

УДК 004.8:004

И.Б. СИРОДЖА, А.А. БАБУШКИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТАПЕЛЬНО-СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Разработаны математические схемы функционирования и управления иерархической системой поддержки принятия решений (СППР) при проектировании ступенно-сборочной оснастки летательных аппаратов (СОЛА) как этап системного исследования проблемы принятия решений. На этом этапе содержательные описания функционирования и управления СППР преобразованы в строгую логическую форму причинно-следственных операторных отображений, которые могут быть использованы для дальнейшего моделирования и создания автоматизированных систем компьютерной поддержки принятия производственных решений.*

**Ключевые слова:** *поддержка принятия решений, база знаний, формальная схема функционирования и управления СППР при проектировании СОЛА.*

**Введение**

Принять «правильное» решение в конкретной ситуации – значит, выбрать такую альтернативу из числа возможных, которая с учетом всех разнообразных факторов и противоречивых требований будет в оптимальной степени способствовать достижению поставленной цели. Неотъемлемой частью процессов принятия решений являются неопределенности, связанные с неполнотой данных и знаний о проблеме, с незнанием реакции окружающей среды после принятого решения, с неточным пониманием своих целей лицом принимающим решение (ЛПР), и др. Наличие неопределенностей, увеличение объема информации, поступающей в органы управления, усложнение решаемых задач, необходимость учета большого числа факторов и быстро меняющейся обстановки вынуждают ЛПР прибегать к помощи экспертов и компьютеров. Так, в начале 70-х годов появились компьютерные системы поддержки принятия решений (СППР), позволяющие ЛПР сочетать собственные субъективные предпочтения с компьютерным анализом ситуаций на основе обработки объективных данных и знаний для разрешения слабоструктурированных и неструктурированных задач принятия решений [1 – 4]. Заметим, что к слабоструктурированным относятся задачи, которые содержат как количественные, так и качественные переменные с преобладанием качественных характеристик объектов принятия решений (ОПР). Неструктурированные задачи имеют лишь качественное (лингвистическое) описание.

Человеко-машинная процедура принятия решений с помощью СППР представляет собой итерационный процесс взаимодействия человека с компьютером. Взаимодействие состоит из фазы анализа и постановки задачи для компьютера, выполняемой ЛПР, и фазы поиска (вывода) решений, оптимизации выбора альтернатив, реализуемых компьютером. Поэтому компьютерная поддержка принятия решений непременно основана на формализации моделей и методов: получения исходных и промежуточных данных от ЛПР, функционирования и управления СППР, принятия и оценивания решений, а также на алгоритмизации самого процесса выработки решений. Формализация указанных объектов, а также методов генерации решений, их оценивания и согласования является очень сложной проблемой, требующей для своего разрешения дальнейших научно-технических усилий.

Весьма актуальной в указанном плане является проблема **формализации функционирования и управления СППР** при проектировании сборочных приспособлений в авиационном и ракетном производстве. От решения этой проблемы непосредственно зависит эффективность компьютерной поддержки творческих решений конструкторов и технологов, а следовательно, и качество сборки летательных аппаратов (ЛА), ибо только принятие правильных инженерных решений на всех этапах жизненного цикла изделия может обеспечить его высокое качество. Более того, мировая практика свидетельствует о том, что затраты на разработку и изготовление ступенно-сборочной оснастки достигают 70–80% от общих затрат на технологическую подготовку

производства новых ЛА. Такие затраты возникают в основном из-за недостаточного уровня автоматизации творческого труда инженеров при генерации конструкторских и технологических решений. Анализ публикаций показывает, что до сих пор не существует комплексной автоматизации проектирования и создания ступенно-сборочных приспособлений (СП) для производства ЛА по причине отсутствия научно обоснованных моделей принятия решений на основных технологических этапах. Например, на этапах установления пространственного, геометрического и силового облика СП; выбора рационального размещения базово-фиксирующих устройств (БФУ) на каркасе СП; при выборе конструктивных элементов СП согласно условиям обеспечения их прочности и жесткости и т.п. [5 – 7]. Применение известных систем CAD/CAM/CAE/PDM в авиационной промышленности, где уровень автоматизации доведен до разработки полного виртуального электронного макета изделия, никак не обеспечивают поддержку творческих конструкторских и технологических решений на указанных выше этапах создания СП в производстве ЛА. Только отдельные узконаправленные экспертные системы (ЭС), используемые в распределенных СППР, обеспечивают поддержку проектных решений на некоторых этапах разработки и создания СП [1, 4, 6, 7].

В данной работе впервые выполнена *формализация* слабоструктурированной задачи *поддержки принятия решений* при проектировании *ступенной оснастки для сборки летательных аппаратов* (СОЛА) с целью теоретического обоснования последующих этапов *моделирования и создания распределенной иерархической СППР* с именем «СОЛА». На этапе формализации разрабатываются формальные (математические) схемы функционирования и управления СППР при проектировании СОЛА, а также конструктивный вариант математического представления фундаментального принципа теории принятия решений – принципа последовательного разрешения неопределенности (ПРН).

## 1. Постановка общей задачи формализации СППР

Содержательная постановка общей задачи формализации СППР состоит в разработке трех математических (формальных) схем: *функционирования* иерархической распределенной СППР, *управления* ею и *принятия решений* в СППР на основе фундаментального принципа последовательного разрешения неопределенности. *Формализация* сводится к синтезу необходимых отображений для описания функционирования, управления и принятия решений в фазовом пространстве состояний СППР на

языке теории множеств и отношений.

Первоначально рассмотрим структуру абстрактной распределенной СППР с 3-уровневым иерархическим управлением, которая состоит из общего числа  $q$  элементов, включая координирующие, управляющие и исполнительные элементы. Напомним, что распределенные (пространственно или функционально) системы состоят из локальных подсистем, расположенных в связанных между собой узлах вычислительной сети и независимо решающих свои задачи, выполняя общую цель сообщества. Иерархические системы также состоят из подсистем в узлах, расположенных по нескольким уровням с последовательным иерархическим подчинением, что обеспечивает достижение общей цели [1, 2]. Уточняем, что интересующая нас СППР при проектировании СОЛА по своему характеру является трехуровневой иерархической и распределенной дискретной системой.

Согласно выбранному характеру исследуемой системы определим системные переменные (координаты), образующие фазовое пространство  $\{N\}$  состояний СППР. Для этого отношение (связь) между  $i$ -м и  $j$ -м элементом системы опишем вектор-столбцом бинарных отношений  $\bar{r}_{ij}^1$ ,  $l \in \{I, U, M, F, \dots\}$ ,  $i, j = \overline{1, q}$ ;  $i \neq j$ , т.е. транспонированным двоичным вектором прямых связей:

$$\bar{r}_{ij}^l = \left( r_{ij}^I, r_{ij}^U, r_{ij}^M, r_{ij}^F, \dots \right)^T, r_{ij}^l \in \{0, 1\}, \quad (1)$$

где « $T$ » – символ транспонирования;

$r_{ij}^I$  – связи по информации  $I$ ;

$r_{ij}^U$  – связи по управлению  $U$ ;

$r_{ij}^M$  – по материальному обмену  $M$ ;

$r_{ij}^F$  – по финансовому обмену и др.

Значение  $r_{ij}^l = 1$  указывает на наличие связи, а  $r_{ij}^l = 0$  – отсутствие связи. Количество элементов СППР и связей между ними определяется уровнем анализа системы. Связи элемента  $j$  с элементом  $i$  определяются вектором  $\bar{r}_{ji}$ , который интерпретируется как вектор обратных связей по отношению к  $\bar{r}_{ij}$  (1). Множество  $\bar{r}_{ij} \cup \bar{r}_{ji}$  для всех  $q$  элементов системы назовем матрицей структурного состояния  $R$  СППР, размерность которой определяется величиной  $q$  и числом компонентов вектора  $\bar{r}_{ij}$ :

$$R = \begin{pmatrix} 0 & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1q} \\ r_{21} & 0 & \dots & & & \\ \vdots & & 0 & & & \\ r_{iq} & & & & \dots & \\ \vdots & & & 0 & \dots & \vdots \\ r_{jq} & \dots & & & & \\ \dots & r_{ij} & \dots & r_{qj} & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где строка фиксирует наличие (при  $r_{ij} = 1$ ) или отсутствие (при  $r_{ij} = 0$ ) каких либо прямых связей  $i$ -го элемента с другими, а столбец – наличие (при  $r_{ij} = 1$ ) или отсутствие (при  $r_{ij} = 0$ ) обратных связей по отношению к  $i$ -му элементу системы.

Матрица  $R$  (2) описывает совокупность всех рассматриваемых структур исследуемой СППР. Например, система управления определяется подматрицей  $\|r_{ij}^U\| \subset \|R\|$  бинарных отношений, отражающих иерархию соподчинения элементов системы.

Часто приходится учитывать пространственное положение элементов СППР и их взаимное расположение, т.е. топологию системы, которую представим матрицей пространственного состояния  $G$ :

$$G = \begin{pmatrix} g_i & \dots & g_{ij} & \dots & g_{iq} \\ \vdots & & g_i & & \vdots \\ g_{iq} & \dots & & & g_q \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $\bar{g}_i$  – вектор пространственного расположения элементов  $i$ , ( $i = \overline{1, q}$ ) системы;

$\bar{g}_{ij}$  – вектор взаимного расположения  $i$ -го и  $j$ -го элементов.

Пусть вектор  $V_i$ , определенный на множестве возможных значений параметров, описывает внутреннее состояние  $i$ -го элемента на выбранном уровне анализа системы. Тогда матрица  $V$  внутреннего состояния элементов СППР определяется вектор-столбцом:

$$V = \|V_i\| = \left\| (V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_q)^T \right\|, \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, q$ .

Одним из параметров состояния СППР является характеристика естественной среды, в которой действует система. Если через  $W_i$  обозначить вектор состояния среды  $W$ , в котором функционирует  $i$ -й элемент системы, то матрица  $W$ , называемая матрицей состояния естественной среды, определится вектор-столбцом:

$$W = \|W_i\| = \left\| (W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_q)^T \right\|, \quad (5)$$

$i = 1, 2, \dots, q$ .

Для каждого  $i$ -го элемента СППР зададим вектор  $S_i$ , компоненты которого  $s_i$  характеризуют различные внешние воздействия на этот элемент. Совокупность векторов для всех элементов системы представим матрицей  $S$  состояния внешней среды:

$$S = \|S_i\| = \left\| (S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_q)^T \right\|, \quad (6)$$

$i = 1, 2, \dots, q$ .

Таким образом, мы определили пять переменных  $R, G, V, W, S$ , образующих фазовое пространство  $\{H\}$  состояний СППР. Точку  $H = \{R, G, V, W, S\}$  будем называть состоянием СППР и описывать матрицей

$$H = \|\bar{h}_i\| = \left\| (h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_q)^T \right\|, \quad (7)$$

где  $\bar{h}_i$  – вектор состояния  $i$ -го элемента системы.

Компонентами вектора  $\bar{h}_i$ :

$$\bar{h}_i = \{r_i, g_i, V_i, W_i, S_i\}, \quad i = \overline{1, q}, \quad (8)$$

являются фазовые координаты  $i$ -го элемента СППР:  $r_i$  –  $i$ -я строка (прямые связи) и  $i$ -й столбец (обратные связи) матрицы  $R$  (2); вектор  $\bar{g}_i$  пространственного положения из матрицы  $G$  (3); вектор  $V_i$  внутреннего состояния матрицы  $V$  (4); вектор  $W_i$  состояния естественной среды, где элемент действует, из матрицы  $W$  (5) и вектор воздействия внешней среды  $S_i$  из матрицы  $S$  (6).

Заметим, что выражение (7) представляет собой формальный способ описания СППР на произвольный момент времени для любого уровня в принятой иерархии описаний системы.

При этом понятие «состояние» определяет СППР точкой  $H = \{R, G, V, W, S\}$  в фазовом пространстве состояний  $\{H\}$  (7) через ее функционально-организационную структуру  $R$ , пространственное положение  $G$ , внутреннее состояние элементов  $V$ , состояние среды  $W$  и характер воздействия внешней среды  $S$ . Если учитывать, что СППР свойственно поступательно-циклическое функционирование (например, цикличность технологическая, экономическая и т.п.), то состояние системы зависит и от фазы цикла, определяемой существом циклических процессов, состоянием элемента и управления на  $n$ -м шаге

( $n = 1, 2, \dots, N$ ) целенаправленного дискретного поведения системы  $H(n)$ . Поскольку траектория состояний СППР  $H(n)$  есть функция управления:

$H(n) = H(U(n))$ , то на любом  $n$ -м шаге функционирование системы обеспечивается иерархической системой управления, структура которой определяется указанными ранее бинарными отношениями по управлению  $\|r_{ij}^U\| \subset R$ , а целенаправленное поведение СППР – вектором управления  $U$ :

$$U = (U_1, \dots, U_i, \dots, U_q), \quad (9)$$

где  $U_i$  – значение управляющего параметра, отвечающего тому или иному характеру работы  $i$ -го элемента системы. Но временные закономерности функционирования элементов будем описывать матрицей их циклического состояния  $T$ :

$$T = \|\bar{t}_i\| = \left\| \left( t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_q \right)^T \right\|, \quad (10)$$

где  $\bar{t}_i$  – фаза цикла  $i$ -го элемента системы.

Теперь, когда формально определены все необходимые характеристики (2) – (10) фазового пространства состояний СППР, формальная постановка общей задачи состоит в следующем. При заданных характеристиках (7) – (10) целенаправленного поведения СППР требуется синтезировать отвечающую ей последовательность операторных отображений  $\hat{V}, \hat{G}, \hat{W}, \hat{R}, \hat{S}, \hat{H}, \hat{\Psi}, \hat{I}, \hat{E}, \hat{Q}, \hat{U}, \hat{T}$ , необходимых для описания и решения трех задач, связанных между собой:

1) синтез *математической (формальной) схемы функционирования* иерархической распределенной СППР при проектировании СОЛА;

2) синтез *математической схемы управления* указанной СППР;

3) синтез *математической схемы принятия решений* в СППР.

Понятие «*математическая схема*» используется здесь не для алгоритмического действия, а как метод мышления или формулирования понятий на языке операторных отображений при переходе от словесного описания системы к *формальному* представлению ее поведения в виде математических моделей. Поэтому *формальную схему* будем понимать как звено при переходе от *содержательного* к *математическому* описанию процессов *функционирования, управления и принятия решений* в СППР с учетом ее взаимодействия с внешней средой.

В данной статье рассмотрены задачи 1) и 2), а задаче 3) посвящена отдельная работа.

## 2. Математическая схема функционирования СППР при проектировании СОЛА

Процесс функционирования СППР при проектировании ступенчатой оснастки летательных аппаратов (СОЛА) будем представлять эволюцией ее состояния  $H = \{R, G, V, W, S\}$  (7) во времени (10) согласно сложившейся технологии проектирования СОЛА [4, 6, 7]. Сначала охарактеризуем эволюцию состояний СППР содержательно. Как объект проектирования современные сборочные приспособления (СП) в производстве ЛА представляют собой сложные инженерно-технические сооружения, которые будем рассматривать как сложную техническую систему с широкой иерархической структурой, отражающей конструктивные и функциональные особенности СП [4]. Под компьютерной системой поддержки принятия решений (СППР) при проектировании СОЛА будем понимать человеко-машинную организацию выработки критериально обоснованных проектных решений в узлах иерархического процесса разработки технической документации. Последняя должна обеспечить возможность изготовления и монтажа СП, отвечающих заданным требованиям, а также эксплуатацию СП в серийном производстве ЛА. Такая СППР «СОЛА» может служить подсистемой системы более высокого уровня – СППР сборочного производства ЛА. Поддержка решений посредством компьютерной СППР при проектировании СОЛА должна быть экономически эффективной на всех этапах жизненного цикла СП. В частности, – обеспечивать минимальные затраты трудовых, материальных и временных ресурсов для генерации *правильных решений* на этапах (в узлах) выбора облика, проектирования, конструирования, изготовления и эксплуатации СП. Так, ошибочное решение при выборе принципиальной схемы СП может привести к созданию нерациональной или совсем неработоспособной сборочной оснастки в целом. Неправильный выбор базово-фиксирующих элементов на этапе проектирования вызывает проблемы в изготовлении и эксплуатации СП. Неверное решение на этапе изготовления СП может ухудшить его точностные и эксплуатационные характеристики, что приведет к некачественному производству собираемых изделий или к увеличению сроков и стоимости сборки. Кроме того, на всех этапах проектирования создаются необходимые технические документы, формирование которых требует также принятия соответствующих конструкторских и технологических решений, связанных с процессами функционирования и управления СППР «СОЛА», а также с использованием исходной базовой, руково-

дядшей и справочной информации. Например, основанием для проектирования СП являются следующие документы: 1) заказ на проектирование СП; 2) технические условия на проектирование; 3) чертеж и спецификация собираемого изделия; 4) технологический процесс сборки изделия. Иными словами, содержащаяся в этих документах базовая, руководящая и справочная информация используется для формирования посылок всех принимаемых решений-следствий на этапах жизненного цикла СП; руководящая – принципы и условия проектирования СП; а справочная – представляет собой базу данных для выбора возможных вариантов конструктивных решений СП.

Итак, изложенное выше содержательное описание функционирования СППР при проектировании СОЛА позволяет перейти к более четкому формальному описанию посредством дискретной математической схемы функционирования на языке операторных отображений. Пусть  $N$  – конечное множество шагов мощностью  $N$ , определяющее заданную продолжительность функционирования СППР;  $n$  – номер шага  $n = (0, 1, 2, \dots, N)$ ,  $n \in N$ ;  $k$  – число шагов предыдущего поведения системы. Обозначим через  $\Psi_n$  – последовательность операторных отображений  $\hat{V}, \hat{G}, \hat{W}, \hat{R}, \hat{S}, \hat{U}, \hat{T}$ , содержательно отвечающих введенным ранее характеристикам поведения СППР:  $V(4)$ ,  $G(3)$ ,  $W(5)$ ,  $R(2)$ ,  $S(6)$ ,  $U(9)$  и  $T(10)$  в фазовом пространстве состояний  $\{H\}$  (7).

Назовем общий оператор отображения  $\Psi : \{H(n)\} \forall n \in N$  **процессом функционирования** СППР «СОЛА», а  $H(n)$  – *траекторией состояния* системы. Очевидно, что дискретную математическую схему функционирования (ДМСФ) СППР можно представить пошаговой временной последовательностью отображений, определяемых траекторией  $H(n)$  в фазовом пространстве  $\{H\}$  (7) следующим образом:

$$\begin{aligned} \Psi_1 : \{H(0)\} &\rightarrow H(1), \Psi_2 : \{H(1), H(0)\} \rightarrow \\ &\rightarrow H(2), \dots, \\ \Psi_n : \{H(n-1), H(n-2), \dots, H(n-k)\} &\rightarrow \\ &\rightarrow H(n), \dots, \\ \Psi_N : \{H(N-1), H(N-2), \dots, H(N-k)\} &\rightarrow \\ &\rightarrow H(N). \end{aligned} \quad (11)$$

Величина временного шага в ДМСФ (11) заведомо меньше продолжительности самого короткого процесса в СППР.

Представим теперь общий оператор  $\Psi$  как процесс отображения  $\Psi : \{H(n)\} \rightarrow H(n+1)$  изменений состояния и управления СППР на  $(n+1)$ -м шаге в виде последовательных операторных отображений:  $\hat{V}, \hat{G}, \hat{W}, \hat{R}, \hat{S}, \hat{U}, \hat{T}$ . На  $(n+1)$ -м шаге процесса  $\Psi$  в зависимости от состояния траектории  $H(n)$  системы на  $n$ -м шаге и вектора управления  $U(n)$  (9) элементы СППР воздействуют друг на друга согласно их функциональному назначению. В результате этого формируется новый вектор  $V(n+1)$  внутреннего состояния элементов системы. Формально такое словесное высказывание описывается операторным отображением

$$\hat{V} : \{V(n), R(n), G(n), W(n), S(n), U(n)\} \rightarrow V(n+1). \quad (12)$$

Если для системного анализа процесса  $\Psi$  существенна динамика топологии СППР  $G(3)$ , то внутреннее состояние  $V(n+1)$  (12) совместно с параметрами  $G(n)$  (3),  $R(n)$  (2),  $W(n)$  (5),  $S(n)$  (6), и  $U(n)$  (9) определяют новую топологию  $G(n+1)$  по аналогии с (12) посредством операторного отображения

$$\hat{G} : \{V(n+1), R(n), G(n), W(n), S(n), U(n)\} \rightarrow G(n+1). \quad (13)$$

Изменение пространственного положения элементов СППР  $G(n+1)$  (13) влечет за собой изменение состояния естественной среды  $W(n+1)$ , в которой они действуют, что опишем операторным отображением

$$\hat{W} : \{V(n+1), R(n), G(n+1), W(n), S(n), U(n)\} \rightarrow W(n+1). \quad (14)$$

Внутреннее состояние элементов СППР  $V(n+1)$  (12), их взаимное положение  $G(n+1)$  (13) и условия существования в среде  $W(n+1)$  (14) определяют новое состояние связей  $R(n)$  (2) элементов на  $(n+1)$ -м шаге  $R(n+1)$  с помощью операторного отображения

$$\hat{R} : \{V(n+1), R(n), G(n+1), W(n+1), S(n), U(n)\} \rightarrow R(n+1). \quad (15)$$

Эволюция внутреннего  $V(n+1)$  (12) и пространственного состояний  $G(n+1)$  (13) СППР, а также состояния среды  $W(n+1)$  (14) и структурного

состояния  $R(n+1)$  (15) определяет новый характер связей СППР с системой более высокого уровня иерархии, т.е. внешних воздействий  $S(n+1)$  на  $(n+1)$ -м шаге, с помощью операторного отображения

$$\hat{S}: \{V(n+1), R(n+1), G(n+1), W(n+1), S(n), U(n)\} \rightarrow S(n+1). \quad (16)$$

Состояние СППР на  $(n+1)$ -м шаге процесса  $H(n+1)$ , относительно которого находится управление  $U(n+1)$ , определяющее функционирование системы на следующем  $(n+2)$ -м шаге, формируется на базе использования операторных отображений (12)–(16) и описывается отображением

$$\hat{U}: \{V(n+1), R(n+1), G(n+1), W(n+1), S(n+1), U(n)\} \rightarrow U(n+1). \quad (17)$$

Наконец, если состояние СППР определяется фазой цикла, в которой находится вся система или ее подсистемы и элементы, то оператор формирования цикла  $\hat{T}$  строится на основе использования матрицы циклического состояния элементов  $T$  (10), отображений (12)–(17) и описывается операторным отображением

$$\hat{T}: \{V(n+1), R(n+1), G(n+1), W(n+1), S(n+1), U(n+1)\} \rightarrow T(n+1). \quad (18)$$

Таким образом, система полученных операторных отображений (11)–(18) описывает общий вид математической схемы функционирования с управлением СППР «СОЛА» и служит теоретическим базисом для анализа и синтеза математических моделей принятия решений в системах автоматизации технологической подготовки производства ЛА.

### 3. Математическая схема управления СППР при проектировании СОЛА

Из общей формальной схемы функционирования СППР «СОЛА» (11) – (18) система управления выделяется как подсистема, которая раскрывает содержание операторного отображения, формирующего координирующие и управляющие воздействия. Структурное состояние подсистемы управления описывается подматрицей матрицы  $R$  (2) и определяется бинарными отношениями по информации  $r_{ij}^I$  и по управлению  $r_{ij}^U$ . Информационная структура этой подсистемы отражает иерархическую природу

организации управления СППР, т.к. каждому звену управления соответствует свой уровень описания состояния системы. Управление сводится к информационной координации работы подсистем нижних уровней путем постановки задач для подсистем всех уровней. Одной из основных особенностей управления здесь является неполная информируемость о ситуации для принятия решения по управлению. Это означает, что принятие решений во всех звеньях управления происходит в условиях различной степени неопределенности, которая существенно влияет на качество решений и, следовательно, на функционирование СППР. В формальной схеме мерой неопределенности могут служить энтропийные характеристики всей системы, ее подсистем и элементов. Здесь мы сталкиваемся с наибольшей трудностью – принципиальной неформализуемостью процессов оценивания ситуаций и принятия решений, которая не позволяет построить чисто формальный аналог подсистемы управления СППР. Поэтому приходится прибегать к использованию моделей и методов искусственного интеллекта, инженерии знаний, т.е. к интеллектуальным информационным технологиям поддержки производственных решений при разработке СОЛА [1, 4].

В соответствии с постановкой общей задачи формализации в п. 1 принимаем, что результат анализа ситуации по управлению – однозначная функция степени информированности подсистем, а решение – однозначная функция оценки ситуации. Такая жестко детерминированная схема требует параметрического задания характеристик оператора преобразования информации, а также различных условий, влияющих на оценку ситуаций. Деятельность службы информации определим как отображение  $\hat{Q}$  реального состояния системы  $\{H\}$  в информационный образ системы  $H^Q$ , т.е.

$$\hat{Q}: \{H\} \rightarrow H^Q, \quad (19)$$

где  $H^Q = \{R^Q, G^Q, V^Q, W^Q\}$  в соответствии с выражениями (2 – 5).

Пусть операторное отображение  $\hat{E}$  реализует анализ и обобщение информации в СППР и определяет гипотезу о состоянии системы  $H^I$ :

$$\hat{E}: \{H^Q, I\} \rightarrow H^I, \quad (20)$$

где  $I = \{I_i, (r_{ij}^I)\}$ , т.е. информированность системы складывается из информированности элементов;

$H^I$  – предполагаемое состояние системы, исходя из которого ее координирующие и управляющие элементы принимают решения.

Тогда в общем виде информированность системы определяется последовательностью отображений  $\hat{Q}$  (19) и  $\hat{E}$  (20). Заметим, что существует некоторое предельное значение  $H_{пр}$ , для которого отображение (20) невозможно. Однако, имеется такое значение полной информированности  $H_n^Q$ , по которому можно полностью представить реальное состояние системы, т.е. существует

$$\hat{E} : \{H_n^Q, I\} \rightarrow H^I \equiv H.$$

Для наглядности и упрощения формализацию процесса управления СППР «СОЛА» рассмотрим на примере абстрактной двухуровневой системы управления  $A$ . Пусть  $A$  состоит из вышестоящего управляющего звена  $A_0$ , нижестоящих управляющих звеньев  $\{A_i\}$ ,  $i = \overline{1, m}$  и определенного производственного процесса создания стапельной оснастки ЛА. Реализация этого процесса обеспечивает целенаправленный переход СППР «СОЛА» из одного состояния в другое. Все множество указаний, распоряжений, команд, реализующих управление в системе  $A$ , можно представить вектором  $U = \{U_i\}$  (9). Множество  $U$  представим объединением:  $U = U_{0i} \cup U_i \cup U_0$ , где  $U_{0i}$  – координирующее,  $U_i$  – управляющее воздействия, а  $U_0$  – непосредственные управляющие воздействия  $A_0$  на исполнительные элементы. Под координирующим воздействием будем понимать согласование вышестоящим управляющим элементом деятельности нижестоящих управляющих элементов, а под управляющим воздействием – команду, определяющую конкретные значения параметров функционирования исполнительных элементов системы. Между элементами системы происходит обмен информацией  $I$  согласно подматрице  $\|r_{ij}^I\| \subset R$  (2) с учетом операторных отображений (19) и (20).

Процесс функционирования системы  $A$  на  $(n+1)$ -м шаге представим отображением

$$\Psi : \{H(n), U(n)\} \rightarrow H(n+1), \quad (21)$$

где  $H(n) = \{V(n), G(n), R(n), S(n), W(n)\}$  как аналог выражения (7).

Каждый управляющий элемент  $A_i$ , ( $i = \overline{1, q}$ ) связан по управлению и информации с определенным количеством исполнительных элементов. Совокупность всех элементов, входящих в сферу деятельности управляющих элементов  $A_i$ , образует подсистемы с состоянием  $H_i$ .

Управляющие воздействия  $U_i$  в  $i$  подсистемах определяют динамику  $i$  подпроцессов, которая описывается отображением

$$\Psi_i : \{H_i(n), U_i(n)\} \rightarrow H_i(n+1). \quad (22)$$

Взаимное влияние подпроцессов и их совокупное воздействие на процесс в целом определим с помощью функции взаимодействия  $\gamma$ , такой что

$$\Psi = \gamma \{ \Psi : \{H_i(n)\} \} \rightarrow \{H_i(n+1)\}. \quad (23)$$

Целенаправленная деятельность подсистемы  $A_i$  определяется координирующим воздействием  $U_{0i}$  вышестоящей управляющей подсистемы  $A_0$ . Структура координирующего воздействия  $U_{0i}$  содержит цели  $D_i(n)$  подсистемы  $A_i$ , которые могут быть заданы на конец определенного периода  $n'$ . Цель  $D_i(n')$  задается областью состояний подсистемы  $A_i$ , которой она должна достичь к моменту  $n'$ . Цель считается достигнутой, если  $H_i(n) \subset D_i(n')$  при  $n = n'$ . Кроме целей функционирования нижестоящей подсистемы координирующее воздействие  $U_{0i}$  содержит ограничения на параметры процесса  $H_i$  и на управление  $U_i^*$ , т.е.

$$U_{0i} = \{D_i(n'), H_i(n), U_i^*(n)\}, n = \overline{0, n'}. \quad (24)$$

В реальных СППР вышестоящая подсистема формирует цели нижестоящей в виде конкретных задач, которые должны быть решены к моменту времени  $n'$ . Ограничения  $U_i^*(n)$  в общем случае определяют предельные параметры системы на период выполнения поставленных задач. Все перечисленные составляющие координирующего воздействия содержатся в плане деятельности организации, который готовится заблаговременно. Область целей  $D_i(n')$  в процессе функционирования может уточняться. Поставленные сверху задачи подчинены внутренним целям подсистемы. Процесс целеполагания опишем отображением  $\Pi_{0i}$ :

$$\Pi_{0i} : \{U_{0i}, D_i^{BH}\} \rightarrow U_{0i}^i, \quad (25)$$

где  $D_i^{BH}$  – область внутренних целей подсистемы  $A_i$ ;

$U_{0i}$  – задачи подсистемы  $A_i$  на языке этой подсистемы.

Процесс целенаправленного сбора и обработки информации представим отображением

$$Q_i : \{U_i, U_{0i}\} \rightarrow H_i'. \quad (26)$$

Достоверность информации о состоянии подсистемы будем оценивать количественно посредством энтропии  $\mathcal{E}$  системы  $H_i'$ . Процесс формирования гипотезы о состоянии системы определим отображением  $E_i$  аналогично (20):

$$E_i : \{H_i', U_{0i}^i\} \rightarrow H_i^s. \quad (27)$$

Процесс принятия решений по управлению представим как выбор общего плана действий  $\hat{U}_i$ , т.е. последовательности действий во времени и пространстве, которые обеспечивают достижение цели, поставленной перед  $A_i$ . Например, в производстве СОЛА это может быть разработка технологического процесса. Представим этот процесс как выбор этапов функционирования подсистемы  $A_i$  из общего числа этапов  $b$  с текущим номером  $\beta = \overline{1, b}$ :

$$\hat{U}_i = \{D_i(\beta), H_i^*(\beta), U_i^*(\beta)\}, \quad (28)$$

где один этап содержит несколько шагов функционирования.

Лицо, принимающее решение (ЛПР) вместе с СППР для выбора  $U_i$  прогнозирует возможный ход событий на основе оценки ситуации  $H_i^s$  по различным вариантам декомпозиции  $\hat{U}_i$ . Из рассмотренных альтернатив выбирается та, которая обеспечивает достижение цели при оптимальном значении критерия декомпозиции  $\hat{K}_i$ . Выбор  $\hat{K}_i$  выделяется как самостоятельный этап процесса принятия решений. Определим процесс выбора  $\hat{K}_i$  и декомпозиции  $U_{0i}^i$  на его основе последовательностью отображений:

$$C_i : \{U_{0i}^i, H_i^s\} \rightarrow \hat{K}_i, \quad (29)$$

$$\hat{C}_i : \{\hat{K}_i, U_{0i}^i, H_i^s\} \rightarrow \hat{U}_i = \{D_i(\beta), H_i^*(\beta), U_i^*(\beta)\}, \quad (30)$$

$\forall \beta = \overline{1, b}$ , ( $b$  – общее число этапов)

где  $C_i$  – оператор выбора критерия декомпозиции;  $\hat{K}_i$ ;

$\hat{C}_i$  – оператор декомпозиции задач управляющей подсистемы  $A_i$  во времени и пространстве.

Заметим, что критерий  $\hat{K}_i$  многомерен и всегда отражает интуитивное понимание «хорошего» процесса в представлениях ЛПР. Поэтому формализовать операторы  $C_i$  и  $\hat{C}_i$  в явном виде не удастся,

но в качестве ориентиров при составлении плана все же вычисляются плановые показатели по моделям экономического баланса.

Для каждого этапа деятельности СППР «СОЛА» цели  $D_i(\beta)$  и ограничения  $H_i^*(\beta)$  и  $U_i^*(\beta)$  определяют характер действий исполнительных элементов, соответствующий сложившейся ситуации, а значит, и критериям выбора  $K_i(\beta)$  управляющих воздействий. Формализуем этот процесс для каждого  $\beta$ -го этапа последовательностью отображений  $C_i'$  и  $A_i$ :

$$C_i' : \{\hat{U}_i(\beta), H_i^s(\beta)\} \rightarrow K_i(\beta), \forall \beta = \overline{1, b}; \quad (31)$$

$$A_i : \{K_i(\beta), H_i^s(\beta), \hat{U}_i(\beta)\} \rightarrow U_i(\beta). \quad (32)$$

Таким образом, весь процесс синтеза управляющего воздействия в подсистеме  $A_i \in A$  представляется последовательностью отображений:  $P_{0i}$  (25),  $Q_i$  (26),  $E_i$  (27),  $C_i$  (29),  $\hat{C}_i$  (30),  $\hat{C}_i$  (31),  $A_i$  (32).

Однако, проблема формализации процесса управления иерархической СППР остается нерешенной, т.к. выбор критериев  $K_i$  и  $\hat{K}_i$  является прерогативой человека, а принятие решений по управлению связано со сложной умственной работой, его опытом, интуицией и мастерством. Именно в силу таких обстоятельств весьма актуальна разработка интеллектуальных информационных технологий (ИИТ) на базе использования средств инженерии квантов знаний [5], позволяющих моделировать и автоматизировать творческий труд конструктора и технолога.

Рассмотрим теперь *формализацию* процесса синтеза *координирующего воздействия*  $U_0 = \{U_{0i}\}$  в вышестоящем управляющем элементе  $A_0$  двухуровневой системы  $A$ . По существу этот процесс аналогичен формализации процесса синтеза *управляющего воздействия* (25)–(32) с тем отличием, что вышестоящая подсистема  $A_0$  координирует действия нижестоящих элементов путем постановки им задач и ограничений, а также осуществляет декомпозицию процесса  $\Psi$  вида (21) на подпроцессы  $\Psi_i$  (22) как области состояний. Задачи подсистемы  $A_0$  определяются некоторой областью  $D_0(\alpha)$  состояний процесса на конец периода функционирования  $\alpha$ . Заданы ограничения на параметры процесса  $H_0^*(n)$  и управления  $U^*(n)$ ,  $\forall n = \overline{1, \alpha}$ . Заме-



тим, что задача  $A_0$  координирующего элемента

$$U^A = \{D_0(\alpha), H_0^*(n), U_0^*(n)\} \quad (33)$$

формируется на языке более широкой, чем  $A$  системы, а границы области  $D_0(\alpha)$  и ограничения  $H_0^*(n)$ ,  $U_0^*(n)$  определяются на языке подсистемы  $A_0$  и могут интерпретироваться в широких пределах. Это объясняется тем, что при прогнозировании будущих событий более широкой системой слишком велика неопределенность будущего состояния системы  $A$ .

Представим формально с необходимым обоснованием процесс управления в координирующей подсистеме  $A_0$  последовательностью математических отображений. Процесс сбора информации о параметрах состояния системы  $H_0^Q$  опишем операторным отображением  $\hat{Q}_0$  согласно (19):

$$\hat{Q}_0 : \{H, Q_0\} \rightarrow H_0^Q, \quad (34)$$

где  $H$  – фазовое пространство состояний СППР «СОЛА»;

$Q_0$  – реальное информационное состояние подсистемы  $A_0$ ;

$H_0^Q$  – информационный образ подсистемы  $A_0$ .

Эта новая информация  $H_0^Q$  анализируется совместно с информацией  $I_0$ , ранее накопленной в  $A_0$ , и задачей  $U^A$ , поставленной перед системой  $A$  высшим руководством. В результате анализа принимается некоторая гипотеза  $H_0^I$  о состоянии системы, которая служит основой всех дальнейших построений. Процесс анализа описывается операторным отображением  $E_0$ :

$$E_0 : \{H_0^Q, I_0, U^A\} \rightarrow H_0^I. \quad (35)$$

Цели и задачи  $U^A$ , а также гипотеза о состоянии системы  $H_0^I$  (35) служат основанием для выбора критерия декомпозиции  $K_0$  в соответствии с отображениями (29) и (30). Выбор  $K_0$  означает установление однозначной связи между целями управляющей подсистемы  $A_0$  и задачами  $U^A$ , предполагая прогнозирование функции взаимодействия  $\gamma_0$  подпроцессов  $\Psi_{0i}(H_i)$  согласно (23).

Формально выбор  $K_0$  опишем операторным отображением  $C_0$ :

$$C_0 : \{U^A, H_0\} \rightarrow \{K_0, \gamma_0\}. \quad (36)$$

Промежуток времени  $\nu$ , через который в  $A_0$  синтезируются координирующие воздействия и передаются в управляющие элементы  $A_i$ , представляет собой  $\nu$ -й этап, совпадающий с циклом управления вышестоящего элемента  $A_0$ . Составной этапом содержит целое число этапов  $\mu$ , а  $\nu$  в свою очередь разбивается самим нижестоящим элементом  $A_i$  на  $\beta$ -е этапы выполнения своей задачи  $U_{0i}$  (см. (26), (27)). Это и есть характерная черта процесса синтеза координирующих и управляющих воздействий в системе  $A$ , т.е. последовательная декомпозиция задач системы во времени и пространстве для всех звеньев иерархического управления. Обозначим через  $\bar{U}_0$  декомпозицию по этапам  $\mu$  процесса  $H(n)$  и задач  $U^A$ , поставленных перед подсистемой  $A_0$ , и пусть  $U'_0$  – решение, содержащее декомпозицию задач и ограничений по этапам  $\nu$  для каждого нижестоящего элемента  $A_i$ . Тогда декомпозицию  $\bar{U}_0$  пространства состояний  $\{H_i\}$ , задач  $\{D_0^\mu\}$  и ограничений  $\{H_0^{*\mu}, U_0^{*\mu}\}$  можно представить множеством

$$\bar{U}_0 = \{\{H_i\}, D_0(\mu), H_0^*(\mu), U_0^*(\mu)\} \quad (37)$$

и реализовать на множестве этапов  $\{\nu_{0i}\}$  посредством операторного отображения  $C'_0$ :

$$C'_0 : \{K_0, \gamma_0, H_0, U^A\} \rightarrow \bar{U}_0, \{\nu_{0i}\}. \quad (38)$$

Заметим, что нахождение функции взаимодействия  $\gamma_0$  или более подробного ее аналога  $\gamma_{0i}$  в явном виде – весьма трудная проблема [1].

После того, как оценена обстановка  $\{H_i\}$ , разнесены во времени и пространстве поставленные задачи для подсистемы  $A_0$ , появляется возможность сформулировать задачи  $U'_0$  нижестоящим управляющим элементам на первом этапе  $\mu$  функционирования  $A_0$  в множественном виде:

$$U'_0 = \{D_i(\nu), H_i^*(\nu), U_i^*(\nu)\}, \quad \forall i = \overline{1, m}. \quad (39)$$

Иными словами, производится декомпозиция задач всех нижестоящих управляющих элементов  $A_i$  по этапам  $\nu$ , в сумме составляющим этап  $\mu$ , т.е. фактически детализируется начальная декомпо-

зиция  $U'_0$  с помощью более подробной функции взаимодействия  $\gamma_{0i}$ . Этот процесс опишем операторным отображением  $C''_0$  с учетом (35)–(39):

$$C''_0 : \{K_0, \bar{U}_0, H_0^I\} \rightarrow U'_0. \quad (40)$$

Для нахождения наилучших альтернатив действий подсистем  $A_i$  на основании принятой гипотезы о состоянии системы и задач  $U'_0$  (39) выбираются критерии  $\{K'_{0i}\}$  оптимизации для всех  $A_i$  управляющих подсистем, а также критерий  $K'_0$  вида (29) относительно деятельности исполнительных элементов, подчиненных  $A_0$ . Выбор указанных критериев опишем операторным отображением  $C'''_0$  с учетом (35), (39), (40):

$$C'''_0 : \{U'_0, \gamma_{0i}, H_0^I\} \rightarrow \{\{K'_{0i}\}, \hat{K}_0\}. \quad (41)$$

Оператор (41) осуществляет выбор системы критериев  $\{K_{0i}\}$ , отражающей координирующие функции управляющей подсистемы  $A_0$ , а процесс согласования критериев  $\{K_{0i}\}$  и  $\hat{K}_0$  с критерием  $K_0$  представлен оператором  $C'_0$  (38) и  $C''_0$  (40).

Согласно указанным критериям синтезируются координирующие  $U_0$  и управляющие  $\bar{U}_0$  воздействия на нижестоящие подсистемы управления  $A_i$ , а также на исполнительные элементы с помощью последующих операторных отображений  $\Lambda$  и  $\bar{\Lambda}$ :

$$\Lambda : \{K'_{0i}, U'_0, H_0^I\} \rightarrow U_0; \quad (42)$$

$$\bar{\Lambda} = \{\hat{K}'_0, K'_0, H_0^I\} \rightarrow \bar{U}_0. \quad (43)$$

Итак, процесс синтеза координирующего воздействия в подсистеме  $A_0 \in A$  описывается последовательностью отображений:  $U^A$  (33),  $\hat{Q}_0$  (34),  $E_0$  (35),  $C_0$  (36),  $\bar{U}_0$  (37),  $C'_0$  (38),  $C''_0$  (40),  $C'''_0$  (41) и  $\Lambda$  (42),  $\bar{\Lambda}$  (43). Для полноты представления схемы синтеза управления СППР «СОЛА» рассмотрим присущий ей механизм адаптации системы к изменяющейся обстановке на примере двухуровневой иерархии.

Быстродействие и точность реакции системы управления на изменение обстановки – основные показатели ее совершенства. В связи с этим введем в формальное описание процессов синтеза управлений переменную времени.

Механизм адаптации для синтезируемого формального описания генерации управляющих (25) – (32) и координирующих (33) – (43) воздействий опишем следующим образом.

На незначительное изменение ситуации на этапе  $\beta$ , ( $\beta = \overline{1, b}$ ) нижестоящий управляющий элемент  $A_i$  реагирует изменением конкретного плана действий  $U_i(\beta)$ , т.е. вступает в действие оператор  $\Lambda_i$  (42), ( $i = \overline{1, m}$ ). При значительном изменении ситуации может измениться критерий и следовательно, план  $U_i(\beta)$ , т.е. срабатывают операторы  $C'_i$  (38) и  $\Lambda_i$  (42).

До принятия подсистемой  $A_0$  нового решения  $U_{0i}$  нижестоящая управляющая подсистема  $A_i$  выбирает такие критерии  $\hat{K}_i$  и  $K_i(\beta)$ , а следовательно,  $U_i$  и  $U_i(\beta)$ , чтобы отклонение текущего состояния  $A_i$  от ранее поставленных целей  $\hat{U}_i = \{D_i(\beta), H_i^*(\beta), U_i^*(\beta)\}$  (28) было минимальным.

Пронумеруем все операторы, реализующие воздействия по управлению в системе  $A$  (см. формулы (25) – (32) и (33) – (43)), снизу вверх по иерархии управления посредством индексов  $z = 1, 2, \dots, Z$ .

Обозначим через  $z=1$  самый нижний уровень синтеза управления –  $\bar{\Lambda}$  (43); через  $z=2$  – выбор критерия конкретного планирования  $C'''_0$  (41),  $C''_0$  (40),  $C'_0$  (38) и т.д. вплоть до  $z=Z$  с оператором  $E_0$  (35) управляющей подсистемы  $A_0$ . Разность между состоянием системы на соседних шагах процесса ( $n-1$ ) и ( $n$ ) обозначим через  $\Delta H_i^I$  и назовем гипотезой об изменении состояния системы (подсистемы или элемента):

$$\Delta H_i^I = H_i^I(n) - H_i^I(n-1). \quad (44)$$

Из содержательного анализа процесса управления СППР «СОЛА» следует, что каждому оператору в выражениях (34) – (43) соответствует такая область  $D_i(z)$ , что если разность  $\Delta H_i^I \in D_i(z)$ , то на гипотезу об изменении состояния подсистема управления реагирует на уровне  $z$ -го оператора. Каждому  $z$ -му оператору сопоставим время  $\tau_i^z$ , измеряемое в шагах процесса, которое затрачивается подсистемой управления для синтеза новых значений координирующих и управляющих воздействий.

При  $z = Z$  это будет время *полного цикла* синтеза координирующих и управляющих воздействий –  $\tau_i^u$ , (т.е.  $\tau_i^{z=Z} = \tau_i^u$ ).

При  $z = 1$   $\tau_i^{z=1}$  будет минимальным временем, необходимым для измерения конкретного плана  $U_i(\beta)$ .

Очевидно, время  $\tau_i^u$  является параметром управления, определяющим эффективность подсистемы управления, т.к. оно соответствует времени выполнения отдельных задач на этапах  $\beta$  нижестоящей подсистемой  $A_i$  и на этапах  $v$  – вышестоящей подсистемой  $A_0$ . Формально *координирующее воздействие*, согласно сказанному выше, представим в множественном виде

$$U_{0i} = \{D_i(v), H_i^*(v), U_{0i}^*(v), \tau_i^u(v)\},$$

где каждому этапу  $v$  соответствует время  $\tau_i^u$ .

Пусть  $n^z$  – момент времени (номер шага процесса), на котором произошло последнее изменение состояния системы, такое, что

$$\Delta H_i^I(n^z) \in D(z).$$

На изменение  $\Delta H_i^I(n^z)$  должен реагировать опера-

тор с номером  $z$  в момент  $\bar{n}_i$ . Здесь  $\bar{n}_i$  – номер шага последнего изменения управляющего воздействия от подсистемы  $A$  по отношению к моменту времени  $n$  работы системы, такому, что  $n \geq \bar{n}_i$  и  $n \geq n^z$ .

При этом условия динамику синтеза *координирующих и управляющих воздействий* представим соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} U_i(n+1) &= U_i(n), \text{ если } n - \bar{n}_i < \tau_i^u \\ \text{и } n - n^z < \tau_i^z \text{ для всех } z = 1, 2, \dots, Z; \\ U_i(n+1) &= U_i^z(\Delta H_i^I(n^z)), \text{ если } n - \bar{n}_i = \tau_i^u \\ \text{и } n - n^z \geq \tau_i^z \text{ для всех } z = 1, 2, \dots, Z; \end{aligned} \right\} (45)$$

где  $U_i^z$  – система операторов, начиная с уровня  $z$  до нижнего уровня, которая реагирует на изменение ситуации  $\Delta H_i^I(n^z)$ , происшедшее на  $n^z$ -м шаге процесса.

Очевидно, что при выполнении условий  $n - \bar{n}_i = 0 = \tau_{i=0}^u$  происходит *полный цикл синтеза*

управлений, т.е. работают все операторы управляющих подсистем в соответствии со *схемами* (25)–(32) и (33)–(34), а при  $i \neq 0$  – только операторы (25)–(32) нижестоящей управляющей подсистемы  $A_i$ . Если следующие друг за другом изменения состояния системы происходят через интервал времени  $(n_1^z - n_2^z) < \tau_i^z$ , то управляющая подсистема  $A_i$  не успевает реагировать на эти изменения, т.е. процесс становится неуправляемым. Следовательно, уравнения (45) выражают важнейшее свойство системы управления СППР – *адаптируемость* к изменяющейся обстановке. Параметры  $\tau_i^u$  и  $\tau_i^z$  полностью характеризуют свойства *адаптации* системы управления к изменениям внешней среды.

### Заключение

Таким образом, система полученных операторных отображений (11)–(18) представляет общий вид математической *схемы функционирования* с управлением СППР «СОЛА». Соотношения (25)–(43) и (45) в совокупности отвечают *формальной* схеме синтеза *координирующих и управляющих* воздействий двухуровневой подсистемы *управления* СППР «СОЛА» в условиях неопределенности и меняющейся обстановки.

### Литература

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
2. Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
3. Ларичев О.И. Качественные методы принятия решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука, 1996. – 208 с.
4. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И.Б. Сироджа. – К.: Наукова думка, 2002. – 490 с.
5. Бабушкин А.И. Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов / А.И. Бабушкин. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
6. Бабушкин А.А. Методологические основания разработки систем автоматизированного проектирования приспособлений для сборки летательных аппаратов / А.А. Бабушкин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. научн. тр. – Харьков: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2007. – Вып. 37. – С. 25-34.

7. Бабушкин А.А. Обеспечение точности изготовления и точности увязки сборочных приспособлений в авиастроении / А.А. Бабушкин // Вісник Інженерної академії України. – 2008. – №1. – С. 8-11.

Поступила в редакцію 19.11.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор, зав. кафедри системотехники Э.Г. Петров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ПІДТРИМКИ  
РІШЕНЬ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СТАПЕЛЬНО-СКЛАДАЛЬНОГО  
ОСНАЩЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*І.Б. Сіроджа, О.А. Бабушкин*

Розроблено математичні схеми функціонування й управління ієрархічною системою підтримки прийняття рішень (СППР) при проектуванні стапельно-складального оснащення літальних апаратів (СОЛА) як етап системного дослідження проблеми прийняття рішень. На цьому етапі змістовні описи функціонування й управління СППР перетворені в тверду логічну форму причинно-наслідкових операторних відображень, які можуть бути використані для подальшого моделювання й створення автоматизованих систем комп'ютерної підтримки прийняття виробничих рішень.

**Ключові слова:** підтримка прийняття рішень, база квантів знань, формальна схема функціонування й управління СППР при проектуванні СОЛА.

**FORMALIZATION OF FUNCTIONING AND MANAGEMENT SYSTEM OF SUPPORT  
OF DECISIONS AT PLANNING OF ASSEMBLING RIGGINGS OF AIRCRAFTS**

*I.B. Sirodza, A.A. Babushkin*

The mathematical charts of functioning and management the hierarchical system of support of making a decision (SPPR) are developed at planning to ship-way-assembling riggings of aircrafts (SOL) as stage of system research of problem of making a decision. On this stage rich in content descriptions of functioning and management of SPPR are regenerate in the strict logical form of причинно-следственных operator reflections which can be utilized for a further design and creation of the automated systems of computer support of acceptance of production decisions.

**Key words:** support of making a decision, base of quanta of knowledges, formal chart of functioning and management of СППР at planning of СОЛА.

**Сіроджа Ігорь Борисович** – д-р техн. наук, проф., професор кафедри інженерії програмного забезпечення, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Бабушкин Александр Анатольевич** – ст. преподаватель кафедры финансов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.