

УДК 658.012.23

Ю.Н. Толкунова

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОИСКА И СИНТЕЗА ПРОТОТИПА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматриваются вопросы, связанные с созданием программных средств поиска и синтеза прототипа сложной технической системы (СТС) по требованиям заказчика для мультипроекта создания сложной техники. Проанализированы существующие информационные системы (ИС), отмечены их ограничения. Приводится структура и описание ИС поиска и синтеза прототипа (ПСП) СТС. ИС апробирована в процессе создания новых образцов из линейки рентгенотелевизионных систем (РТС), разрабатываемых на ГНПП «Объединение Коммунар». Приведены примеры поиска и синтеза прототипа РТС в соответствии с требованиями заказчика.

**Ключевые слова:** сложная техническая система, информационная система, поиск и синтез прототипа, требования заказчика.

### Введение

На сегодняшний день машиностроительными предприятиями широко используются инструменты и методы управления проектами при создании сложных технических систем (СТС). Это обусловлено рядом причин: созданием уникальной продукции под конкретный заказ потребителя, необходимостью контроля каждого этапа жизненного цикла продукта проекта, ограниченностью сроков и затрат на разработку и производство продукта проекта и т.д. Также украинскими предприятиями накоплен значительный опыт в разработке и производстве линеек СТС. В управлении проектами создания таких линеек хорошо зарекомендовал себя мультипроектный подход [1, 2]. В связи с этим возникает ряд задач управления мультипроектами: поиск и синтез образцов прототипов создаваемой СТС, использование опыта разработки прототипа при создании нового образца, оценка стоимости, сроков и рисков модификации найденного прототипа в соответствии с требованиями заказчика.

В настоящее время разработаны модели и методы решения данных задач [5 – 7], но отсутствует методика, позволяющая предоставить эффективный механизм автоматизированного поиска и синтеза СТС с учетом ее структурных и параметрических особенностей. Поэтому тема данной статьи является актуальной.

В работах [3, 4] предложены методы поиска и структурно-параметрического синтеза прототипа СТС. Для эффективного использования предложенных методов необходимо разработать ИС, которая позволит оперативно находить прототип СТС, с учетом нечетких знаний заказчика; производить расчет предварительной стоимости, сроков и рисков модернизации прототипа по требованиям заказчика, принимать решения об утверждении прототипа мультипроекта.

### 1. Структура ИС ПСП СТС

В настоящее время существует достаточное большое количество ИС и программных средств, разработанных на основе нечеткой логики и генетических алгоритмов [8 – 11], однако ни одна из них не позволяет произвести синтез прототипа СТС по требованиям заказчика с учетом структурных и параметрических характеристик. Поэтому в статье предложена ИС поиска и синтеза прототипа СТС, а также оценки стоимости, сроков и рисков модификации прототипа СТС в соответствии с требованиями заказчика, учитывающая ограничения имеющихся ИС.

В [12] приведены результаты сравнительного анализа таких современных средств моделирования и построения информационных систем, как BPWin, ERWin, ARIS, UML и другие. Данные средства поддерживают технологию объектно-ориентированного моделирования и позволяют построить интегрированную информационную систему организационного управления, промоделировать в ней различные процессы и системно спроектировать структуру базы данных и знаний. Однако каждая из систем имеет свои достоинства и недостатки и может быть использована в зависимости от поставленных задач и требований к проектируемой системе.

В данной работе для описания модели ИС был выбран язык UML, как эффективное средство моделирование самостоятельно функционирующих объектов, параметры которых могут изменяться независимо от функционирования других объектов [13].

Структура ИС представлена на рис. 1. Основными подсистемами ИС являются следующие:

- подсистема пользовательского интерфейса (Interface);
- подсистема морфологического анализа (Morphological analysis);

- подсистема управления базами данных и знаний (Database and Knowledgebase control);
- подсистема принятия решений с использованием ГА (Decision making (Genetic algorithm)).

Подсистема принятия решений с использованием ГА (Decision making (Genetic algorithm)) включает:

- класс «Выбор исходной популяции» (Creating FirstPopulation);
- класс «Accounting System», позволяющий производить расчеты;
  - подсистему «Нечеткое моделирование» (Fuzzy modeling);
  - подсистему «Генетические инструменты» (Genetic tools);
  - класс «Оценка приспособленности хромосом в популяции» (Estimation OfFitness);
  - класс «Проверка выполнения условия завершения» (Verification OfCompletion);
  - класс «Выбор наилучшей хромосомы» (BestChromosom).

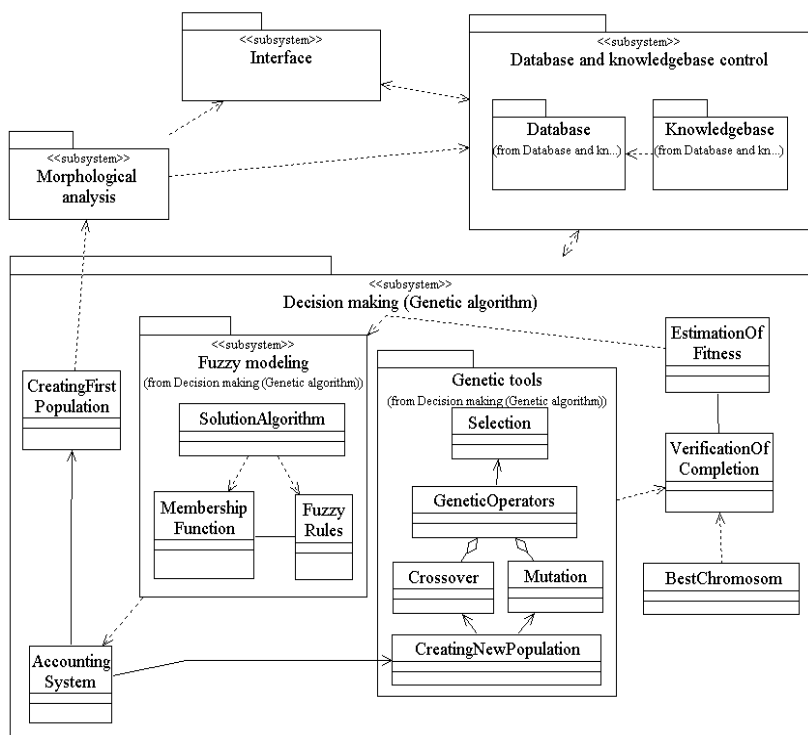


Рис. 1. Структура ИС

Подсистема пользовательского интерфейса (Interface) предназначена для взаимодействия пользователей системы (заказчика, разработчика, эксперта) с подсистемами управления БД и БЗ (Database and Knowledgebase control) и подсистемой морфологического анализа (Morphological analysis).

Подсистема морфологического анализа позволяет формировать морфологические таблицы и И-ИЛИ деревья на основании данных о альтернативах и совместимости подсистем. Морфологические таблицы формируются двумя способами:

- непосредственно пользователем системы в диалоговом режиме;
- с использованием баз данных функциональных подсистем, параметров, критериев качества, баз знаний решенных аналогичных задач.

Данные сформированной морфологической таблицы (И-ИЛИ дерева) используются системой принятия решений (Decision making (Genetic algorithm)).

Подсистема управления базами данных и знаний (Database and Knowledgebase control) управляет всеми базами данных и знаний системы и связана с подсистемой пользовательского интерфейса (Interface), подсистемой морфологического анализа (Morphological analysis) и подсистема принятия решений с использованием ГА (Decision making (Genetic algorithm)).

для оценки хромосом по критериям качества.

Подсистемой Fuzzy modeling включает классы MembershipFunction, FuzzyRules и SolutionAlgorithm. Класс MembershipFunction служит для построения функций принадлежности на основе правил, записанных в классе FuzzyRules. Класс SolutionAlgorithm, используя данные MembershipFunction и FuzzyRules и методы нечеткого логического вывода, производит оценку хромосом по критериям качества.

Класс EstimationOfFitness, на основе оценок полученных в подсистеме «Fuzzy modeling» определяет оценку приспособленности хромосом, проводя многокритериальную оптимизацию.

Класс VerificationOfCompletion проверяет выполнение условий завершения работы ГА. Если условие завершения выполнено, то производится переход к завершающему этапу выбора наилучшей хромосомы (класс BestChromosom). В противном случае происходит переход в подсистему Genetic tools.

Подсистема Genetic tools включает классы Selection, GeneticOperators, Crossover, Mutation и CreatingNewPopulation. Класс Selection выбирает (по рассчитанным значениям функциям приспособленности в классе EstimationOfFitness) хромосомы, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции. Отобранные хромосомы подвергаются воздействию генетических операторов в классе GeneticOperators. Этот класс агрегирует классы

Crossover, Mutation, описывающие генетические операторы скрещивания и мутации соответственно. Класс CreatingNewPopulation содержит хромосомы, полученные в результате применения генетических операторов. Хромосомы новой популяции передаются в класс AccountingSystem для новой итерации.

Если условие завершения выполнено класс BestChromosom выводит результаты работы, т.е. представляет искомое решение задачи.

ИС предлагает три режима работы: приобретение знаний, поиск прототипа СТС и синтез прототипа СТС.

## 2. Использование ИС для поиска прототипов СТС

Работу ИС будем рассматривать на примере рентгенотелевизионных систем (РТС). РТС разрабатываются ГНПП «Объединение Коммунар» и используются для таможенного контроля ручной клади, почтовых конвертов и посылок, автомобилей, фургонов, морских контейнеров, а также для дефектоскопии объектов. К основным эксплуатационным характеристикам РТС относятся: габаритные размеры объекта контроля, проникающая способность, грузоподъемность транспортера и обнаружительная способность.

Рассмотрим алгоритм работы ИС при выборе режима поиска прототипа СТС. Его обобщенно можно охарактеризовать следующими этапами:

- выбор класса РТС;
- выбор типа РТС;
- ввод данных об основных технических характеристиках РТС;
- работа алгоритма нечетких выводов. Как показано в работе [4] нечеткие знания  $R_{ik}$  (взаимосвязи между ТХ и СТС),  $P_k$ ,  $P_{ik}$  (достоверности утверждений) и  $Ch_k$  (наличие ТХ k) выражаются в виде ЛЗИ (VT, RT, PT, PF, RF, VF, UN). Заказчиком вводятся характеристики  $Ch_k$ . Используя алгоритм нечетких выводов [4], вычисляются знания  $R_{ik}$ ,  $P_k$ ,  $P_{ik}$  для k-й технической характеристики (ТХ) и i-й СТС,  $k=1, \dots, l$ ;  $i=1, \dots, m$ .

Достоверности  $P_k$ ,  $P_{ik}$ ,  $R_{ik}$ ,  $Ch_k$  определяются через интервалы их значений, вычисляются расстояния между ТХ и знаниями, сцепления  $\bar{u}_{ik}$  и вектора указания на наиболее близкую РТС  $s_i^\chi$  ( $\chi$  – условие существования решения).

Пример решение для РТС «Полискан-5», «Полискан-6», «Полискан-7» имеет вид

$$\begin{aligned} s_4^1 &= [0.8, 1], \\ s_5^2 &= [0.8, 1], \\ s_6^3 &= [0.4, 1]. \end{aligned}$$

В результате решения находим все РТС, удовлетворяющие введенным заказчиком ТХ. Как вид-

но из рис. 2, наиболее подходящими являются СТС с индексами  $i = 4$  и  $i = 5$ . Это РТС «Полискан-5» и «Полискан-6» для контроля почтовых отправок и малогабаритного багажа. Системой формируется результат поиска, показанный на рис. 2.

<b>Вами были выбраны следующие технические характеристики:</b>	
Вид объекта контроля:	почтовая посылка
Масса объекта контроля:	легкий
Проникающая способность:	небольшая
Обнаружительная способность:	средняя
<b>Результат поиска наиболее близкой СТС к данным характеристикам системы:</b>	
<u>Полискан-5" и "Полискан-6"</u>	
Степень истинности: [0.8, 1]	
<input type="button" value="Сохранить"/>	

Рис. 2. Результаты поиска СТС-прототипа по требованиям заказчика

## Использование информационной системы для синтеза прототипа СТС по требованиям заказчика

Начальным этапом функционирования ИС в режиме синтеза прототипа РТС по требованиям заказчика, также как и в режиме поиска, являются выбор класса и типа РТС. Затем выбираются подсистемы и типы подсистем (путем добавления (Add), рис. 3). В БД находится морфологическая таблица, содержащая функциональные подсистемы и структурные альтернативы реализации подсистем. В БЗ хранятся знания о совместимости выбираемых подсистем.

После того как пользователь выберет из выпадающего списка нужные альтернативные (структурные) варианты реализации функциональных подсистем, ему будет предложено ввести параметры для этих подсистем в соответствии с ТЗ.

Затем ИС формируется хромосома ТХ из действительных чисел для возможности дальнейшего применения аппарата ЭА и нечеткой логики. Схема работы нечеткого эволюционного метода показана в [3]. Кнопкой «ЭА» запускается работа нечеткого эволюционного метода синтеза прототипа.

Для каждой функциональной подсистемы альтернативного варианта вычисляется расстояние между ТХ подсистем РТС: из количественной характеристики РТС по ТЗ вычитается количественная характеристика прототипа.

Поиск наиболее близкого синтезированного варианта РТС производится исходя из стоимостных оценок модификации РТС, оценок модификации РТС по срокам и рискам (табл. 1, 2), вычисленных с помощью системы нечеткой логики по расстояниям между ТХ.

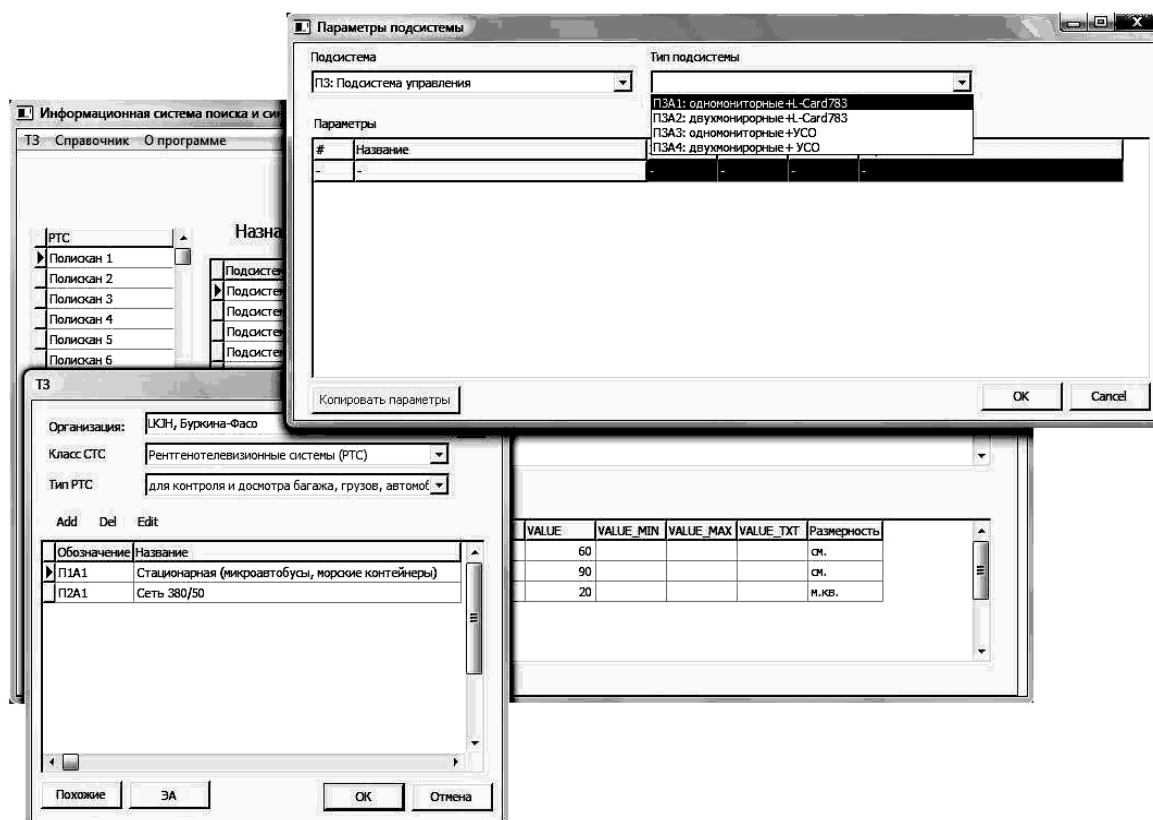


Рис. 3. Выбор подсистем и типов подсистем СТС

Таблица 1

Нечеткая матрица с расчетными оценки общего риска по совокупности всех факторов риска для каждого параметра доработки  $R_{\lambda k}^4$  СТС «Полискан-4»

$x_{ijk}$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$
$x_{411}$	4,614	6,236	3,072	2,078	0,000
$x_{412}$	4,248	7,397	2,89	1,465	0,000
$x_{421}$	3,996	7,201	2,884	1,919	0,000
$x_{422}$	6,842	6,056	3,094	0,008	0,000

Таблица 2

Суммарная нечеткая оценка общего риска по всем параметрам доработки  $R_{\lambda}^4$  СТС «Полискан-4»

СТС	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$
$i = 4$	19,7	26,89	11,94	5,47	0,000

$x_{ijk}$  - k-й параметр j-й подсистемы i-й СТС.

$V_{\lambda}$  – лингвистическая переменная для описания уровней риска и важности факторов риска, выберем с  $\delta = 5$  значениями терм-множества:  $V_1$  – очень низкий;  $V_2$  – низкий;  $V_3$  – средний;  $V_4$  – высокий;  $V_5$  – очень высокий

Центроиды значений  $V_{\lambda}$  на универсальном множестве  $\Omega = [0,1]$  будут равны [14]:

$$g(V_1) = 0,0833, \quad g(V_2) = 0,25, \quad g(V_3) = 0,5, \\ g(V_4) = 0,75, \quad g(V_5) = 0,9167.$$

В результате расчетов получаем итоговые значения риска доработки СТС:  $R^4 = 0,288$ .

Полученные оценки особей (прототипов РТС) по стоимости, срокам и рискам модификации используются для оценки особей, т.е. определения ранга и функции приспособленности хромосом на основе концепции доминирования по Парето (рис. 4).

Рис. 4. Фрагмент таблицы с результатами работы гибридного ЭА

На этапе селекции отбираются хромосомы с наибольшей функцией пригодности. ИС позволяет выбрать различные методы селекции: метод рулетки, аутбридинг, инбридинг. К отобранным хромосомам применяются эволюционные операторы. Условиями остановки работы алгоритма являются отсутствие улучшений в течение заданного числа

итераций (50 итераций) либо в течение заданного времени (1800 с.), также можно задать число поколений работы ЭА.

На рис. 4 показан фрагмент таблицы с результатами работы ЭА. СТС-прототипы представляются в порядке убывания функции пригодности, такими образом, «наилучшей хромосомой» является особь с первым порядковым номером. Двойным щелчком по соответствующему варианту особи можно посмотреть состав подсистем СТС.

## Выводы

В данной работе представлена структура ИС поиска и синтеза прототипа СТС. В статье отражены основные этапы работы ИС. Рассмотрены примеры поиска и синтеза прототипа РТС.

Предлагаемая ИС предназначена для использования в управлении мультипроектами создания СТС на этапе внешнего проектирования. ИС может быть полезна заказчикам, разработчикам и руководителям проектов создания СТС для оперативного поиска аналога, синтеза прототипа СТС и оценки стоимости, сроков и рисков модификации прототипа по ТЗ.

## Список литературы

1. Бурков В.Н. Модели и методы мультипроектного управления / В.Н. Бурков, О.Ф. Квон, Л.А. Цитович. – М.: ИПУ РАН, 1997. – 62 с.
2. Типовые решения в управлении проектами / Д.К. Васильев, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 84 с.
3. Толкунова Ю.Н. Нечеткий эволюционный метод поиска прототипа технической системы для мультипроекта создания сложной техники / Ю.Н. Толкунова // Збірка наукових праць Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ» «Відкриті інформаційні і комп'ютерні інтегровані технології». – 2010. – Вип. 46. – С. 268-276.
4. Толкунова Ю.Н. Экспертная система поиска аналога для мультипроекта создания сложной техники /

Ю.Н. Толкунова, Е.А. Дружинин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2009. – Вип. 3(77). – С. 171-176.

5. Лутай Л.Н. Оценка риска проекта по созданию нового образца авиационной техники с использованием прецедентного подхода / Л.Н. Лутай // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – №5(72). – С. 105-112.

6. Погудина О.К. Информационная система обоснования характеристик высокотехнологических проектов / О.К. Погудина, Д.В. Божко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – №3 (30). – С. 102-108.

7. Габчак О.К. Система поддержки принятия решений при выборе характеристик проекта создания сложной техники / О.К. Габчак, С.А. Яшин, Д.О. Горлов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – № 3 (29). – С. 77-81.

8. Материалы компании Logic Programming Associates Ltd. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.lpa.co.uk> (23.03.2009).

9. Материалы компании fuzzyTECH. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.fuzzytech.com> (23.03.2009).

10. Материалы компании Apronix. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.apronix.com> (23.03.2009).

11. Материалы компании MathWorks. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.mathworks.com/>

12. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта: пер. с франц. / Ж.-Л. Лорьер. – М.: Мир, 1991. – 568 с.

13. Мацяшек Л.А. Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML.: пер. с англ. / Л.А. Мацяшек. – М.: Вильямс, 2002. – 432 с.

14. Демидов Б.А. Методический подход к оценке риска модернизации образцов вооружения и военной техники в условиях нестохастической неопределенности / Б.А. Демидов, М.В. Науменко, О.А. Хмелевская // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – №3. – С. 127-135.

Поступила в редколлегию 4.12.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков.

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПОШУКУ ТА СИНТЕЗУ ПРОТОТИПУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Ю.М. Толкунова

Розглядаються питання, пов'язані зі створенням програмних засобів пошуку і синтезу прототипу складної технічної системи (СТС) за вимогами замовника для мультипроекту створення складної техніки. Проаналізовано існуючі інформаційні системи (ІС), відзначені їх обмеження. Наводиться структура та опис ІС пошуку та синтезу прототипу (ПСП) СТС. ІС апробована в процесі створення нових зразків з лінійки рентгенотелевізійних систем (РТС), які розроблюються на ДНВП «Об'єднання Комунар». Наведено приклади пошуку та синтезу прототипу РТС відповідно до вимог замовника.

**Ключові слова:** складна технічна система, інформаційна система, пошук і синтез прототипу, вимоги замовника.

## INFORMATION SEARCH AND SYNTHESIS SYSTEM OF PROTOTYPE SOPHISTICATED TECHNICAL MACHINERY

Yu.N. Tolkunova

The issues related to the creation of software search and synthesis prototype sophisticated technical machinery (STM) to the customer's requirements for multiproject sophisticated machinery. Analyzed the existing information systems (IS), marked their limitations. The structure and description of the IS search and synthesis of a prototype (SSP) STS. IS approved in the creation of new models of the line X-ray TV technology (RTS) developed by SSPE «Kommunar Corporation». Examples of search and synthesis prototype RTS according to customer requirements.

**Keywords:** sophisticated technical machinery, information system, search and synthesis prototype, customer requirements.