

УДК 658.52

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, Л.Н. ЛУТАЙ

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

## ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПОДХОДА

*Ставится и решается задача формирования архитектуры сложных изделий аэрокосмической техники (СИАТ) на основе компонент, зарекомендовавших себя позитивно в прошлых разработках. Для этого формируется упорядоченная база знаний (БЗ), построенная с помощью прецедентов. Каждый прецедент представлен в виде знаниеориентированного модуля, в котором содержатся технические характеристики компоненты и основные конструкторско-технологические решения, связанные с её созданием. Используя лингвистические переменные, для каждой компоненты сформировано «слово», которое представляет собой упорядоченный ряд качественных значений технических характеристик. Поиск в БЗ требуемого прецедента для новой компоненты СИАТ осуществляется с учётом лексикографического упорядочения «слов» в БЗ прецедентов. Рациональная стратегия поиска прецедентов основана на движении по «ветвям» архитектуры СИАТ «сверху-вниз». Возможны различные постановки выбора рационального варианта (прецедента), в том числе с использованием многокритериальной оптимизации, в которой учитываются затраты, время и риски, связанные с адаптацией найденного прецедента к требованиям технического задания на разработку СИАТ.*

**Ключевые слова:** архитектура сложного изделия аэрокосмической техники, прецедентный подход, база знаний прошлых разработок, лексикографическое упорядочение, многокритериальная оптимизация.

### Введение

Современная архитектура сложных изделий аэрокосмической техники (СИАТ) содержит большое количество компонент взятых или адаптированных из прошлых разработок [1]. Такой подход, основанный на позитивном опыте прошлого позволит минимизировать риск, связанный с созданием новых компонент, обеспечить значительно меньшие затраты на проектирование и сократить сроки создания СИАТ. Появление новых задач и функций СИАТ требует создания новых компонент, что влияет на реализуемость проектов по созданию СИАТ. Поэтому современные разработки направлены на поиск компромисса при создании архитектуры СИАТ, в которой содержатся как новые, так и «старые» компоненты. Отсюда следует актуальность темы публикуемой статьи, в которой рассматривается подход, основанный на прецедентах, которые зарекомендовали себя положительно в прошлых разработках СИАТ [2].

### Постановка задачи исследования

С помощью декомпозиции можно разбить любое проектируемое СИАТ на отдельные составляющие. В зависимости от уровня декомпозиции архитектуру СИАТ можно представить в виде основных компонент, присущих этому уровню. Например, для авиационной техники, на первом уровне декомпозиции, раз-

биение осуществляется на следующие составляющие: планер, силовая установка, авионика [1].

Дерево декомпозиции G для современных СИАТ представляет собой многоуровневый иерархический компонентный состав (МИС). Многолетний опыт по созданию СИАТ позволяет выделить основные типы компонент, присущие каждому уровню МИС. При выполнении проекта по созданию нового СИАТ проектировщик постоянно обращается к существующим компонентам МИС за поиском зарекомендовавших себя решений.

В работе предлагается использовать прецедентный подход [2] для формирования и поиска компонент в «дереве» МИС. Каждый прецедент можно представить в виде знаниеориентированного модуля, в котором содержатся технические характеристики (ТХ)  $g$ -ой компоненты и основные конструкторско-технологические решения, связанные с её созданием. Представим технические характеристики  $g$ -ой компоненты в виде вектора  $Q^g$ , каждая проекция которого соответствует конкретной технической характеристике. Требование по созданию отдельной компоненты нового СИАТ, которое содержится в техническом задании (ТЗ) можно также оформить в виде вектора технических характеристик  $Q^s$ , описывающего проблемную ситуацию, разрешение которой можно осуществить с помощью базы знаний (БЗ) прецедентов МИС. Путём направленного поис-

ка и сопоставления  $Q^S$  и каждого  $Q^T$  в БЗ можно найти прецедент (компоненту прошлого опыта) на данном  $i$ -м уровне представления МИС. Если «близкие»  $Q^T$  компоненты на рассматриваемом  $i$ -ом уровне отсутствуют, проектировщик переходит на следующий (нижний)  $i+1$ -й уровень декомпозиции и продолжает поиск требуемых прецедентов.

Таким образом, формирование архитектуры СИАТ представляет собой многоуровневую итерационную процедуру поиска прецедентов в иерархической БЗ компонент МИС.

### Решение задачи исследования

Пусть для каждой компоненты разрабатываемого СИАТ с учётом  $i$ -го уровня декомпозиции МИС,  $e$ -го наименования и  $j$ -го типа компонент существует множество прецедентов  $M_{iej}$  в БЗ прецедентов в виде компонент прошлых разработок. Необходимо найти множество  $M_{iej}^*$ , которое «ближе» всего по техническим характеристикам к требуемой по ТЗ  $r_{siej}$ -й компоненте СИАТ (новая проблемная ситуация). Для выполнения поисковых операций в БЗ прецедентов проведём предварительное упорядочивание прецедентов для каждого  $i$ -го уровня декомпозиции МИС для  $e$ -го наименования и  $j$ -го типа компоненты. Для этого воспользуемся лексикографическим упорядочиванием.

Пусть каждая компонента (прецедент) представлена в БЗ в виде ряда («слова») технических характеристик. На первом месте «слова» находится значение наиболее значимой технической характеристики компоненты, а на последнем – наименее значимой. Для обеспечения удобства поиска проведём перевод количественных значений технических характеристик компонент СИАТ в качественные значения лингвистических переменных  $l_{iejb}$ , где  $i$  – соответствует уровню декомпозиции МИС,  $e$  – наименование компоненты,  $j$  – тип компоненты,  $b$  – техническая характеристика. Пусть качественное значение любой лингвистической переменной  $l_{iejb}$  соответствует буквам латинского алфавита. Например:

- A – самое лучшее значение характеристики;
- B – отличное значение;
- C – хорошее значение;
- D – удовлетворительное значение.

Тогда любую  $g$ -ую компоненту (прецедент) в БЗ можно представить в виде вектора («слова»)  $Q^T$  с проекциями в виде значений технических характеристик (на первом месте находится наиболее значимая характеристика, а на последнем – менее значимая). Например:

$$Q^T = A_T, C_T, A_T, B_T, \dots$$

Напомним, что все прецеденты заранее представлены в таком виде в БЗ (предварительно лексикографически упорядочены). Например, пусть для  $i$ -го уровня декомпозиции,  $e$ -го наименования,  $j$ -го типа компоненты сформирован и лексикографически упорядочен следующий фрагмент (подмножество «слов») в БЗ прецедентов:

A, A, A, B  
 A, A, B, B  
 A, A, B, C  
 A, B, A, C  
 .....

Пусть прецедент  $\rho_s$ , связанный с проблемной ситуацией (новая компонента в проекте по созданию СИАТ) имеет следующее упорядоченное «слово» технических характеристик:

$$Q^S = A_S, B_S, A_S, B_S.$$

Определим место «слова» новой проблемной ситуации  $\rho_s$  в этом фрагменте БЗ (проведём алфавитный поиск в словаре). Получим:

A, A, A, B  
 A, A, B, B  
 A, A, B, C  
 A, B, A, C  
 .....

Выбор прецедента в качестве готового решения из БЗ прецедентов целесообразно делать из подмножества  $Q^*$ , элементы которого находятся выше  $\rho_s$  и которое состоит из элементов:

A, A, A, B  
 A, A, B, B  
 A, A, B, C,

так как значения технических характеристик элементов  $Q^*$  не хуже чем у  $\rho_s$ .

Возможны следующие ситуации, связанные с множеством  $Q^*$ :

1. Множество  $Q^*$  – пустое, то есть не содержит ни одного прецедента.

Эта ситуация связана с созданием новой компоненты  $\rho_s$ . С помощью экспертов осуществляется оценка возможных затрат –  $W_s$ , времени на разработку новой компоненты –  $T_s$  и риска создания –  $R_s$ .

2. Множество  $Q^*$  состоит из относительно небольшого количества элементов.

В этом случае необходимо выбрать в качестве готового решения один из элементов  $Q^*$ . Здесь возможны следующие ситуации:

2.1. Компонента  $\rho_s$  полностью или почти полностью лексикографически совпадает по значениям

технических характеристик  $Q^s$  с прецедентом  $\rho^*$  из  $Q^*$ .

В этом случае проектирование  $\rho_s$  не производится, а берётся готовая компонента  $\rho^*$ .

2.2. Компонента  $\rho_s$  не совпадает по количественным значениям технических характеристик  $Q^s$  с характеристиками прецедентов в  $Q^*$ .

В этом случае осуществляется сравнение количественных значений технических характеристик  $\rho_s$  с характеристиками прецедентов в  $Q^*$ . Большая разница в значениях характеристик может привести к необходимости адаптации выбранного готового решения (доработка или модификация). При этом возникают затраты -  $W_s$ , время на адаптацию -  $T_s$  и риск, связанный с модернизацией -  $R_s$ .

Выбор рационального варианта  $\rho^*$  в множестве  $Q^*$  осуществляется экспертами с учётом значимости технических характеристик рассматриваемой компоненты.

3. Множество  $Q^*$  состоит из достаточно большого количества элементов. Возможны следующие ситуации:

3.1. Компонента  $\rho_s$  полностью лексикографически совпадает по значениям технических характеристик с прецедентом  $\rho^*$  в  $Q^*$ .

В этом случае, как и для 2.1 проектирование  $\rho_s$  не производится, а берётся готовая компонента  $\rho^*$ .

3.2. Из-за большого количества альтернатив в множестве  $Q^*$  полный перебор не проводится, а производится целенаправленный поиск. Воспользуемся методом целочисленной оптимизации [3].

Введём булеву переменную  $x_{s_{iej}}$ :

$$x_{s_{iej}} = \begin{cases} 1, & \text{если для } \rho_s\text{-й компоненты} \\ & i\text{-го уровня МИС,} \\ & e\text{-го наименования,} \\ & j\text{-го типа выбрана компонента} \\ & \rho_{k_{iej}} \text{ в } Q^*; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Тогда затраты, связанные с адаптацией к  $\rho_s$  выбранной  $\rho_k$ -ой компоненты:

$$W_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \omega_{k_{iej}}, \quad (2)$$

где  $\omega_{k_{iej}}$  - затраты на модернизацию  $k$ -й компоненты  $i$ -го уровня,  $e$ -го наименования,  $j$ -го типа.

Время, требуемое на адаптацию (модернизацию) к  $\rho_s$   $\rho_k$ -й компоненты:

$$T_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot t_{k_{iej}}, \quad (3)$$

где  $t_{k_{iej}}$  - время модернизации  $k$ -й компоненты  $i$ -го уровня,  $e$ -го наименования,  $j$ -го типа.

Риск, связанный с модернизацией  $\rho_k$ -й компоненты:

$$R_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \upsilon_{k_{iej}}, \quad (4)$$

где  $\upsilon_{k_{iej}}$  - риск, связанный с модернизацией  $k$ -й компоненты  $i$ -го уровня,  $e$ -го наименования,  $j$ -го типа.

Естественным ограничением является:

$$\sum_k x_{k_{iej}} = 1. \quad (5)$$

### Постановка задачи оптимизации для выбора и адаптации компоненты из прошлых разработок СИАТ

1. Необходимо минимизировать риск проектирования, связанный с выбором и адаптацией компоненты из БЗ прошлого опыта по созданию СИАТ:

$$\min R_{s_{iej}}, R_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \upsilon_{k_{iej}}, \quad (6)$$

при этом необходимо выполнить ограничения по затратам и срокам модернизации выбранной компоненты в БЗ прецедентов:

$$W_{s_{iej}} \leq W_{s_{iej}}^{\text{доп}}, W_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \omega_{k_{iej}}, \quad (7)$$

$$T_{s_{iej}} \leq T_{s_{iej}}^{\text{доп}}, T_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot t_{k_{iej}}, \quad (8)$$

где  $W_{s_{iej}}^{\text{доп}}$ ,  $T_{s_{iej}}^{\text{доп}}$  - допустимые затраты и сроки адаптации выбранного  $k$ -го прецедента (готового решения) из БЗ.

2. Необходимо минимизировать затраты, связанные с выбором и адаптацией компоненты из БЗ прошлого опыта по созданию СИАТ:

$$\min W_{s_{iej}}, W_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \omega_{k_{iej}}, \quad (9)$$

с учётом выполнения ограничений по времени и риску адаптации выбранной  $k$ -й компоненты:

$$T_{s_{iej}} \leq T_{s_{iej}}^{\text{доп}}, T_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot t_{k_{iej}}, \quad (10)$$

$$R_{s_{iej}} \leq R_{s_{iej}}^{\text{доп}}, R_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \upsilon_{k_{iej}}. \quad (11)$$

3. Необходимо минимизировать время, потраченное на адаптацию выбранной  $k$ -ой компоненты:

$$\min T_{s_{iej}}, T_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot t_{k_{iej}}, \quad (12)$$

с учетом выполнения ограничений по допустимому риску и затратам:

$$R_{s_{iej}} \leq R_{s_{iej}}^{\text{доп}}, R_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \upsilon_{k_{iej}}, \quad (13)$$

$$W_{s_{iej}} \leq W_{s_{iej}}^{\text{доп}}, W_{s_{iej}} = \sum_k x_{k_{iej}} \cdot \omega_{k_{iej}}. \quad (14)$$

4. Многокритериальная постановка задачи.

Пусть проведена оптимизация по  $W, T, R$  и получены экстремальные значения  $W^*, T^*, R^*$ . Известны или с помощью экспертов заданы «веса» показателей  $W, T$  и  $R$ :  $\alpha_W, \alpha_T, \alpha_R$ , причём:

$$\begin{aligned} 0 \leq \alpha_W \leq 1, \\ 0 \leq \alpha_T \leq 1, \\ 0 \leq \alpha_R \leq 1, \\ \alpha_W + \alpha_T + \alpha_R = 1. \end{aligned} \quad (15)$$

Сформируем комплексный показатель, связанный с выбором и адаптацией  $k$ -го решения в БЗ прецедентов (прошлых разработок) СИАТ.

$$\begin{aligned} K &= \alpha_W \cdot W' + \alpha_T \cdot T' + \alpha_R \cdot R' = \\ &= \alpha_W \cdot \left( \frac{W - W^*}{W_{\text{доп}} - W^*} \right) + \alpha_T \cdot \left( \frac{T - T^*}{T_{\text{доп}} - T^*} \right) + \\ &\quad + \alpha_R \cdot \left( \frac{R - R^*}{R_{\text{доп}} - R^*} \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Необходимо минимизировать  $K$  с учётом ряда ограничений:

$$\begin{aligned} \min K, \\ W \leq W_{\text{доп}}, \\ T \leq T_{\text{доп}}, \\ R \leq R_{\text{доп}}. \end{aligned} \quad (17)$$

На рис. 1 представлена схема формирования многоуровневого состава СИАТ с использованием БЗ прецедентов (компонент прошлого опыта).

### Заключение

Прецедентный подход целесообразно использовать на системном этапе проектирования сложного изделия аэрокосмической техники (СИАТ), когда формируется системное представление архитектуры СИАТ. Позитивный опыт прошлых разработок поз-

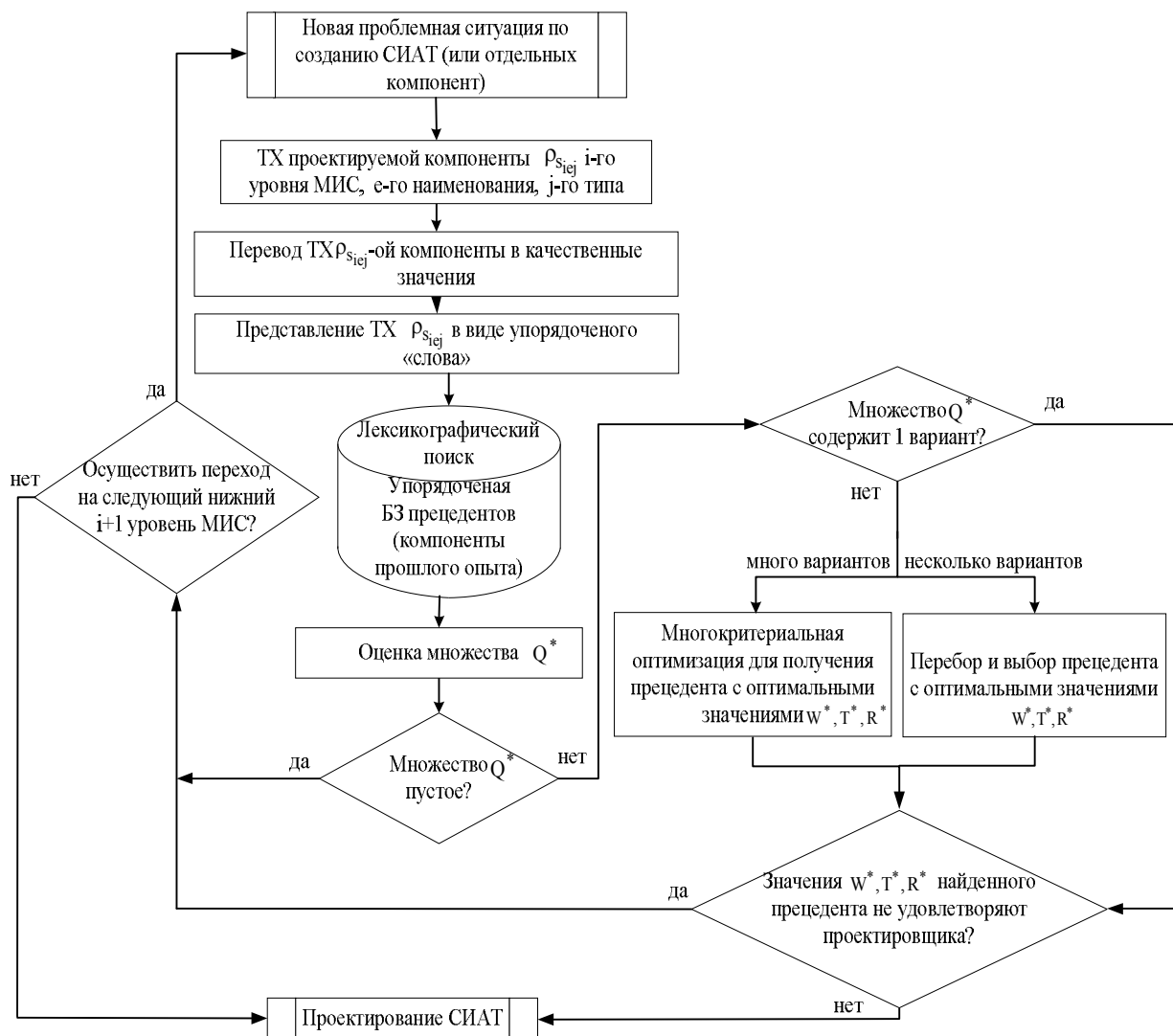


Рис. 1. Схема формирования многоуровневого состава СИАТ

с использованием БЗ прецедентов  
 воляет формировать компонентную архитектуру СИАТ, которая строится с помощью компонент повторного использования, что даёт возможность минимизировать риск, время и затраты, связанные с разработкой СИАТ.

### Литература

1. *Машиностроение. Энциклопедия. Проектирование конструкции и системы самолётов и вер-*

*толётов / А.М. Матвеевко, А.М. Акимов, М.Г. Акопов и др.; под общ. ред. А.М. Матвеевко. – М.: Машиностроение, 2004. – Т. IV-21, Кн. 2. – 752 с.*

2. *Павлов А.И. Компонентный подход: модуль правдоподобного вывода по прецедентам / А.И. Павлов, А.Ю. Юрин // Программные продукты и системы. – 2008. – № 3. – С. 55-58.*

3. *Катренко А.В. Дослідження операцій: Підручник / А.В. Катренко. – Львів: Видав. «Магнолія - 2006», 2009. – 352 с.*

Поступила в редакцию 10.11.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. информатики А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ СКЛАДНИХ ВИРОБІВ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПІДХОДУ

*О.Є. Федорович, Л.М. Лутай*

Ставиться та вирішується задача формування архітектури складних виробів аерокосмічної техніки (СВАТ) на основі компонент, що зарекомендували себе позитивно в минулих розробках. Для цього формується упорядкована база знань (БЗ), побудована за допомогою прецедентів. Кожний прецедент представлений у вигляді знанняорієнтованого модулю, в котрому містяться технічні характеристики компоненти та основні конструкторсько-технологічні рішення, пов'язані з її створенням. Використовуючи лінгвістичні підстави, для кожної компоненти сформовано «слово», котре представляє собою упорядкований ряд якісних значень технічних характеристик. Пошук в БЗ необхідного прецеденту для нової компоненти СВАТ здійснюється з урахуванням лексикографічного упорядкування «слів» в БЗ прецедентів. Рациональна стратегія пошуку прецедентів оснований на русі по «гілках» архітектури СВАТ «зверху-вниз». Можливі різноманітні постановки відбору рационального варіанту (прецеденту), в тому числі з використанням багатокритеріальної оптимізації, в котрій враховуються витрати, час та ризики, пов'язані з адаптацією знайденого прецеденту до вимог технічного завдання на розробку СВАТ.

**Ключові слова:** архітектура складного виробу аерокосмічної техніки, прецедентний підхід, база знань минулих розробок, лексикографічне упорядкування, багатокритеріальна оптимізація.

## FORMATION OF ARCHITECTURE OF DIFFICULT PRODUCTS OF THE SPACE TECHNICS ON THE BASIS OF THE CASE APPROACH

*O.E. Fedorovich, L.N. Lutay*

The problem of formation of architecture of difficult products of space technics (DPST) on a basis a component, proved positively in last workings out is put and dares. The ordered knowledge base (KB), constructed by means of precedents is for this purpose formed. Each precedent is presented in a kind knowledge of the focused the module in which technical characteristics components and the basic constructors-technological decisions connected with its creation contain. Using linguistic variables, for everyone components "word" which represents the ordered number of qualitative values of technical characteristics is generated. Search in KB demanded precedent for new components DPST is carried out with the account of lexicographic streamlining of "words" in KB precedents. Rational strategy of search of precedents is based on movement on "branches" of architecture СИАТ "from above-downwards". Various statements of selection of a rational variant (precedent), including with use lot of criterion optimisation in which expenses are considered, time and the risks connected with adaptation of found precedent to requirements of the technical project on working out DPST are possible.

**Keywords:** architecture of a difficult product of space technics, the case approach, base of knowledge of last workings out, lexicographic streamlining, lot of criterion optimisation.

**Федорович Олег Евгеньевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Лутай Людмила Николаевна** – аспирант кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: Lutay\_L\_N@mail.ru.