

Д. И. КАРДАШ, А. И. ФРИД

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

В статье приводится анализ современного состояния автоматизированных систем организационного управления процессами производства и сопровождения изделий электронной техники. Предлагается способ их создания, опирающийся на нечеткую экспертную систему и систему поддержки принятия решений. Приведены примеры систем управления процессами разработки программного обеспечения и схемотехнической разработки. *Автоматизированная система организационного управления; управление проектом; нечеткая экспертная система; программное обеспечение; программируемые логические интегральные схемы*

ВВЕДЕНИЕ

Перспективы развития электронной техники (ЭТ) таковы, что все большее распространение приобретают системы, изменяющие свою структуру и параметры в зависимости от изменения условий эксплуатации, собственного состояния, функциональности, критериев качества функционирования. Одновременно с этим их структурная и размерная сложность значительно возрастает в ответ на увеличение объема предъявляемых к ним функциональных требований. В силу этого особую значимость приобретают процессы проектирования и сопровождения таких объектов, актуализируется задача обеспечения качества и функциональной полноты продуктов разработки.

Повышение сложности изделий ЭТ приводит к усложнению процессов их проектирования и сопровождения. Неотъемлемым участником процесса проектирования и сопровождения различных объектов является человек. Это определяет наличие ряда особенностей, минимизация негативного влияния которых позволит улучшить показатели качества, экономические и временные показатели производственных и эксплуатационных процессов.

Данная работа посвящена построению системы организационного управления (СОУ) проектированием процесса производства программного и аппаратного обеспечения ЭТ и построению для этой цели интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

1. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Известны системы управления менеджментом качества на предприятии, формализация бизнес-процессов (*WorkFlow*), *ERP*-системы [1]. Автоматизированная организация деятельности человека успешно применяется в различных областях, однако использование подобных СОУ при разработке технических объектов является недостаточным. В

качестве примера из области проектирования ЭТ на базе программируемых логических микросхем (ПЛИС) можно назвать формализацию процесса проектирования их внутренней схемотехнической конфигурации, называемую «маршрут проектирования» или *DesignFlow* [2]. Но автоматизация данного процесса управления развита слабо. В основном, речь идет о графическом описании последовательности предпринимаемых разработчиком действий. Наличие подобной автоматизированной СОУ (АСОУ) в программном продукте «*Libero*» фирмы производителя ПЛИС «*Actel*» существенно упрощает работу над проектом [3]. Однако существование этой системы управления заключается лишь в контроле выполнения последовательности этапов проектирования и передаваемых данных между элементами САПР. Решение об активизации того или иного перехода между этапами принимается исключительно разработчиком.

Объектом управления СОУ, в отличие от системы управления технологическими процессами, являются человеческие коллективы. При этом потребность автоматизации СОУ с учетом таких особенностей объектов разработки как нестационарность, плохая формализация, нечеткость и неоднозначность оценивания приводит к необходимости использования систем искусственного интеллекта.

Для успешной работы АСОУ необходимо проводить оценку качества как объекта организационного управления (человеческого коллектива), так и производимого им продукта. Многие из них носят нечеткий и плохо формализуемый характер, что приводит к необходимости использования систем искусственного интеллекта, в частности, аппарата нечеткой логики.

Под АСОУ понимается множество действий, алгоритмов и программного обеспечения поддержки принятия решений по образованию и совершенствованию временных, причинно-следственных и других взаимосвязей между его этапами [4]. Процесс проектирования можно представить в виде взаимоотношений основных элементов, приведенных на рис. 1. На рисунке сплошным тоном выделены блоки, составляющие АСОУ. Штриховкой

выделены объекты управления. Это коллективы людей, совместная деятельность которых направлена на достижение наилучших значений целевой функции. Выполняя команды, данные субъекты осуществляют действия, необходимые для последовательной реализации каждого из этапов процесса проектирования. Отличительной особенностью предлагаемой АСОУ является определение характеристик продукта на основе нечетких метрических оценок.

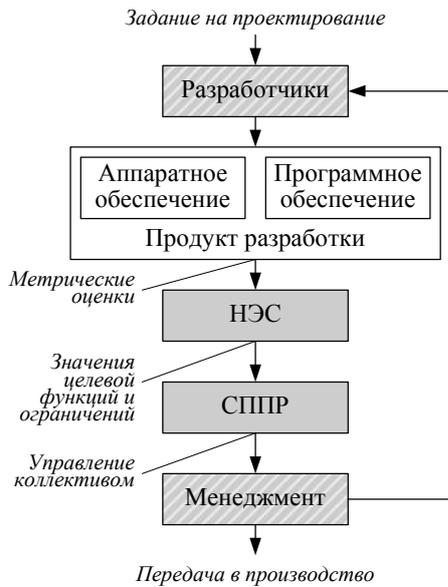


Рис. 1. Организационное управление процессом проектирования;

НЭС – нечеткая экспертная система, СППР – система поддержки принятия решений.

На основании метрических оценок нечеткая экспертная система (НЭС) определяет значение целевой функции и ограничений. После этого данная информация поступает на вход системы поддержки принятия решений (СППР), которая и обеспечивает окончательное принятие решений в блоке «Менеджмент». Настоящая работа, в первую очередь, посвящена разработке и анализу применения НЭС и СППР.

2. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В предлагаемой АСОУ рассматривается метрика (набор метрических оценок) объекта управления, принимаемая экспертом во внимание для оценки качества результирующего продукта. Каждой метрической оценке ставится в соответствие лингвистическая переменная (ЛП).

В качестве примера выходной лингвистической переменной можно принять «качество продукта». Для каждой ЛП определяются термы вида «малый», «средний», «высокий» и т.п., затем для каждого терма всех ЛП определяются функции принадлежности (ФП) на соответствующих универсумах. ЛП ω («Качество продукта»), может быть определена следующим множеством: $\omega = \langle \omega, T, Y, G, M \rangle$, где $Y = [0, 1]$; $T = [$ «Низкое каче-

ство», «среднее качество», «высокое качество»]; G – процедура образования новых термов с помощью логических связей «И», «ИЛИ», модификаторов «очень», «НЕ», «слегка» и т.п. Может не использоваться или использоваться ограниченно; M – семантическая процедура задания на универсуме Y нечетких переменных соответствующих термам T , $G(T)$. Подобный подход более подробно показан для управления проектированием ПО в работах [5 - 7, 11].

На рис. 2 показан вид ФП для термов лингвистической переменной «качество продукта». В целях лаконичности последующей записи в базе правил нечетких продукций термам были даны мнемонические обозначения QSW1-QSW3. Как видно из рисунка для терма QSW1 используется z -функция принадлежности, для терма QSW2 – π -функция, для терма QSW3 – s -функция.

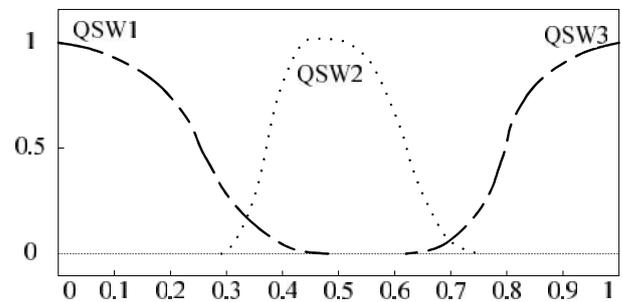


Рис. 2. Вид функций принадлежности для термов ЛП «Качество продукта»

Аналогичным образом предлагается определять термы и их ФП и для входных ЛП. В таблице 1 перечислены примеры метрических оценок, их характеристики и соответствующие им ЛП.

На основании рассматриваемых функций принадлежности и термов, создается база лингвистических правил, которая состоит из конструкций вида: ЕСЛИ «Уровень средств разработки высокий» И «Квалификация разработчика высока» И «Размерность объекта разработки невелика» И «Длительность тестирования значительная» И «Интенсификация процесса разработки невелика» ТО «Качество продукта очень высокое».

Для построения по данному примеру базы нечетких продукций, учитывающей все возможные значения входных ЛП, потребуется $6^3 = 729$ нечетких продукций, так как число входных переменных 6, а число термов для каждой ЛП равно трем. Однако, проанализировав возможные ситуации, можно задать правила, которые существенно ограничат количество продукций.

В базе правил используются высказывания, объединенные операцией нечеткой конъюнкции. В качестве метода агрегирования предлагается использовать метод минимального значения: $T(A \wedge B) = \min\{T(A), T(B)\}$, где T – функция истинности высказывания, A и B – лингвистические высказывания.

Таблица 1

Пример множества метрических оценок процесса проектирования

Метрическая оценка	Диапазон значений	Примечание	Обозначение термов
Тип инструментария разработки	[0-1]	Экспертная оценка	SWT1-SWT3
Размерность объекта разработки	[500-5000]	Количество связей в объекте разработки	CNT1-CNT3
Квалификация разработчика (коллектива разработчиков)	[0-1]	1 – высокая квалификация	EXP1-EXP3
Количество ошибок, выявленных и исправленных в процессе тестирования	[0-100]		ERR1-ERR3
Длительность тестирования, дней	[1-10]		DUR1-DUR3
Интенсификация процесса разработки	[0-1]	1 – крайне сжатые сроки	CMP1-CMP3
Качество продукта	[0-1]		QSW1-QSW3

Для выбора метода импликации будем руководствоваться рекомендациями, описанными в литературе, которые говорят о целесообразности использования попарно согласованных методов в системах нечеткого вывода [9]. Это означает, что если на одном из этапов нечеткого вывода используется \min или \max методы, то на остальных этапах должны применяться они же. Таким образом, метод импликации - $\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}$, где $\mu'(y)$ – результирующая ФП выходной ЛП, c_i – степень истинности i -го высказывания для данной выходной ЛП.

Аналогично, для метода агрегирования выберем \max метод, поскольку на остальных этапах нечеткого вывода используются не алгебраические методы.

В качестве метода дефаззификации выберем метод центра тяжести:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}.$$

В качестве алгоритма нечеткого вывода предлагается использовать алгоритм Мамдани [8].

Таким образом, могут быть подвергнуты метрической оценке различные нечеткие и плохо формализуемые параметры объекта проектирования.

3. СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Для построения АСОУ необходима СППР, в процессе разработки, используемая для получения управляющих сигналов для инициации переходов между этапами этого процесса. Наличие состояний и переходов между ними является предпосылкой к созданию вычислительной реализации такой системы в виде сети, подобной сети Петри. Существ-

ующее разнообразие видов сетей Петри позволяет моделировать и исследовать процессы в различных областях науки. Можно предложить подкласс сетей Петри [5], известный как сети *S7-GRAPH*, использующиеся при реализации визуального программирования в *SIMATIC S7* [12], соответствующие стандарту *EN 61131-3*. Данный выбор обусловлен наличием в сетях *S7-GRAPH* необходимого базового формализма для создания СППР.

Предлагаемая СППР в формализме сетей *S7-GRAPH* задана кортежем множеств $G=(S, A, T, C, F_A, F_C, I, O, \delta)$, где:

- $S = [s_1, s_2, \dots, s_n]$ – конечное множество состояний (этапов) системы;
- $T = [t_1, t_2, \dots, t_m]$ – конечное множество переходов в сети;
- $A = [a_1, a_2, \dots, a_l]$ – конечное множество действий, связанных с состояниями;
- $C = [c_1, c_2, \dots, c_k]$ – конечное множество условий срабатывания переходов из T ;
- FA – функция принадлежности действий состояниям, которая определяется как отображение $FA: S \rightarrow A$;
- FC – функция принадлежности условий переходам, которая определяется как отображение $FC: T \rightarrow C$;
- I – входная функция переходов, которая определяется как отображение $I: S \rightarrow T$;
- O – выходная функция переходов, которая определяется как отображение $O: T \rightarrow S$;
- δ – набор семантических процедур, алгоритм управления срабатыванием переходов в сети, управляющий процессом разработки на каждом его этапе.

Каждая вершина сети соответствует тому или иному элементу процесса проектирования или изготовления. При этом вершины могут подвергаться процессам композиции/декомпозиции. В вершине

могут находиться маркеры, связанные с конкретными объектами разработки (проектами, аппаратными или информационными прототипами и т.п.). Каждый маркер содержит в себе набор переменных, характеризующих состояние объекта. Находящийся в вершине графа маркер взаимодействует с вершиной, как изменяя свои внутренние переменные (метрику объекта проектирования), так и вызывая генерацию команд по прохождению этапов маршрута проектирования.

Нахождение маркера в вершине соответствует команде выполнять определяемое вершиной действие над объектом. В процессе выполнения действия вершины переменные маркера меняются в зависимости от произведенных изменений.

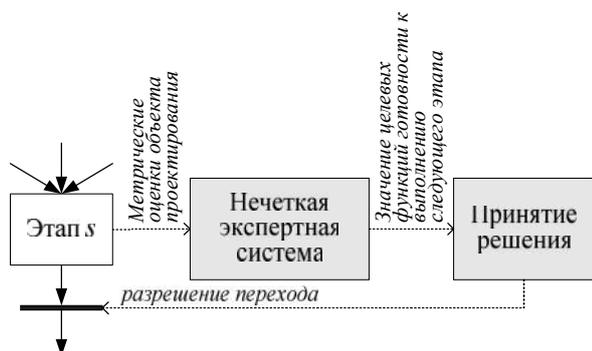


Рис. 3. Структура управления переходом

Управление селектором перехода в такой сети возлагается не на переход, а на элемент нечеткой экспертной системы, относящийся к каждой конкретной вершине.

При этом происходит изменение значений множества метрических оценок. Определение целевых характеристик может быть осуществлено, например, на основании стандарта [13].

Таким образом, совокупность предлагаемого формализма представления процессов проектирования и методики построения НЭС в рамках приведенной структуры организационного управления представляют собой способ построения АСОУ процесса проектирования объектов различной природы.

4. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Приведенная выше экспертная система нечеткого вывода и модель процесса разработки легко подвергаются компьютеризации и могут быть использованы в составе АСОУ различного назначения. Рассматривая множество различных областей использования АСОУ, можно выделить две области, в которых применение АСОУ видится наиболее перспективным. Этими областями являются: разработка и модернизация ПО, а также проектирования устройств электронной техники на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

4.1. Система организационного управления процессом разработки управляющего программного обеспечения

При построении АСОУ процессом разработки и реинжиниринга управляющего ПО (УПО) может быть использован набор метрических оценок, входящих в метрики Холстеда, Джилба и др. [14]. Его состав открытый и может быть изменен при построении или модернизации АСОУ. На их основе строится НЭС управления процессом разработки и сопровождения УПО. Данная система управления более подробно представлена в [11].

Процесс разработки УПО может быть разбит на ряд этапов, переходы между которыми строго детерминированы. Элементами этого множества являются: s_1 = «Постановка задачи предметной области», s_2 = «Выбор инструментальных средств разработки, коллектива программистов», s_3 = «модифицирующей программы», s_4 = «статическое и динамическое тестирование программы на эмуляторах», s_5 = «Динамическое тестирование программы на целевой платформе», s_6 = «Ввод в эксплуатацию».

Таблица 2

Элементы СППР процесса разработки УПО

Элемент множества S	Элемент множества A	Семантика действия
s_1	a_1	Определение экономической целесообразности модернизации ПО, возможности реализации и сроков.
s_2	a_2	Оценка используемых инструментальных средств разработки.
s_2	a_3	Получение количественных значений набора метрических оценок, используемых в дальнейшем для оценки модифицированного УПО.
s_3	a_4	Проверка наличия всех функций, реализующих поставленную задачу.
s_3	a_5	Получение метрики, служащей в дальнейшем для оценки УПО.
s_4	a_6	Проверка функциональности и безошибочности программы.
s_4	a_7	Получение количественных значений набора метрических оценок для данного этапа
s_5	a_8	Определение количественного значения показателей, характеризующих работу УПО по отношению к объекту управления и вычислительным средствам
s_6	a_9	Создание контрольной точки для возможности возврата к немодифицированному УПО
s_6	a_{10}	Модификация УПО

На рис. 4 представлен граф СППР в процессе разработки УПО.

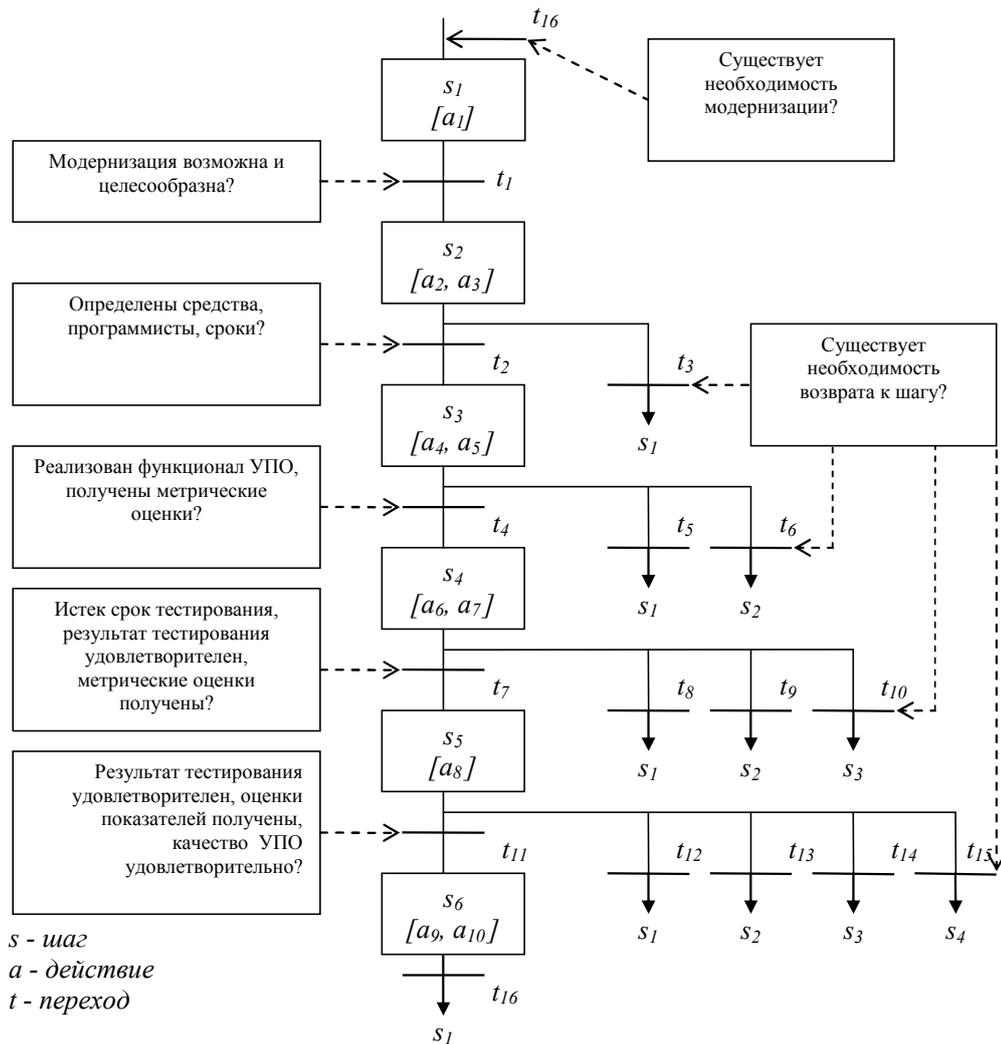


Рис. 4. Система поддержки принятия решений в процессе разработки УПО

Каждому состоянию из S соответствует действие из множества A . Такое соответствие задается отображением F_A . Отображение F_A задано таблицей 2, в которой перечислены элементы множества A , связанные с состояниями из множества S .

Последовательные срабатывания переходов при возникновении условий, связанных с этими переходами, переводят модификацию УПО из одного состояния в другое. Некоторые из переходов, как показано на рисунке, возвращают модификацию УПО в одно из предыдущих состояний, если возникает такая необходимость.

Таким образом, автоматизированное организационное управление процессом разработки и сопровождения УПО предполагает выполнение заданных в текущей позиции действий, которым предшествует наступление условия перехода в данную позицию.

Вычислительная реализация предложенной модели совместно со способом управления ее переходами позволяет осуществлять автоматизированное организационное управление процессом проектирования УПО. Данный подход был применен для

управления процессом разработки УПО матричного коммутатора аудио и видео сигналов KRAMER VS-162AV [11].

4.2. Система организационного управления маршрутом проектирования устройств на базе ПЛИС

Этот подход также применим и в управлении процессом проектирования конфигурации ПЛИС, управлении маршрутом проектирования. Примененные метрические оценки при организации процесса проектирования ЭТ на ПЛИС в настоящее время развито недостаточно. Преимущественно они используются для нахождения ответа на вопрос о возможности реализации схемы с помощью конкретной микросхемы ПЛИС. Построение АСОУ для применения в сфере разработки подобной техники является перспективным и позволяет повысить уровень её качества.

В качестве примера можно привести метрические оценки проекта, подготавливаемые САПР ПЛИС «*Quartus II*» фирмы *Altera* [10]. Так, секция общих характеристик проекта (*Flow Summary*) содержит такие оценки сложности проекта, как коли-

чество использованных логических элементов, макроячеек, устройств управления фазой тактовых сигналов, контактов применяемой микросхемы, объем занимаемой внутренней памяти и другие параметры.

Таблица 3

Элементы СППР управления маршрутом проектирования

Элемент множества S	Элемент множества A	Семантика действия
s_1	a_1	Подбор аналогов (IP -блоков) схмотехнических узлов.
s_1	a_2	Разработка прототипа конфигурации электрической принципиальной схемы. Определение параметров и осуществление синтеза конфигурационной информации.
s_2	a_3	Разработка тестов на основе технического задания на проектирование.
s_3	a_4	Разработка или модернизация тестов на основе результатов проектирования. Проверка функциональности и безошибочности разработанной электрической принципиальной схемы.
s_3	a_5	Функциональная верификация электрической принципиальной схемы на аппаратном симуляторе.
s_4	a_6	Распределение внутренних схмотехнических ресурсов ПЛИС между элементами разрабатываемой схемы.
s_5	a_7	Получение количественных значений набора метрических оценок результатов размещения и трассировки.
s_6	a_8	
s_6	a_9	

Можно привести типовой маршрут проектирования устройств на базе ПЛИС (см. рис. 6). На рисунке цветом выделен блок разработки программ, который может находиться под управлением описанной выше АСОУ. Данный подход к построению АСОУ предполагает возможность декомпозиции и многоуровневого управления.

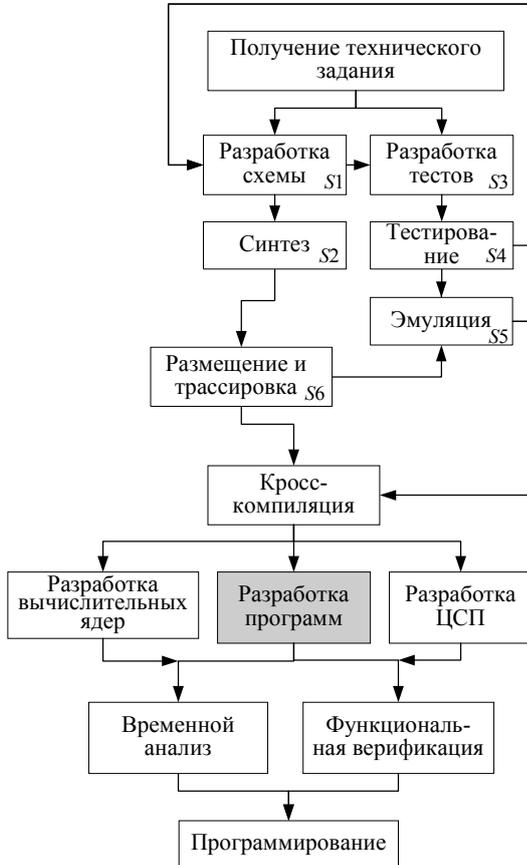


Рис. 6. Типовой маршрут проектирования устройств на базе ПЛИС; ЦСП – цифровой сигнальный процессор.

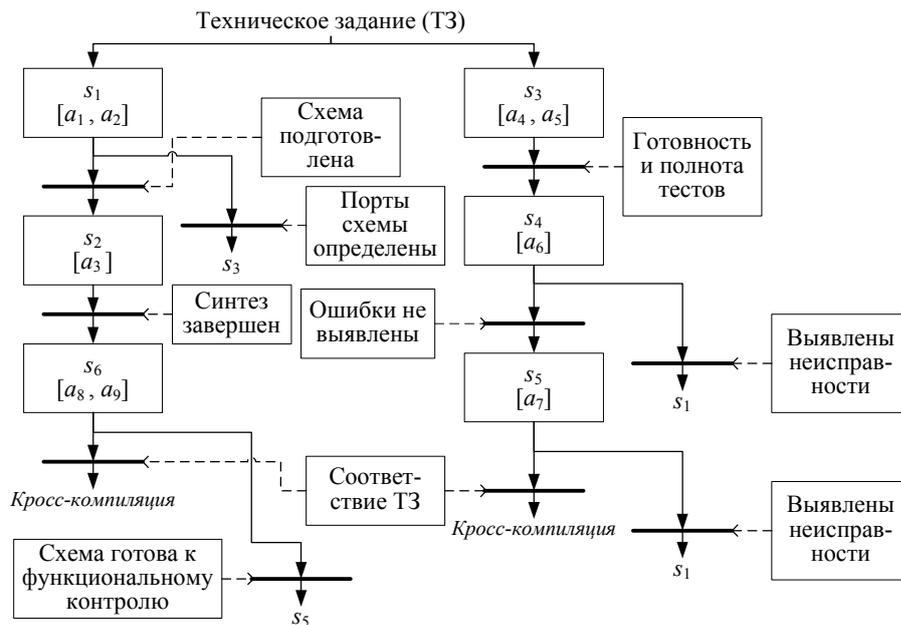


Рис. 5. Система поддержки принятия решений в процессе управления маршрутом проектирования

Д. И. Кардаш, А. И. Фрид • Интеллектуальная автоматизированная система...

На основании приведенного маршрута проектирования может быть построена модель процесса разработки изделий ЭТ на базе ПЛИС, аналогичная представленной на рис. 4. Ее совокупность с указанными метрическими оценками и разрабатываемой для нее НЭС составят АСОУ маршрутом проектирования. Для выделенных на рис. 6 этапов маршрута проектирования ($s_1 - s_6$) приведен список действий, выполняемых при разработке (см. табл. 3), и СППР в процессе управления маршрутом проектирования изделий ЭТ на базе ПЛИС (рис. 5).

Использование предложенной СППР позволит создать базу для построения автоматизированной системы управления процессом проектирования изделий ЭТ на базе ПЛИС.

ВЫВОДЫ

Предложен способ разработки АСОУ процесса проектирования объектов различной природы. Использование такой системы приведет к повышению качества конечного продукта (за счет достижения оптимальных значений целевых функций, на которые и опирается НЭС) и сокращению времени разработки (за счет формализации и автоматизации ряда действий во время организационного управления).

Данный способ ложится в основу создания методологической базы для разработки автоматизированной системы организационного управления проектами различной природы. Приведенные примеры его использования при проектировании как программного, так и аппаратного обеспечения, позволили получить однотипные системы управления, которые могут легко взаимодействовать между собой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт фирмы «Компас». [Электронный ресурс] // (<http://www.compas.ru/index.php>)
2. **Стешенко, В.** Проектирование СБИС типа «Система на кристалле». Маршрут проектирования. Синтез схемы. Часть 1 [Текст] / В. Стешенко [и. др.] // Электронные компоненты. М. 2009. № 1. С.14-21.
3. Сайт фирмы «Actel». [Электронный ресурс] // (<http://www.actel.com>).
4. **Бурков, В. Н., Новиков, Д. А.** Как управлять организациями [Текст] / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков // Синтез. М. 2003. 138 с.
5. Скрябин, А. М. Жизненный цикл композиционно-адаптируемого программного обеспечения [Текст] / А. М. Скрябин, Д. И. Кардаш // Аспирант и соискатель. М. 2008. № 2. С. 171–174.
6. Скрябин, А. М. Нечеткая экспертная система оценки управляющего программного обеспечения [Текст] / А. М. Скрябин, Д. И. Кардаш // Аспирант и соискатель. М. 2008. N 3. С. 137-140.
7. Скрябин, А. М. Методика реинжиниринга управляющих программ [Текст] / А.М. Скрябин, Д.И. Кардаш, А. И. Фрид // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. М. 2008. № 8. С. 30-35.
8. Пилинский, М. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / М. Пилинский, Л. Рутковский, Д. Рутковская. // Горячая линия – Телеком. М. 2004. 454 с.
9. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / Леоненков, А.В. // СПб.: БХВ. СПб., 2005. 736 с.
10. Сайт фирмы «Altera». [Электронный ресурс] // (<http://www.altera.com>)
11. Скрябин, А. М. Реинжиниринг программного обеспечения информационно-управляющих систем мобильных объектов с использованием средств искусственного интеллекта / А. М. Скрябин // Дис. канд. техн. наук. Уфа. 2008. 132 с.
12. SIMATIC S7-GRAPH V5.3 для S7-300/400. Программирование систем последовательного управления. Руководство [Электрон. ресурс.] // SIEMENS. - Редакция 02/2004 A5E00290656-01. (<http://www.automation.siemens.com>)
13. ГОСТ Р 51901.5-2005 Руководство по применению методов анализа надежности // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М., 2005. 28 с.
14. Андон, Ф.И. Основы инженерии качества программных систем [Текст] / Ф.И. Андон [и. др.] / Под ред. И.В. Сергиенко. // Академперіодика. Киев., 2007. 672 с.