

УДК 658.012.23

Є.А. Дружинін, Ю.М. Толкунова

Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського «ХАІ», Україна

## АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто підходи до управління мультипроектами створення складних технічних систем (СТС), що дозволяють скорочувати терміни і вартість розробки таких систем. Побудовано модель етапу зовнішнього проектування СТС, засновану на принципах кастомізації і зворотного проектування. Досліджені методи ухвалення рішень в процесі структурно-параметричного синтезу СТС. Проведено критичний аналіз методів. Намічені перспективні напрями досліджень.

**Ключові слова:** мультипроект, складна технічна система, методи ухвалення рішень, структурно-параметричний синтез, генетичний алгоритм, нечітка логіка, методи морфологічного аналізу.

### Вступ

Продукція науково-виробничих підприємств характеризується широким спектром номенклатури й високим рівнем унікальності. Для керування програмою проектів таких підприємств доцільно застосовувати мультипроектний підхід [1] з максимальним використанням раніше накопиченого досвіду розробок, виробництва та керування, що дозволить, в умовах ринкових відносин забезпечити скорочення строків виходу нової продукції на ринок з високою якістю й, таким чином, забезпечити її високу конкурентоспроможність.

Розробка складної техніки в цей час в усьому світі здійснюється в умовах жорстких обмежень фінансових ресурсів. Однією з перспективних ідеологій при керуванні проектами створення складної техніки в цих умовах є методологія Lean Manufacturing (ощадливе виробництво). Lean Manufacturing – це філософія, що базується на ідеї безперервних поліпшень, що дозволяють ліквідувати ті види діяльності, які не створюють додаткової цінності [2]. Цілями ощадливого виробництва є: скорочення трудовитрат; скорочення строків розробки нової продукції; скорочення строків створення продукції; скорочення виробничих і складських площ; гарантія поставки продукції замовникові; максимальна якість при мінімальній вартості.

Ще один підхід до керування мультипроектами створення СТС – технологія паралельного (спільного) інжинірингу [3]. Паралельний інжиніринг – це підхід у технологіях підтримки життєвого циклу, що заміняє тривалий лінійний процес проектування й дорогих дослідно-конструкторських робіт на паралельний. Застосування цього підходу дозволяє мінімізувати час на розробку, поліпшити якість і, таким чином, підвищити конкурентоспроможність виробів.

Одним з перспективних напрямків розвитку цих підходів є використання раніше накопиченого досвіду при проектуванні нових СТС і розробка методів пошукового структурно-параметричного син-

тезу СТС.

Використання компонентів раніше розроблених систем дозволить знизити трудові та фінансові витрати на розробку, забезпечити певний рівень гарантованої ефективності розробки.

Пошукова задача структурно-параметричного синтезу при розробці нової складної технічної системи виникає на концептуальній стадії проекту на етапі зовнішнього проектування. Цей етап характеризується неповнотою й неточністю інформації. Дані, на концептуальній стадії проекту, мають багатозначний характер. Тому виникає необхідність у методах підтримки ухвалення рішення на початкових стадіях проектів у процесі пошуку, формування та вибору прототипів СТС.

**Метою даної статті** є критичний аналіз існуючих методів прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу СТС та моделювання етапу зовнішнього проектування СТС.

### 1. Модель етапу зовнішнього проектування СТС

Лінійка продуктів, що розроблюються у рамках реалізації програми (мультипроекта) створення СТС, може містити ряд схожих підсистем і елементів. Для ефективного керування такою програмою, доцільно розробити моделі, що дозволяють урахувати й застосовувати раніше накопичений досвід при проектуванні нових СТС, що продовжує лінійку продуктів програми.

Пропонований підхід до моделювання етапу зовнішнього проектування СТС ґрунтується на таких системних принципах:

- кастомізації;
- зворотного проектування.

Принцип кастомізації припускає виготовлення продукції під конкретне замовлення споживача шляхом її комплектації додатковими елементами. Технічна система, на яку може поширюватися кастомізація повинна володіти [7]:

– загальним для всіх моделей функціональним центром, що не міняється залежно від бажання замовника;

– широким спектром опцій, які може вибирати замовник, серед яких можуть бути як функціональні характеристики, так і суб'єктивні характеристики у відповідність зі смаком замовника.

Зворотне проектування – це дослідження деякого виробу, а також документації на нього з метою зрозуміти принцип його роботи й, найчастіше, відтворити виріб з аналогічними властивостями, але без копіювання як такого. Принцип зворотного проектування вивчає діяльність уже існуючого рішення, після чого результати аналізу можуть бути використані для поліпшення системи або для розробки нових рішень [6]. Для здійснення цього принципу пропонується наступне: використовувати сукупність раніше отриманого досвіду рішень, у рамках яких на етапі зовнішнього проектування можна було б провадити процес адаптації на конкретну систему відповідно до вимог замовника.

Розглянемо принцип, по якому множина характеристик конкретної реалізації  $X^*$ , що задаються "технічними вимогами" замовника до спроектованої системи, ставиться у відповідність із множиною вихідних характеристик раніше розроблених систем  $X$  (систем-прототипів).

Нехай задані множина  $X$ , що містить "n" характеристик з дискретними й безперервними параметрами вихідної системи, і множина  $X^*$ , що містить "n\*" характеристик, що описують "технічні вимоги" до конкретного рішення:

$$X = \bigcup_{i=1}^n X_i \quad \text{і} \quad X^* = \bigcup_{i=1}^{n^*} X_i^*$$

Для простоти, без втрати спільності рішення, можна покласти  $n=n^*$ , тобто привести у відповідність перелік характеристик конкретного рішення до характеристик рішення-прототипу.

Рішення (рис. 1, б), з максимальним використанням раніше накопиченого досвіду

$$X^M = X \cap X^*$$

буде існувати й буде економічно виправданим, якщо виконуються наступні умови.

Умова 1. Можливість створення рішення  $X^M$  визначається наявністю або відсутністю перетинання множини рішення-прототипу  $X$  з множиною необхідної конкретної реалізації  $X^*$  (рис. 1, а). Інакше кажучи, запропоновану модель на базі рішення-прототипу на етапі зовнішнього проектування можна використовувати, якщо при однакових зовнішніх впливах на певному інтервалі часу виконується умова:

$$X \cap X^* \neq \emptyset.$$

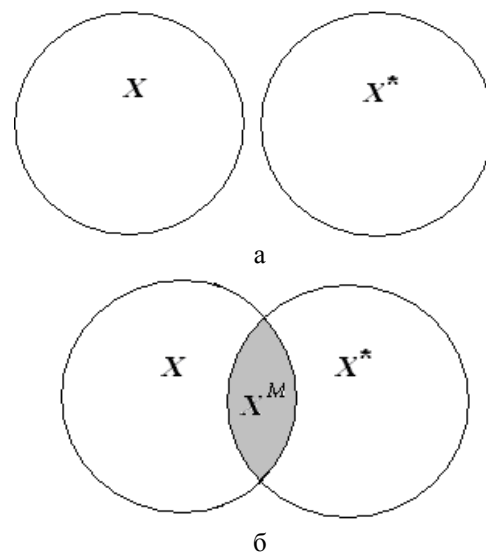


Рис. 1. Система-прототип, конкретна реалізація по ТЗ – а; і перетинання множин  $X^M$  – б

Умова 2. Якщо варіювати множину  $X$  різними значеннями технічних показників, що відповідають функціонально-повним варіантам компонування й комплектації так, щоб множина характеристик рішення-прототипу  $X$  покривало погоджені із замовником технічні вимоги конкретного рішення  $X^*$ , то область економічно виправданого рішення  $X^M$  може бути визначена.

## 2. Задачі структурно-параметричного синтезу та ухвалення рішення

Для ефективного використання моделі, запропонованої в першому розділі цієї статті, необхідно розробити методи ухвалення рішення в процесі пошуку, формування й вибору прототипу СТС що відповідає вимогам замовника.

Прийняття рішень є найважливішим компонентом систем керування проектами й програмами, коли необхідно вирішувати завдання планування, проектування, виробництва, розподілу й регулювання ресурсів з урахуванням всіх обмежень. Керівники проектів рідко домагаються успіхів, якщо не володіють або не використовують методи прийняття обґрунтованих рішень.

Прийняття проектних рішень охоплює широке коло завдань і процедур – від вибору варіантів до задач творчого характеру, що не мають формального способу рішення. Однієї із завдань творчого характеру є задача структурно-параметричного синтезу. Оскільки всі об'єкти й системи на певному рівні розгляду мають структуру, а елементи, що становлять структуру, мають параметри, то практично будь-яка задача проектування може бути зведена до задачі структурно-параметричного синтезу. Ці завдання ставляться до тих, що найбільш важко формалізуються. Саме із цієї причини структурно-параметричний синтез, як правило, виконується ін-

женером-розроблювачем, а ПЕОМ використовується як допоміжний засіб.

Постановки й методи рішення задач структурно-параметричного синтезу у зв'язку із труднощами формалізації не досягли ступеня узагальнення й деталізації, властивої математичному забезпеченню процедур аналізу. Досягнутий ступінь узагальнення виражається у встановленні типової послідовності дій і використовуваних видів описів при їхніх перетвореннях у САПР. Вихідний опис, як правило, являє собою ТЗ на проектування, згідно з ним складають опис на деякій формальній мові, що є вхідною мовою використовуваних підсистем САПР. Потім виконують перетворення описів, і одержуваний підсумковий для даного етапу опис документують [8].

Прийняття проектних рішень у процесі структурно-параметричного синтезу включає такі етапи:

- 1) формалізація вихідного опису й подання множини альтернатив (X);
- 2) оцінка поєднань і сумісності елементів;
- 3) вибір критеріїв (K) для оцінки ефективності отриманого рішення;
- 4) визначення моделі розрахунку якості альтернатив за заданими критеріями ( $X \rightarrow K$ );
- 5) визначення правил вибору оптимального рішення.

Для рішення задач, що виникають на кожному з описаних етапів, у цей час розроблено ряд методів. У наступних розділах даної статті проведено аналіз цих методів, визначено найбільш перспективні з них для формування комплексного методу ухвалення рішення в процесі структурно-параметричного синтезу нової СТС, що відповідає вимогам замовника, з максимальним використанням накопиченого досвіду.

### 3. Подання множини альтернатив

Кожній альтернативі конкретного зразка можна поставити у відповідність значення впорядкованої множини (набору) атрибутів  $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ , що характеризують властивості альтернативи. При цьому  $x_i$  може бути величиною типу *real*, *integer*, *Boolean*, *string* (в останньому випадку величину називають предметною або лінгвістичною) [8]. Множину X називають записом (у теорії баз даних), фреймом (у штучному інтелекті) або хромосомою (у генетичних алгоритмах).

Властива проектним завданням невизначеність і нечіткість вихідних даних, а іноді й моделей, диктують використання спеціальних методів кількісного формулювання вихідних нечітких даних і відносин. Ці спеціальні методи або ставляться до області побудови вимірювальних шкал, або є методом теорії нечітких множин.

Вимірювальні шкали можуть бути:

1. абсолютними;

2. номінальними (класифікаційними), значення шкали представляють класи еквівалентності, прикладом може служити шкала кольорів; такі шкали відповідають величинам нечіткісного характеру;

3. порядковими, якщо між об'єктами A й B встановлено одне з наступних відносин: простого порядку, що говорить, що якщо A краще B, то B гірше A, і дотримується транзитивність; або слабого порядку, тобто або A не гірше B, або A не краще B; або часткового порядку;

4. інтервальними, що відображають кількісні відносини інтервалів.

Найпростіший спосіб завдання множини альтернатив A явне перерахування всіх альтернатив. Семантика й форма опису альтернатив істотно залежать від прикладення. Для подання таких описів у пам'яті ПЕОМ і доступу до них використовують інформаційно-пошукові системи (ИПС). Кожній альтернативі в ИПС відповідає пошуковий образ, що складається зі значень атрибутів  $x_i$  і ключових слів вербальних характеристик [8].

Явне перерахування альтернатив при поданні множини альтернатив можливо лише при малій потужності X. Тому в більшості випадків використовують неявний опис X у виді способу (алгоритму або набору правил) синтезу проектних рішень із обмеженого набору елементів.

У більшості випадків структурно-параметричного синтезу математична модель у вигляді алгоритму, що дозволяє по заданій множині X й заданій структурі об'єкта розрахувати вектор критеріїв K, виявляється невідомою. У такому випадку намагаються використовувати підхід на базі систем штучного інтелекту.

Якщо всі керовані параметри альтернатив, позначувані у вигляді множини X, є кількісними оцінками, то використовують наближені методи оптимізації. Якщо у X входять також параметри нечіткісного характеру й простір X неметризує, то перспективними є еволюційні методи обчислень, серед яких найбільш розвинені генетичні методи. Нарешті, під час відсутності обґрунтованих моделей їх створюють, ґрунтуючись на експертних знаннях у вигляді деякої системи штучного інтелекту.

### 4. Критичний аналіз методів прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу СТС

Проаналізуємо методи рішення задачі прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу. Зокрема, структурно-параметричного синтезу складних технічних систем з метою знаходження синтезованого варіанта, задовольняючого вимогам замовника з максимальним використанням раніше

накопиченого досвіду. Результати аналізу представлені в табл. 1. Оскільки охарактеризувати досить повно всі методи прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу СТС у рамках даної

роботи не представляється за можливе, в табл. 1 проведений критичний аналіз найбільш перспективних з них у розрізі етапів прийняття проектних рішень, перерахованих у розділі 2.

Таблиця 1

Критичний аналіз методів прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу СТС

№	Призначення методу	Назва методу	Суть методу	Обмеження
1	2	3	4	5
1	Подання множини альтернатив	Морфологічні таблиці [4]	Множина альтернатив представляється у вигляді відносини $M$ , названої морфологічною таблицею $M = \langle P, A \rangle$ , де $P$ – множина характеристик або функцій, властива об'єктам розглянутого типу, $n$ – число цих властивостей, $A = \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle$ ; $A_i$ – множина значень (способів реалізації) $i$ -ї характеристики	– надмірність можливих варіантів; – немає обліку залежностей множини $A_i$
		Альтернативні І-АБО-дерева [5]	У цьому методі функції представлені вершинами І, значення функцій — вершинами АБО	Використання методу важко для виробів, що складаються із щільно скомпонованих елементів, що взаємно переплітаються
		Генетичні алгоритми (ГА) [9]	Властивості об'єктів представлені значеннями параметрів, поєднаних у запис, званий хромосомою. У ГА оперують підмножиною хромосом, званою популяцією.	Сусідні числа в бітовому поданні можуть різнитися в декількох позиціях, що ускладнює функціонування генетичного алгоритму.
		Метод висновку по прецедентах (СВР-метод) [10]	У більшості випадків для подання прецедентів досить простого параметричного подання: $CASE = (x_1, x_2, \dots, x_n, R)$ , де $x_1, \dots, x_n$ – параметри ситуації, що описує даний прецедент; $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$ , де $n$ – кількість параметрів для опису прецеденту, а $X_1, \dots, X_n$ – області припустимих значень відповідних параметрів, $R$ – рішення.	Некомпактне (без узагальнення) зберігання знань.
		Метод аналізу ієрархій [4]	Будується ієрархія, що включає мету, розташовану в її вершині, проміжні рівні (критерії) і альтернативи, що формують самий нижній ієрархічний рівень.	Трудомісткість процесу
		Методи теорії нечітких множин [3]	У нечіткій логіці альтернативи представляються нечіткими множинами	Неможливість математичного аналізу нечітких множин існуючими методами
2	Оцінка поєднань і сумісності елементів	Альтернативні І-АБО-дерева	Вводяться таблиці сумісності верші І-АБО-дерева. Ці таблиці призначені для вказівки вершин, які не можуть з'явитися в описі технічного рішення (ТР) одночасно.	Трудомісткість процесу
		Методи теорії нечітких множин [3]	Вводяться правила, що відображають заборони на сполучення певних компонентів структур, певних значень параметрів.	Трудомісткість процесу
		Метод висновку по прецедентах	Вводяться правила, що відображають заборони на сполучення певних компонентів структур, певних значень параметрів.	Трудомісткість процесу
3	Вибір критеріїв (К) для оцінки ефективності отриманого рішення. Оцінка альтернатив.	Метод експертних оцінок [12]	Суть методу складається в проведенні експертами інтуїтивно логічного аналізу проблеми з кількісною оцінкою суджень і формальною обробкою результатів. Отримане в результаті обробки узагальнена думка приймається як рішення проблеми	Обмежена здатність мозку порівнювати більше, ніж $7 \pm 2$ альтернатив одночасно

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
4	Визначення моделі розрахунку якості альтернатив за заданими критеріями ( $X \rightarrow K$ );	Морфологічний синтез	По отриманим експертним даним визначається вектор пріоритетів альтернатив і розраховується цільова функція.	
		Альтернативні І-АБО-дерева	Модель оцінки варіантів ТР ґрунтується на обчисленні значень показників І-вершин, які виражають зв'язок між списком вимог і конструктивних ознак в І-АБО-дереві. Показники І-вершин обчислюються через показники їхніх приймачів, при цьому використовуються п'ять способів згортки й обчислення показників: згортка «сума», «мінімум», «максимум», «середньозважена» і «класифікаційна»	Трудомісткість процесу
		Генетичні методи [11]	Існує кілька методів наближеної побудови множини Парето на основі генетичних алгоритмів. Найбільш ефективний і простий у реалізації метод FFGA. Цей метод використовує процедуру ранжирування індивідів (альтернатив), засновану на Парето-домінуванні. При цьому ранг кожного з індивідів визначається кількістю домінуючих його інших індивідів даної популяції (так що чим нижче ранг, тим індивід ближче до множини Парето). Придатність індивіда обчислюється на основі величини, зворотної його рангу. Отже, придатність індивіда визначається не значенням цільової функції, а рангом кожного індивіда в популяції.	Мають потребу в значних обчислювальних ресурсах
		Методи теорії нечітких множин	Експертні оцінки альтернативних варіантів за критеріями можуть бути надані як нечіткі множини, виражені за допомогою функцій приналежності.	Слабка стійкість результатів щодо вихідних даних
5	Визначення правил вибору оптимального рішення	Морфологічний синтез	Варіанти ТР упорядковуються в напрямку зменшення значень цільової функції.	
		Генетичні методи	Чим нижче ранг, тим індивід ближче до множини Парето (метод FFGA)	
		Методи теорії нечітких множин	Для різних методів теорії нечітких множин існують різні правила вибору. Для багатокритеріального вибору альтернатив на основі перетинання нечітких множин кращої вважається альтернатива, що має найбільшу функцію приналежності.	
		Альтернативні І-АБО-дерева	Вибирається ТР у вигляді І-дерева, якщо всі вершини сумісні й показники обраного (синтезованого) ТР відповідають вимогам ТЗ, то запам'ятовується значення критеріїв якості. Якщо значення якості наступного ТР краще попереднього, то фіксується наступне ТР і його значення критеріїв якості. Наприкінці алгоритму будемо мати краще ТР.	

Серед методів, проаналізованих вище, найбільш перспективними є методи морфологічного аналізу і синтезу, альтернативні І-АБО-дерева, генетичні алгоритми й методи теорії нечітких множин.

Вибір даних методів обумовлений наявністю алгоритмів для рішення кожного з вище перерахованих етапів задачі ухвалення рішення в процесі структурно-параметричного синтезу. Ці методи найбільшою

мірою задовольняють вимогам універсальності, обліку багатокритеріальності вибору, вони одержали широке втілення в системах комп'ютерної підтримки, мають мінімум обмежень. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на розвиток цих підходів для рішення задачі структурно-параметричного синтезу з метою знаходження синтезованого варіанта, задовольняючого вимогам замовника з максимальним використанням раніше накопиченого досвіду й мінімальними витратами на доробку.

### Висновок

У статті запропонований варіант розвитку методології Lean Manufacturing та технології паралельного інжинірингу для ефективного керування програмою (мультипроект) створення лінійки СТС. Основна ідея розвитку цього підходу складається в максимальному використанні накопиченого досвіду раніше розроблених СТС. Запропоновано модель зовнішнього проектування СТС засновану на принципах кастомізації й зворотного проектування. Проаналізовано методи прийняття рішень у процесі структурно-параметричного синтезу СТС у розрізі етапів прийняття проектних рішень. Зроблено висновок про найбільш перспективні з них, сформульований напрямок подальших досліджень.

### Список літератури

1. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. – USA: PMI Standards Committee, 2004. – 216 p.
2. Вумек Д. *Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании* / Джеймс П. Вумек, Дэниел Т. Джонс - Альпина Бизнес Букс, 2008. – 471 с.

3. *Материалы компании «Открытые системы»*. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.osp.ru> (01.03.11)

4. Андрейчиков А.В. *Анализ, синтез, планирование решений в экономике* / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

5. Половинкин А.И. *Основы инженерного творчества: учеб. пособ. для студентов вузов* / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

6. *Мат-лы сайта факультета инноватики СПбГПУ*». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ii.spb.ru> (03.03.2011).

7. *Мат-лы сайта «Metodolog.ru»*. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metodolog.ru/00468/00468.html> (12.03.2011).

8. Норенков И.П. *Автоматизированное проектирование: учеб. пособ. для вузов* / И.П. Норенков. – М.: Высш. шк., 2000. – 188 с.

9. Рутковская Д. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского*. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

10. Варшавский П.Р. *Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем поддержки принятия решений* / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // *Известия РАН. Теория и системы управления*. – 2005. – № 1. – С. 97-109.

11. Гуменникова А.П. *Адаптивные поисковые алгоритмы для решения сложных задач многокритериальной оптимизации: дис. ... канд. техн. наук.* - Красноярск, 2006. – 129 с.

12. Орлов А.И. *Теория принятия решений: учеб. пособ.* / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2005. – 656 с.

Надійшла до редколегії 22.03.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Е.А. Дружинин, Ю.Н. Толкунова

*Рассмотрены подходы к управлению мультипроектными создания сложных технических систем (СТС), позволяющие сокращать сроки и стоимость разработки таких систем. Построена модель этапа внешнего проектирования СТС, основанная на принципах кастомизации и обратного проектирования. Исследованы методы принятия решений в процессе структурно-параметрического синтеза СТС. Проведен критический анализ методов. Намечены перспективные направления исследований.*

**Ключевые слова:** мультипроект, сложная техническая система, методы принятия решений, структурно-параметрический синтез, генетический алгоритм, нечеткая логика, методы морфологического анализа.

### ANALYSIS OF MODELS AND METHODS OF DECISION OF STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS TASK'S OF SOPHISTICATED TECHNICAL SYSTEM

E.A. Druzhinin, Yu.N. Tolkunova

*Approaches to the management by the multiprojects of creation of sophisticated technical system (STS) are considered, allowing to abbreviate terms and cost of development of such systems. The model of stage of the external planning STS is built, based on principles of customizations and reverse planning. The methods of acceptance of decisions in a process structurally are structural-parametric synthesis STS. The critical analysis of methods is conducted. Perspective directions of researches are set.*

**Keywords:** multiproject, sophisticated technical system, decision-making method, structural-parametric synthesis, genetic algorithm, fuzzy logic, methods of morphological analysis.