Михайлов О. И., Сухих Н. Н. Бортовые информационно-управляющие системы: Учеб. для вузов; Под ред. С.М.Федорова. - М.: Транспорт, 1994. - 262 с.

2. Гриценко В. И., Воробьев В. М., Тимченко А. А., Левковец П. Р., Аль-Аммори Али и др. Системная эффективность программированной эксплуатации объектов новой техники. Теоретические основы и методы повышения системной эффективности функционирования авиационного оборудования. Киев, 1996.- 30 с.-(Препр. НАН Украины, институт кибернетики им. В. М. Глушкова; 96-6).

3. Оттнер С. А. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. - М.: Сов. радио, 1976

4. Венцель Е. С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972, 552 с.

5. Хохлов Е. М., Аль-Аммори Али. Авторский процессный подход (авторский взгляд на первое десятилетие внедрения процессного подхода в глобальном масштабе 1995 – 2005 гг.) – Киев. 2006. – 174 С. (авторское свидетельство № 16117).

6. Надежность и эффективность в технике (справочник в 10 т.)/ под ред. В. Ф. Уткина и Ю. В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988, - 328 с.

7. Аль-Аммори Али. Анализ критериев эффективности систем распознавания опасных режимов работы АД // Обеспечение безопасности полетов в новых экономических условиях. Тез. док. МНПК. Киев-1997.- С. 261 - 262.

8. 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.

9. Аль-Аммори Али. Информационно-факторный анализ возникновения первых моментов опасных полетных ситуаций по данным перспективных бортовых сигнализаторов // Проблемы безопасности полетов. - Москва:

ВИНИТИ. -2006. - № 9. - С. 39 - 50.

10. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория вероятности и ее инженерные приложения. - М.: Наука, 1988.- 480 с.