

## **УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЭКИПАЖА СПОСОБОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНДИКАЦИИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫМ ПОЛЕТОМ**

к. т. н. Аль-Аммори Али, НТУ, Е. П. Шкурко, НАУ, Киев, Украина

*Обеспечение безопасности полетов и эффективности использования самолетов нового поколения реализуется благодаря высокой эффективности работы экипажа, его хорошей подготовке и организованности. Исследования показывают, что в реальных условиях человеческий фактор существенно зависит от эффективности информационно-управляющих систем, от достоверности данных поступающих от информационных систем, от их высокой технической надежности.*

*В статье предложен и разработан алгоритм синтеза оптимальных управляющих систем способом минимизации многомерной разностной функции, определяемой по требуемой и реальной частотным характеристикам синтезируемых систем.*

*С целью улучшения условий работы экипажа в сложных полетных условиях в работе предлагается автоматизированная система индикации требуемых параметров управления в сложных полетных условиях.*

В настоящее время авиация является одной из самых результативных отраслей сферы транспорта. Однако авиационные происшествия (АП) и авиакатастрофы снижают уровень надежности и эффективности функционирования воздушного судна, особенно большое снижение наблюдается при отказах авиатехники.

Развитие технического прогресса обуславливает создание эффективных, безопасных, надежных, комфортных и легко управляемых воздушных судов нового поколения.

Вместе с тем, существенно возрастает сложность технического оборудования, что влечет за собой проблему учета большого количества взаимодействующих факторов и решение задачи текущего контроля надежности технического состояния, своевременного предупреждения аварийных отказов, создающих опасные полетные ситуации (ОПС). Все эти сложности требуют применения процессного подхода [1] (рис. 1).

Известно, что требования нормативно-технической документации (ЕНЛГ в России, ВСAR – British Civil Airworthiness Requirements в Великобритании, в США - FAR – Federal Aviation Requirements, TSS – Concorde, в западноевропейских странах - JAR- Joint Aviation Requirements) по эксплуатации ВС и систем допускают определенные уровни возникновения особых полетных ситуаций при использовании по назначению на час налета [2]:

- усложненные условия полета (УУП)  $P_{УУП} = 10^{-3} \dots 10^{-5} \text{ 1/Ч}$  ;
- сложная ситуация (СС)  $P_{СС} = 10^{-5} \dots 10^{-7} \text{ 1/Ч}$  ;
- аварийная ситуация (АС)  $P_{АС} = 10^{-7} \dots 10^{-9} \text{ 1/Ч}$  ;
- катастрофическая ситуация (КС)  $P_{КС} < 10^{-9} \text{ 1/Ч}$  .

Безусловно, качество информационно-управляющих систем (ИУС) непосредственно влияет на уровень безопасности полета, в том числе на свойства полиэргатической системы «экипаж – ВС».

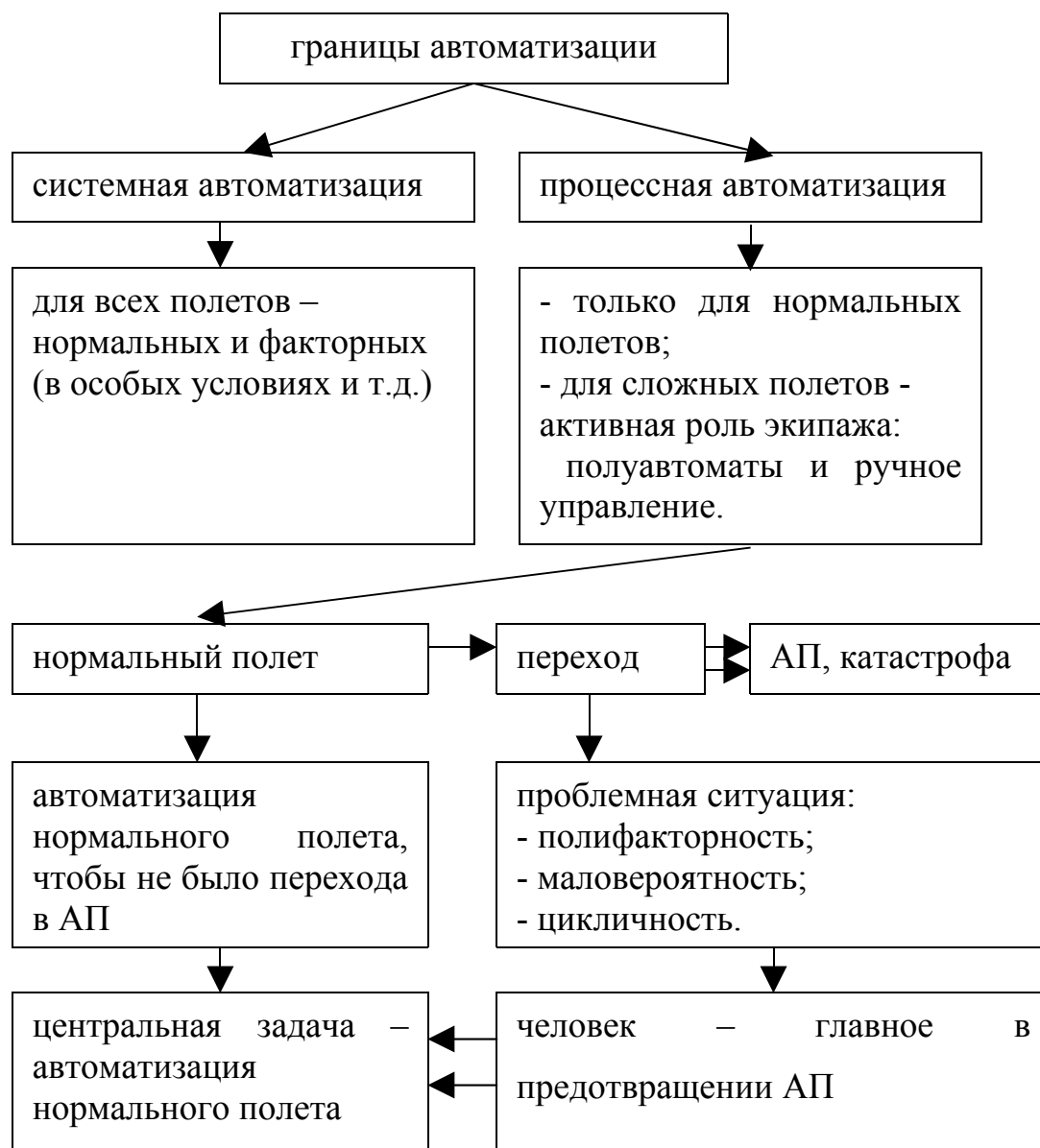


Рис. 1. Границы применения автоматизации при предотвращении АП

Как правило, учитывая сравнительно низкий уровень качества информационных систем сигнализации (ИСС) и чрезвычайно сложные функции принятия решения экипажем, отказы ИСС пока еще связаны с аварийными и катастрофическими ситуациями. Это вызвано тем, что существующие ИСС по своему качеству имеют целый ряд недостатков:

- низкий уровень надежности;
- очень высокий коэффициент ложных срабатываний;
- отсутствие специальных устройств распознавания опасных полетных ситуаций в первый момент возникновения;
- образование значительных неопределенностей при принятии решения экипажем.

Такая неопределенность вызвана неопределенным начальным моментом из-за сложности его начальной идентификации, распознавания, многофакторности, внезапности и неожиданности его возникновения.

Создание самолетов нового поколения привело как к положительным, так и к отрицательным результатам в их начальной эксплуатации.

Отрицательными моментами в эксплуатации современных ВС в начале 90-х годов были так называемые электронные катастрофы современных ВС (например, катастрофа А-320 в 1992 году). Появление таких катастроф резко осложнило начальный этап эксплуатации. Возникла необходимость научного обоснования начальной эксплуатации современных ВС НП, разработки их новых классификаций, оценки причин ошибок пилотов на современных ВС, необходимость более глубокого анализа работы информационно-управляющих систем с целью исключения «электронных катастроф». В сущности, эти катастрофы носили методологический характер и были связаны с ложным пониманием «простоты» авионики современных ВС.

Современные ВС представляют собой технологически сложные производственные машины, особенно в циклах управления ими. Экипаж таких машин совершает ошибки при решении полетных задач из-за неопределенности или неполной информации, выводимой системами сигнализации и автоматизации, а также технологически сложной авионики – электроники и автоматики.

На самолетах нового поколения (СНП) установлена комплексная информационная система сигнализации для обеспечения отображения информации о состоянии самолетных систем и сигнальной информации об отказах на экранных индикаторах. Она предельно сложна по процессам зрительного восприятия.

В 1994-95 годах в Научно-методологическом центре процессного анализа был сделан вывод на основе работ по процессной аналитике СНП о том, что автоматику следует применять только в нормальных условиях эксплуатации, а полуавтоматы и ручные режимы – в предельно сложных условиях.

Однако существующие интегрированные комплексы и системы бортового цифрового оборудования нельзя считать комплексами, построенными на основе искусственного интеллекта (ИИ), так как средства информационной поддержки принятия решения человеком (СИППР) отсутствуют. Анализ подобных систем показывает, что в настоящее время пока отсутствуют бортовые информационно-управляющие системы (БИУС) с системой СИППР, построенных на базе ИИ. Лишь в отдельных публикациях можно встретить упоминание о подобных системах [3].

Анализ ошибочных действия экипажа в нормальных ситуациях показывает, что необходимо на многих фазах процесса полета автоматизировать процессы управления нормальным полетом. С целью улучшения условий управления полетом в нормальных условиях экипажам целесообразно ввести модель автоматизированной индикации требуемых параметров полета.

Такая система автоматизированной подсказки может быть как элемент СИППР для обеспечения удобных условий работы и может существенно повысить эффективность управления в опасных полетных ситуациях.

Как правило, система управления определенным процессом функционирует в соответствии с определенным законом, описываемым детерминированной функцией:

$$y = f(t, x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где  $t$  - время течения процесса управления;

$x_i$  - значения параметров управления.

При этом задан требуемый алгоритм работы системы управления в определенный момент времени  $t_i$ :

$$Z = f(t_i, x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (2)$$

В процессе управления всегда необходимо, чтобы в каждый момент времени  $t_i$  параметры управления  $x_i$  имели строго определенные значения  $x_{i0}$ .

Требуемое значение  $x_{i0}$  параметров управляющего процесса можно найти методом минимизации разностной функции  $R_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , определяемой для каждого момента времени  $t_i$  с определенным заданным интервалом  $\Delta t$ , зависящим от точности и быстродействия процесса управления. При этом разностная функция  $R_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  будет представляться модулем разности функций (1) и (2) в каждый момент времени  $t_i$ :

$$R_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left| \varphi(t_i, x_1, x_2, \dots, x_n) - f(t_i, x_1, x_2, \dots, x_n) \right|. \quad (3)$$

Если проводить минимизацию разностной функции  $R_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  для каждого момента времени  $t_i$ , то в эти моменты значения функций  $f(t_i, x_1, x_2, \dots, x_n)$  и  $\varphi(t_i, x_1, x_2, \dots, x_n)$  будут равны с заданной точностью, а значение параметров  $x_i$  управления станут равными тем требуемым значениям  $x_{i0}$  параметров, которые надо установить в системе управления с тем, чтобы система выполняла требуемую функцию  $\varphi(t_i, x_1, x_2, \dots, x_n)$  в момент времени  $t_i$ .

Такой процесс определения требуемых параметров  $x_{i0}$  можно осуществлять с прогнозированием на интервал времени  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ .

В арсеналах вычислительной математики существует большое число способов минимизации многомерных функций. Как правило, можно с уверенностью полагать, что многомерная разностная функция  $R_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  является полимодальной, т.е. для каждого момента времени  $t_i$  функция  $R_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  имеет несколько минимальных значений, и задача минимизации

заключается в нахождении ее глобального минимального значения, при котором значения искомым требуемых параметров  $x_{i0}$  обеспечат наиболее эффективное управление системой.

При небольшом числе  $N$  параметров  $x_i$  управления наиболее эффективным методом поиска минимума функции  $R_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  в случае ее сложного поведения (наличия многих локальных минимумов) является метод Гаусса-Зейделя [4]. Идея этого метода показана на рис. 2. для двумерного варианта функции  $R_i(x_1, x_2)$  [4, 5].

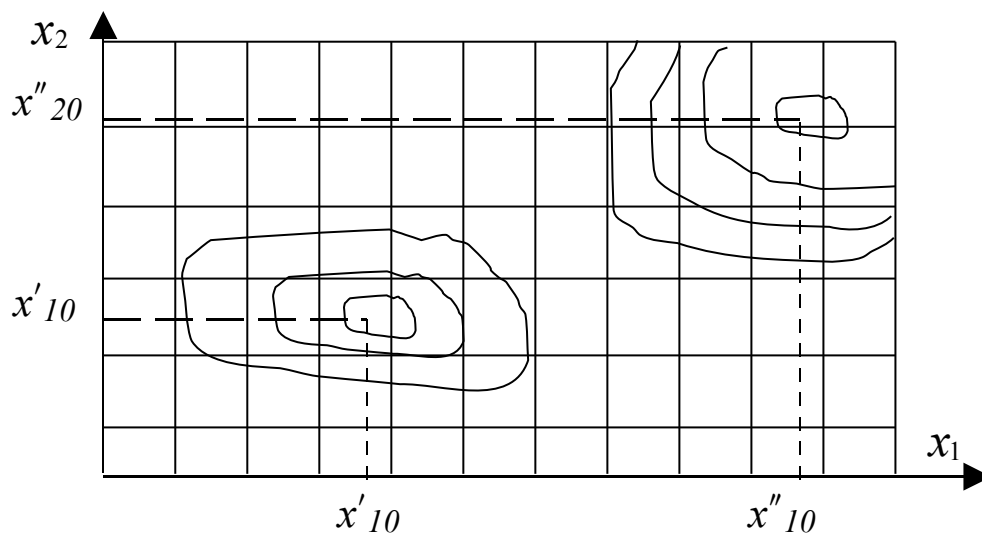
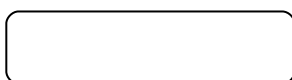


Рис. 2. Поиск глобального минимума методом Гаусса-Зейделя

Область допустимых значений параметров  $x_{1min}, x_{1max}, x_{2min}, x_{2max}$  разделяется на малые участки с интервалом  $\Delta x_i$ , производится вычисление функции  $R_i(x_1, x_2)$  в конечном числе точек с шагом  $\Delta x_i$ . Путем сравнения вычисляемых значений определяется глобальный минимум функции  $\min R_i(x_1, x_2)$ .

Точность определения точки глобального минимума зависит от плотности заполнения области  $D$  дискретным множеством  $x_{1i}, x_{2i}$ , т.е. зависит от интервала  $\Delta x_i$ , однако при большом числе  $N$  переменных  $x_i$  потребуются большие временные затраты на вычисления. Последнее условие может не обеспечить процесс вычисления и управления в реальном времени с заданным темпом  $\Delta t$ .

При большом значении числа  $N$  может оказаться более эффективным по быстродействию алгоритм, приведенный на рис. 3.



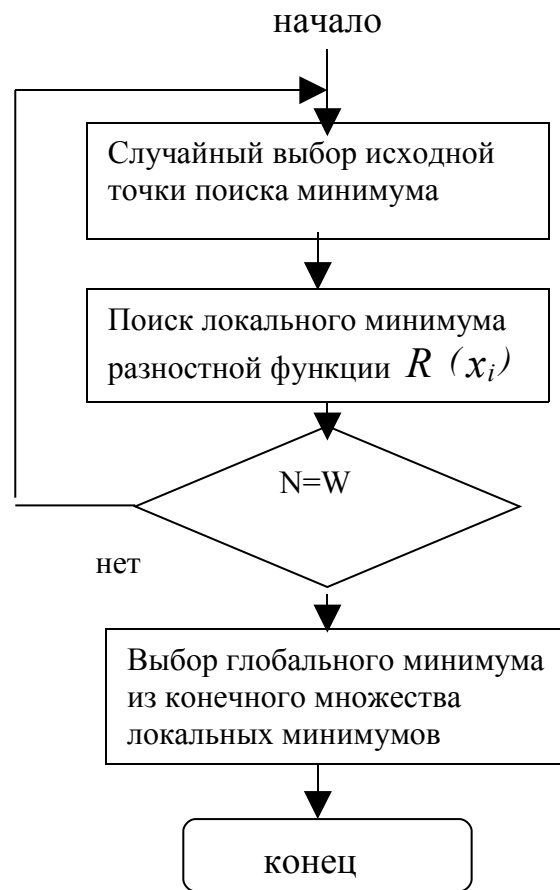
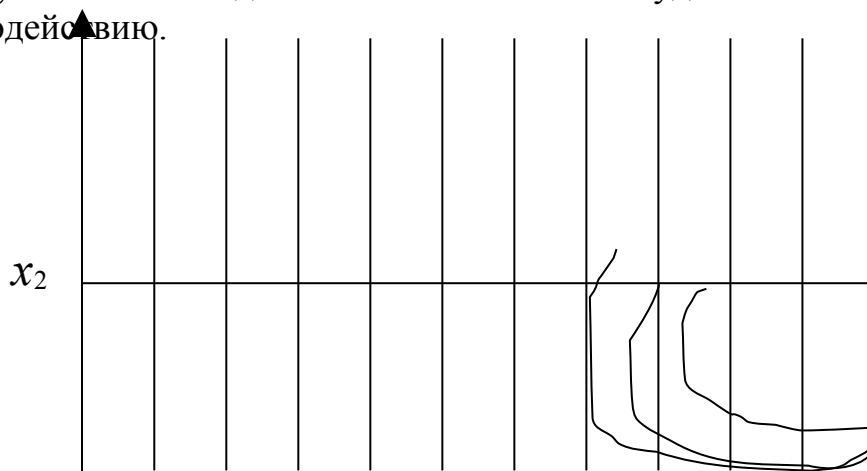


Рис. 3. Алгоритм поиска глобального минимума с повышением быстродействия

В начале производится случайный выбор исходной точки поиска (ИТП), как показано на рис. 4. Затем поочередно с изменением переменных  $x_i$  с заданным шагом переменная  $x_i$  меняется до тех пор, пока значение функции  $R_i(x_1, x_2)$  не увеличивается, в противном случае, алгоритм переключается на вычисление функции  $R_i(x_1, x_2)$  по изменению второй переменной  $x_2$ . Такой процесс поочередно продолжается до тех пор, пока не будет зафиксирован локальный минимум с координатами  $x_{01}, x_{02}$ . После этого случайно выбирается новая исходная точка ИТП, и снова ищется локальный минимум. После конечного числа  $m$  поиска локальных минимумов методом сравнения нетрудно найти глобальный минимум в соответствии с алгоритмом (рис. 3).

При большом числе  $N$  параметров управления  $x_i$  алгоритм минимизации со случайной исходной точкой поиска будет более эффективным по быстродействию.



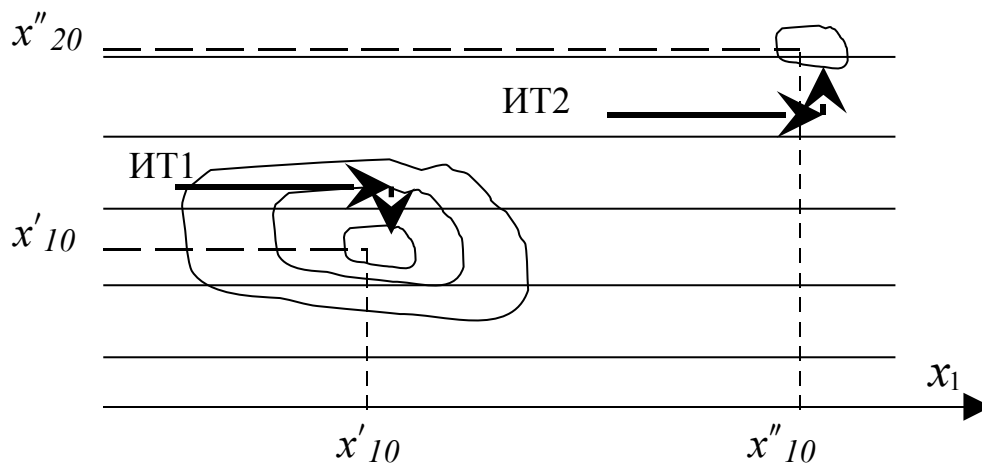


Рис. 4. Случайный выбор исходной точки

В связи со значительным темпом развития вычислительной микропроцессорной техники и бортовых информационно-управляющих систем, которые насыщены мощными вычислительными системами [3, 5], предлагаемый метод автоматизированного управления полетом может оказаться весьма эффективным при его реализации на самолетах нового поколения (рис. 5).

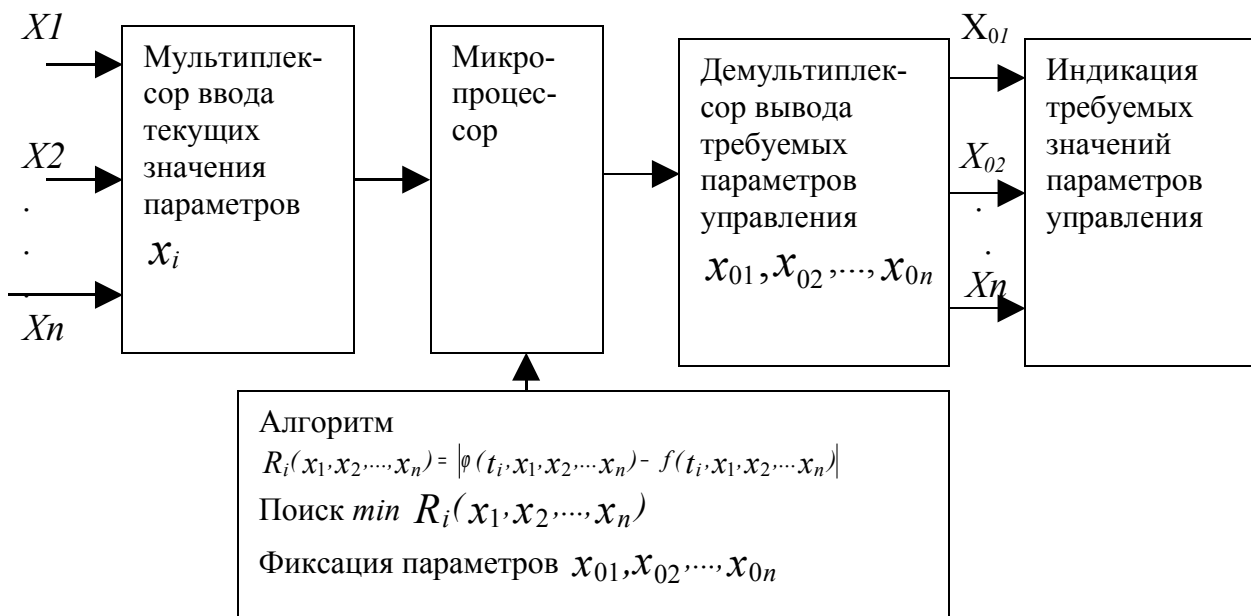


Рис. 5. Структурная схема автоматизированной индикации основных параметров управления полетом

Такие системы можно также использовать при подготовке летного состава в качестве экспертных систем.

В качестве примера рассмотрим задачу расчета системы автоматического управления углом рыскания [6, 7]. Передаточная функция самолета взята для случая, когда учитывается боковые силы:

$$W(p) = \frac{k_x(T_1 p + 1)}{T_k^2 p^3 + 2y_k T_k p^2 + p}$$

Положим  $p = jw$ :

$$W(jw) = \frac{1 + jw k_x T_1}{-2y_k T_k w^2 + j(w - T_k^2 w^3)}$$

Введем обозначения:

$$a = k_x T_1; \quad b_1 = T_k^2; \quad b_2 = 2y_k T_k,$$

и тогда можно записать:

$$W(jw) = \frac{ja \cdot w + 1}{-b_2 w^2 + j(w - b_1 w^3)}$$

После несложных, но громоздких преобразований можно получить формулу для определения модуля  $W(f)$  амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) самолета:

$$W(f) = \frac{\sqrt{4\pi^2 f^2 (a - ab_2 - 4\pi^2 ab_1 f^2)^2 + (1 + 4\pi^2 f^2 (ab_2 - b_1))^2}}{8\pi^3 f^3 b_2^2 + 2\pi f (1 - b_1 4\pi^2 f^2)^2}. \quad (4)$$

Выражение (4) определяет реальную АЧХ управления системы. Для определения требуемых параметров  $a$ ,  $b_1$  и  $b_2$  системы задается требуемая  $T(f)$  АЧХ работы системы в реальных полетных условиях. Разностная функция  $Z(f, a, b_1, b_2)$  определяется выражением:

$$Z(a, b_1, b_2) = |T(f, a, b_1, b_2) - W(f, a, b_1, b_2)|. \quad (5)$$

При этом,  $Z(f, a, b_1, b_2)$  уже не будет зависеть от частоты  $f$ , а будет зависеть от параметров  $a, b_1$  и  $b_2$ , адекватных работе системы в реальных полетных условиях. Поиск глобального минимума многомерной разностной функции  $Z(a, b_1, b_2)$  по параметрам  $(a, b_1, b_2)$  позволяет определить требуемые параметры  $(a_0, b_{01}, b_{02})$  системы управления в реальном масштабе времени с прогнозированием на временной интервале  $\Delta t$ .

### Выводы.

1. Центральной задачей любой автоматизации на ВС является упрощение нормального полета до такой степени, чтобы переход от нормальной к факторной эксплуатации при возникновении проблемной аварийной ситуации прошел нормально без факторных перегрузок для пилотов.

2. Принципиально новым моментом в сигнальной информации является создание устройств полифакторной индикации, которые позволяют качественно изменить и увеличить информативность принятия решения экипажем, особенно в первые моменты возникновения проблемных ситуаций.

### ЛИТЕРАТУРА



1. *Хохлов Е. М., Аль-Аммори Али.* Авторский процессный подход (авторский взгляд на первое десятилетие внедрения процессного подхода в глобальном масштабе 1995-2005г.г.) – Киев. 2006. – 174 с. (авторское свидетельство № 16117).
2. Единые нормы летной годности гражданских самолетов ЕНЛГ-3.
3. *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.
4. Методы оптимизации. Вводный курс/ Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1988. - 128 с.
5. *Зеленков А. А., Соченко П. С.* Микропроцессорные системы. - Киев: КМУГА, 1995. - 260 с.
6. *Унгуриян С. Г., Лупандин М. В.* Расчет систем автоматического управления полетом самолета/ КИИГА, 1971. - 136 с.
7. *Туник А. А., Блохин Л. Н., Кривоносенко А. П.* Алгоритмы и программы анализа и оптимизации систем управления полетом. - Киев: КИИГА, 1988.- 80 с.