

# **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ОГРАНИЧЕНИЯХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

**А.В. Федотова,**

*соискатель кафедры компьютерной автоматизации производства  
Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана*

**М.В. Овсянников,**

*кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной автоматизации  
производства Московского государственного технического университета  
им. Н.Э. Баумана*

*E-mail: afedotova@act.org, mvo50@mail.ru*

*Адрес: г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5*

**В.В. Таратухин,**

*доктор философии, кандидат технических наук, заведующий базовой кафедрой SAP  
Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»,  
руководитель научной группы Европейского исследовательского центра  
в области информационных систем (ERCIS) Мюнстерского университета  
(University of Muenster), Германия*

*E-mail: victor.taratoukhine@ercis.uni-muenster.de*

*Адрес: Germany, Munster, Leonardo-Campus, 3, University of Muenster, ERCIS – Headquarters*

*В статье описываются анализ методов планирования ТОРО (технического обслуживания и ремонта оборудования), постановка задачи ТОРО, формирование ограничений, приведены методы удовлетворения ограничений, подходящие для решения задачи планирования периодических процессов обслуживания. Выбраны методы и сформулирована методика решения задачи, основанная на комбинации методов перебора и предварительного ограничения пространства поиска. Предложены алгоритмы реализации методов.*

**Ключевые слова:** ТОРО, методы планирования ТОРО, удовлетворение ограничений, CSP, периодические процессы обслуживания, комбинаторная задача, методы поиска решений, поиск с возвратами, аксиомы, онтология предметной области.

## 1. Введение

**Н**а конкурентоспособность воздушных судов оказывает влияние целый ряд факторов, в том числе действующая система технического обслуживания и ремонта. Техническое обслуживание и ремонт или ТОРО - комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании [1].

Основными параметрами, характеризующими совершенство системы ТОРО, являются объем и периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию, оказывающие прямое влияние на эксплуатационные расходы и интенсивность эксплуатации воздушного судна (ВС). Совершенно очевидно, что чем меньше объем работ и больше периодичность их выполнения, тем меньше эксплуатационные расходы и выше интенсивность эксплуатации ВС. Доля затрат на ТОРО может составлять от 10 до 50 процентов от общих эксплуатационных расходов [2]. На объем и периодичность ТОРО влияют конструктивные особенности ВС, методы технической эксплуатации, нормативные и методические требования, качество выполнения работ, параметры эксплуатации, условия окружающей среды и другие факторы.

Объем работ и периодичность их выполнения определяются программой ТОРО. Необходимо отметить, что требования к содержанию программы ТОРО в РФ отличаются от требований, действующих за рубежом. В РФ программа ТОРО является документом разработчика, общим для типа ВС, в то время как программа ТОРО за рубежом является документом, разрабатываемым эксплуатантом на каждое отдельно взятое ВС с учетом условий и параметров его эксплуатации, а также принятой эксплуатантом системы ТОРО, на основе минимальных требований к техническому обслуживанию (ТО), определенных в процессе сертификации типа.

В работе рассматриваются методы планирования и обслуживания воздушного судна.

## 2. Анализ методов планирования ТОРО

Цели эффективного плана технического обслуживания изделия авиационной техники (АТ) заключаются в следующем:

- ◆ обеспечение заданных уровней надежности и безопасности;

- ◆ восстановление надежности и безопасности до заложенных при проектировании уровней в случае их понижения;

- ◆ получение информации, необходимой для улучшения конструкции тех изделий, надежность которых оказалась недостаточной;

- ◆ достижение этих целей с минимальными суммарными затратами, включая затраты на техническое обслуживание и затраты, вызванные отказами.

В общей постановке при наличии всей необходимой исходной информации количественное подтверждение эффективности плана ТО состоит в обеспечении заданных вероятностных показателей безопасности воздушного судна (ВС) при минимизации удельных затрат на ТО (например, стоимости ТО на один час налета). При таком подходе основной трудностью является количественное подтверждение выполнения требований к ВС, для чего необходима адекватная математическая модель, позволяющая оценить влияние ТО на показатели безопасности и эффективности ВС.

Реальной альтернативой количественному подходу является рациональное сочетание качественного инженерного анализа по выбору методов технической эксплуатации (ТЭ) и работ по ТО ВС с количественной оптимизацией периодичности ТО на основе математической модели влияния планового ТО на надежность и безопасность бортовых систем. Это позволяет формализовано анализировать влияние возможных отказов систем и их компонентов на безопасность, регулярность полетов и экономичность ВС [3].

Качественный подход был предложен в 70-х годах авиакомпанией United Airlines и стал позднее широко известен как методический документ по разработке программы планового ТО – ATA MSG-3 [4]. Этот документ признан FAA США, JAA и EASA Евросоюза и широко используется разработчиками и эксплуатантами ВС.

Как показала практика, методика MSG-3 имеет ряд существенных недостатков. Поэтому принципы MSG-3 были доработаны и получили развитие в руководстве для конструкторов и эксплуатантов [5], которым конструкторы и специалисты по ТО могут пользоваться при создании и сопровождении эксплуатации ВС.

Методика планирования ТО по MSG-3 описывает метод формирования планового ТО. Неплановые ТО обуславливаются плановыми работами,

замечаниями в процессе нормальной эксплуатации или анализом эксплуатационных данных.

Плановые ТО разрабатываются с использованием подхода целенаправленной логики принятия решений и реализуются в виде программы, ориентированной на состав работ по ТО. Эта логика является базой для методики анализа каждого из элементов систем, важных в плане ТО (систем, подсистем, модулей, агрегатов, блоков, составных частей и т.д.), с использованием располагаемых технических данных. Принципиально анализ базируется на рассмотрении функциональных отказов изделий и их последствий [4].

В Российской Федерации над данной задачей работают специалисты Научно – исследовательского центра CALS-технологий «Прикладная логистика». Ими была предложена «**Методика выбора периодичности работ по ТО на основе количественных методов анализа**».

Периодичность плановых работ по ТО устанавливается таким образом, чтобы минимизировать естественное ухудшение заложенного в конструкцию уровня безопасности и надежности ВС, его систем и элементов, не допуская выхода уровня летной годности ВС за пределы, установленные нормами летной годности.

Объем планового ТО ВС определяется рабочими группами, включающими представителей авиакомпаний и Разработчика и представляется для утверждения.

При определении периодичности работ по ТО ВС рассматриваются типовые режимы его эксплуатации: средняя продолжительность типового полета, среднегодовой налет [3, 6].

В настоящее время планирование графика ТОРО основывается на паспортных данных изделия, стандартов организации, требований отрасли и т.д. При этом на оси времени жёстко фиксируется время выполнения регламентных работ путём назначения интервалов между выполнением ТО. Интервалы между ТО задаются циклически. Состав работ при каждом ТО формируется в зависимости от его типа. Для каждого типа ТО предусматривается перечень работ, задаваемый документацией, который необходимо выполнить в рамках проведения обслуживания. К основным недостаткам данного метода можно отнести: невозможность внесения изменений в график ТО; практически полное отсутствие обратной связи с обслуживаемой системой; отсутствие накопления

данных об обслуживаемой системе; низкая адаптивная способность.

Цель данной работы: создать метод и алгоритм планирования выполнения работ, универсальный как по процедурам обслуживания, так и по видам изделий, а также позволяющий без перепрограммирования производить настройку на конкретные условия, что значительно упростит поддержку системы в целом и расширит области ее использования, а также позволит сократить затраты на ТО.

### 3. Постановка задачи

Выделяется два типа задач построения конфигурации систем: отбор и/или размещение, построение иерархии системы. Наша задача относится к первому типу, на входе: множество элементов/компонентов, которое разделено на подмножества.

ТО представляет собой совокупность процедур  $P = \{p_i | i = \overline{1, n}\}$ , выполняемых на объекте для поддержания его технической исправности. Общее число процедур ТО, выполняемых на временном интервале  $T = [t_1, t_n]$ , задаваемом начальной и конечной точкой ( $t_1$  и  $t_n$  соответственно), формирует множество процедур  $P$ . Иллюстрация данного факта приведена на рис. 1.

Имеется множество работ  $W = \{w_k\}$ , которые могут быть выполнены при ТО.

Процедура ТО представляет собой множество работ:  $W = \{w_k\}$ , где  $w_k$  –  $k$ -я работа,  $W_n$  – множество работ, входящих в состав процедуры ТО  $p_n$  и представлена на рис. 1.

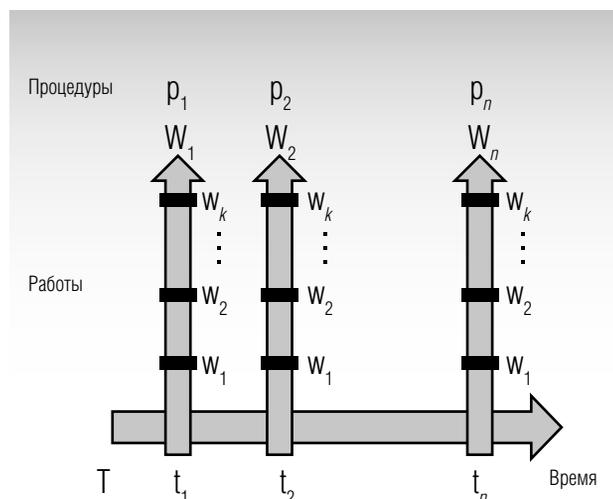


Рис. 1. Задача планирования ТОРО

Задача алгоритма планирования ТО состоит в формировании множества Т и определения множеств  $W_i, i = \overline{1, n}$ , определяющих состав работ при проведении работ в процедуре ТО. При этом при формировании множества ТО и множества входящих в него работ следует учитывать ограничения, накладываемые различными источниками.

Существует  $m$  единиц оборудования, для которого требуется провести работы по поддержанию исправности и работоспособности. Существует множество работ  $w_k - W_n, k = [1, k_{max}]$  ТО и планового ремонта специального оборудования, выполняемых в ходе процедур ТО.

Постановка задачи звучит следующим образом:

Определить состав и время проведения процедур ТО при которых выбранный критерий будет принимать экстремальное (минимальное) значение, т.е. определить все  $x_{kn}$ , при которых

- 1)  $S \rightarrow \min$ ,
- 2)  $R = \max(R_n) \rightarrow \min$ ,

где  $x_{kn}$  – логическая переменная, значение которой определяется входимостью  $k$ -ой работы в  $n$ -ую процедуру ТО: если  $k$ -ая работа входит в  $n$ -ую процедуру, то  $x_{kn} = 1$ , иначе  $x_{kn} = 0$ :

$$x_{kn} = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-я работа входит в } n\text{-ю процедуру ТО} \\ 0, & \text{если } k\text{-я работа не входит в } n\text{-ю процедуру ТО} \end{cases}$$

$S$  – общие материально-технические затраты на производство ТО:

$$S = \sum_{kn} s_k \cdot x_{kn},$$

где  $s_k$  – материально-технические затраты на  $k$ -ую работу,  $k = [1, k_{max}]$ , где  $k_{max}$  – общее количество работ в системе;

$R_n$  – трудоёмкость  $n$ -ой процедуры ТО:

$$R_n = \sum_k r_k \cdot x_{kn},$$

где  $r_k$  – трудоёмкость  $k$ -ой работы,  $k = [1, k_{max}]$ , где  $k_{max}$  – общее количество работ в системе.

N					1				
...			1						1
7		1			1				
6									1
5				1					
4	1		1				1		
3						1			
2									1
1	1		1	1	1				
	1	2	3	4	5	6	7	...	K

Рис. 2. Представление решения  $x_{kn}$

Возможное решение  $x_{kn}$  представлено на рис. 2.

Поставленная задача должна быть решена с учетом специальных ограничений, которые будут сформулированы ниже в п.5.

Для реализации поставленной цели сводим задачу к общей задаче **проектирования конфигурации (configuration design)**, где под конфигурацией понимается распределение конкретных работ по процедурам.

Суть метода программирования в ограничениях заключается в описании предметной области набором правил и ограничений. Ограничения могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений и т.п.

Система работ представляет собой набор данных, на основе которых формируется состав работ в каждом ТО. Система должна содержать:

- ♦ информацию о функциональной декомпозиции работ в виде иерархической структуры компонентов, образующих состав работ;
- ♦ формальное описание закономерностей, определяющих возможность включения данной работы в состав текущего ТО;
- ♦ механизм, позволяющий проверить полученное множество  $W_n$  работ на соответствие требованиям.

Построение системы работ является основой для дальнейшего многократного формирования множества графиков ТО.

#### 4. Построение онтологии предметной области

Для описания функциональной декомпозиции работ в виде иерархической структуры компонентов, образующих состав работ, представим онтологию предметной области.

Онтология представляет собой несколько областей: справочник изделий, к которым применяется ТО; справочник работ, из которых формируются процедуры, формирующие ТО; взаимосвязь всех компонентов с учетом принадлежностей, свойств и ограничений.

Объекты предметной области:

<Изделие, ТО, Процедура, Работа>

Множество процедур: ПР <ПР1, ПР2, ..., ПРn>

Множество работ: РБ <РБ1, РБ2, ..., РБk>

Изделие: И <И1>

Оборудование: ОБ <ОБ1, ОБ2, ..., ОБg>

Техническое обслуживание: ТО

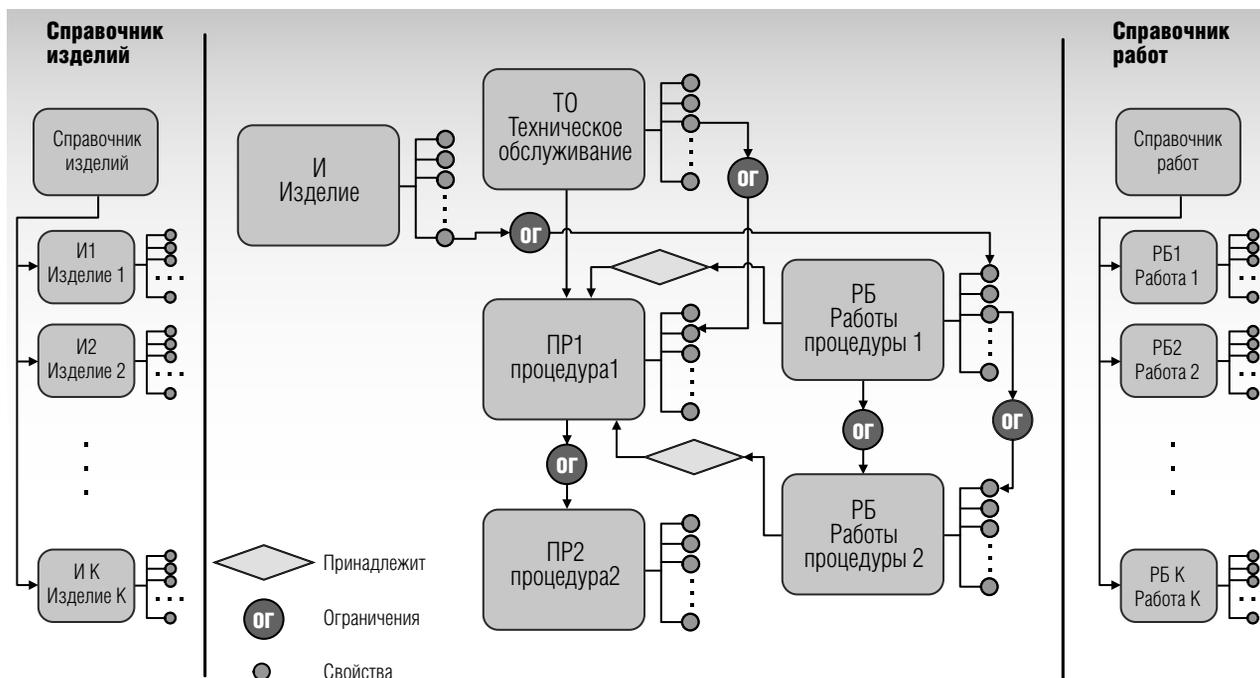


Рис. 3. Онтология предметной области

Объекты и их свойства:

Объект **ТО** имеет следующие свойства:

ТО.Трудоемкость, ТО.Затраты, ТО.Время\_выполнения;

Объект **ПР** имеет следующие свойства:

ПР.Трудоемкость, ПР.Затраты, ПР.Время\_выполнения, ПР.Тип;

Объект **РБ** имеет следующие свойства:

РБ.Трудоемкость, РБ.Затраты, РБ.Время\_выполнения, РБ.Тип, РБ.Совместная\_выполнимость;

Объект **И** имеет следующие свойства:

И.Кол-во\_отказов, И.Время\_наработки\_на\_отказ, И.Время\_наработки, И.Тип, И.Время\_простоя;

Объект **ОБ** имеет следующие свойства: ОБ.Время\_наработки, ОБ.Кол-во\_отказов, ОБ.Время\_простоя, ОБ.Время\_наработки\_на\_отказ.

Перечень требований **ТР**: {ТР}.Затраты\_доп, {ТР}.Трудоемкость\_доп, {ТР}.Надежность, {ТР}.Время\_простоя\_макс, {ТР}.Затраты\_пр\_мин, {ТР}.Затраты\_пр\_макс, {ТР}.Трудоемкость\_пр\_мин, {ТР}.Трудоемкость\_пр\_макс, {ТР}.Время\_наработки\_макс, {ТР}.Время\_наработки\_мин, {ТР}.Время\_простоя\_макс, {ТР}.Время\_простоя\_мин, {ТР}.Время\_выполнения\_макс, {ТР}.Время\_выполнения\_мин, {ТР}.Время\_макс\_м\_раб.

## 5. Ограничения

Описание закономерностей, определяющих возможность включения данной работы в состав текущего ТО указываются в виде ограничений (аксиом).

Перечень ограничений (Constraint):

1. В одну процедуру ТО не могут одновременно входить работы, заданные следующей матрицей:

$R_{Bi}$  ВХОДИТ\_В\_СПИСОК  $PR_n$ ,  $R_{Bj}$  ВХОДИТ\_В\_СПИСОК  $PR_n$  (Совместимость=1).

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я работа может выполняться вместе с } j\text{-й} \\ 0, & \text{если } i\text{-я работа не может выполняться вместе с } j\text{-й} \end{cases}$$

2. Затраты на проведение ТО не должны превышать заданной величины доп. ТО:

$$\text{Затраты} \leq \{\text{ТР}\}.\text{Затраты\_доп}$$

$$S \leq S_{\text{доп}}$$

3. Затраты на каждой процедуре ТО должны быть не более максимального значения:

$$\text{ПР.Затраты} \leq \{\text{ТР}\}.\text{Затраты\_пр\_макс}$$

4. Нарботка оборудования в момент проведения процедуры ТО должна находиться в заданных пределах,  $t_{\text{нартmin}} \leq t_{\text{нарт}i} \leq t_{\text{задmax}}$ , где  $t_{\text{нарт}i}$  - наработка  $m$ -го оборудования при проведении  $i$ -ой процедуры ТО.

ОБ.Время\_наработки  $\leq$  {ТР}.Время\_наработки\_макс && ОБ.Время\_наработки  $\geq$  {ТР}.Время\_наработки\_мин

5. Время простоя оборудования в момент проведения процедуры ТО должно находиться в заданном интервале времени:  $t_{прост\ min} \leq t_{прост\ i} \leq t_{прост\ max}$ , где  $t_{прост\ i}$  – время простоя  $i$ -го оборудования при проведении  $i$ -ой процедуры ТО.

ОБ.Время\_простоя  $\leq$  {TR}. Время\_ простоя \_ макс &&

ОБ. Время\_простоя  $\geq$ {TR}. Время\_ простоя \_ мин

6. Промежуток времени между  $k$ -ми работами не должен превышать максимального значения

$$\begin{aligned} t_i &= t(w_k), w_k \in W_n; \\ t_{i+1} &= t(w_k), w_k \in W_{n+1}; \\ t_{min} &\leq (t_{i+1} - t_i) \leq t_{max} \end{aligned}$$

ПР $n$ .Время\_начала (РБ Входит\_в\_список ПР $n$ ) - ПР $m$ .Время\_начала (РБ Входит\_в\_список ПР $m$ )  $\leq$  {TR}.Время\_макс\_м\_раб

7. При наработке оборудования типа  $g$  на отказ выше заданного значения  $t_{нараотказ\_зад}$  в промежуток времени между предыдущей и текущей процедурой ТО должны быть проведены работы, определенные типом оборудования  $g$  при текущей процедуре ТО: если  $\varepsilon_{gp}(n-1); (n) > 1$   $x_{kn} = 1$  для  $k \in K_{gp}$ .

Если ОБ $g$ . Время\_наработки\_на\_отказ  $>$  {TR}.  
Время\_наработки\_макс,

РБ условия применимости: ВХОДИТ\_В\_СПИСОК

### 6. Решение задачи формирования процедур ТО

1. Поиск всех дополнительных вариантов распределения работ по процедурам ТО, по которым выполняются все ограничения.

2. Упорядочивание полученных решений по целевой функции.

3. Поиск решения в соответствии с наилучшими значениями целевой функции.

### 7. Методы поиска, существующие алгоритмы

Здесь можно привести следующий общий набор групп методов поиска решений:

◆ Методы и алгоритмы ограничения пространства поиска и распространения ограничений (Forward Checking, Node Consistence, Arc Consistence, Constraints Propagation и т.д.);

◆ Точные методы (Backtracking, Динамического

программирования, Back Jumping, Reset и т.д.);

◆ Приближенные методы.

Рассмотрим некоторые методы и алгоритмы поиска решений, наиболее интересные для решения задачи структурного синтеза.

#### Алгоритм неоптимизированного полного перебора

Наиболее простым алгоритмом подбора конфигураций с учетом ограничений является алгоритм полного перебора. Преимуществом использования данного алгоритма является гарантированный обход всех вариантов решений и наиболее точные результаты поиска в виде выборки всех фактически возможных конфигураций или установление факта отсутствия решения. Данный подход имеет существенный недостаток, связанный со слишком большим временем перебора всех возможных вариантов конфигураций.

#### Метод локального поиска

Адаптированный под данную задачу алгоритм локального поиска выглядит следующим образом:

◆ Построить начальную конфигурацию;

◆ В цикле:

○ Проверить условие завершения и если цель достигнута – на выход:

■ Условие завершения – Удовлетворение всех ограничений или достижение ограничения по времени исполнения.

○ Выбрать ОК для замены компонента.  
Критерии:

■ Участие компонента ОК в наибольшем числе ограничений;

■ Компонент ОК нарушает наибольшее число ограничений;

■ Компонент с наименьшим доменом (числом компонентов для подстановки в данный ОК).

○ Выбрать компонент из справочника для подстановки:

Критерии:

■ Нарушает наименьшее количество ограничений;

■ Наиболее точно обеспечивает выполнение требований.

○ Сравнить качество полученной конфигурации с предыдущей:

Критерии:

■ Количество нарушенных ограничений;

- Степень близости параметров конфигурации требуемым;
- Сравнить текущую конфигурацию с лучшей:
  - Если текущая конфигурация лучше – объявить текущую конфигурацию лучшей.

Несмотря на то, что метод локального поиска широко применяется для решения комбинаторных задач, данный метод имеет недостаток в том, что не обеспечивает нахождения оптимального значения и может стремиться к локальному оптимуму.

### 8. Описание разработанной методики

На основе обзора существующих методов была сформулирована следующая методика поиска. Методика основана на комбинации метода перебора с методами предварительного ограничения пространства поиска.

В отличие от метода полного перебора данная методика предполагает предварительные этапы ограничения пространства поиска, чем обеспечивается значительное сокращение времени поиска решения.

Методика состоит из следующих этапов:

1. На **первом** этапе происходит **обеспечение совместности в узлах** путем проверки унарных требований к параметрам отдельных компонентов, с использованием алгоритма **NC-1**. На этом этапе удовлетворяются ограничения, которые связаны с уже известными параметрами компонентов (требования к параметрам компонентов);

#### *Алгоритм обеспечения совместности в узлах NC-1*

Алгоритм обеспечивает совместность в узлах и называется NC-1 [7,8,9].

Этот алгоритм позволяет удалить из областей определения всех переменных задачи значения, которые не удовлетворяют унарным ограничениям.

Достижение совместности в узлах сводится к просмотру каждого элемента в каждой области и проверке удовлетворяет ли это значение унарным ограничениям на эту переменную. Все значения, которые нарушают унарные ограничения, удаляются из этих областей.

После завершения алгоритма исходная задача будет сведена к задаче, которая является совместной в узлах.

2. На **втором** этапе производится **предварительная проверка** компонентов методом **Forward Checking**

(Метод предварительной проверки). На этом этапе происходит попарное сравнение компонентов справочников с целью удаления компонентов не совместимых между собой.

#### *Метод предварительной проверки Forward Checking*

С помощью метода предварительной проверки (*Forward Checking*) пространство поиска может быть значительно уменьшено или полностью разрешено [10,11].

Основную идею метода можно выразить следующим образом: если при назначении какой-либо переменной значения её домена набор неравенств становится несовместным, то следует удалить несовместные значения из доменов остальных переменных и продолжить поиск, а если текущий домен пуст, то происходит откат на предыдущий уровень [12]. Домен – набор компонентов (работ) из справочника.

Следует начинать поиск с переменных, у которых наименьшие по количеству значений домены.

Адаптированный под данную задачу алгоритм выглядит следующим образом:

1. Переменные сортируются в порядке возрастания количества значений в домене
2. Для каждой переменной  $x_i$  :
  - а. Переменной  $x_i$  ставится в соответствие каждое значение из ее домена
    - і. Для каждой переменной  $y_j$  :
      1. Переменной  $y_j$  ставится в соответствие каждое значение из ее домена
        - а. Проверяется выполнение бинарного ограничения на совместность значений параметра (компонентов)  $x_i$  и  $y_j$
        - б. Если не выполняется то удаляется текущее значение  $x_i$  из соответствующего домена

3. На **третьем** этапе производится **поиск решений** с использованием метода **Back Tracking**, для этого происходит обход дерева и производится вычисление неизвестных значений параметров компонентов и проверка соответствия расчетных параметров с требованиями.

#### *Поиск с возвратом (Backtracking)*

Алгоритм поиска с возвратами для решения задач удовлетворения ограничений CSP составлен по принципу рекурсивного поиска в глубину [7, 13].

Данный метод предполагает перебор всех возможных комбинаций путем обхода дерева вариантов компоновки с возвратами при не выполнении ограничений, *рис. 4*.

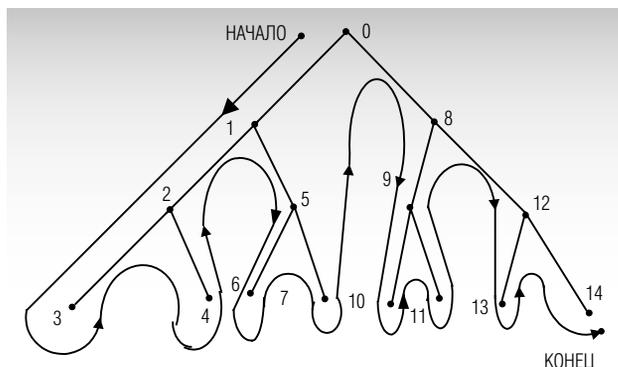


Рис. 4. Поиск с возвратом (Backtracking)

Метод позволяет произвести полный обход всех комбинаций компонентов и найти все возможные решения.

## 9. Заключение

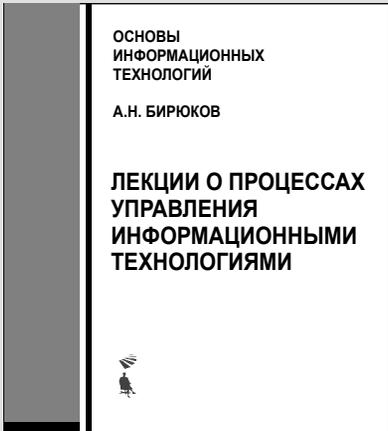
Реализация алгоритма предполагает наличие отдельных модулей: парсера (решателя) ограничений и генерации и поиска решений. Это позволяет без перепрограммирования производить настройку на конкретные условия, что значительно упрощает поддержку системы в целом и расширяет области ее использования.

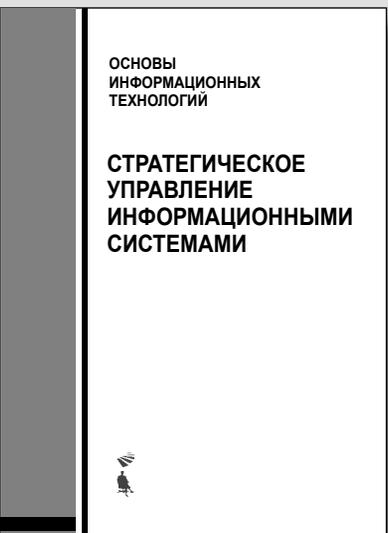
Среди дальнейших планов стоит реализация данной методики в виде обобщенного решателя и алгоритмов формирования множества допустимых комбинаций в онтологических структурах. При разработке решателя необходимо исследовать и разработать язык и средства создания и использования ограничений, а также апробировать алгоритмы на более объемном примере и разработать модели и интерфейсы интеграции в существующие PDM и EAM системы. ■

## Литература

- ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
- Airline Maintenance Program Development Seminar, Fleet Maintenance Seminars, Boeing. — Seattle, Washington: 2008.
- Методические указания «Руководство по проведению анализа логистической поддержки изделий авиационной техники», Научно-исследовательский центр CALS-технологий «Прикладная логистика». — М.: 2010.
- ATA MSG-3. Revision 2007.1. Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development. ATA. — 2007.
- Руководство для конструкторов и эксплуатантов по разработке и сертификации программ технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации (РДК-Э). - ЛИИ им. М.М. Громова, ГосНИИ ГА. — 1993.
- Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.В., Чубарова Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. — М.: ООО Издательский дом «ИнформБюро», 2006.
- Семенов А.Л. Методы распространения ограничений: основные концепции // PSI'03/ИМРО. — Интервальная математика и методы распространения ограничений, 2003.
- Benhamou F., Older W. Applying Interval Arithmetic to Real, Integer and Boolean Constraints // Journal of Logic Programming. — 1997. — No. 32. — P. 1-24.
- Cleary J. Logical Arithmetic // Future Computer Systems. — 1987. — No. 2 (2). — P. 125-149.
- Gent I. Artificial Intelligence: Constraint Programming [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.dcs.st-and.ac.uk/~ipg/AI/>. — Загл. с экрана.
- Bartak R. On-line guide to Constraint Programming [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ktlinux.ms.mff.cuni.cz/~bartak/constraints/>. — Загл. с экрана.
- Беляев С.А. Проблема разрешения constraint при решении задач комбинаторной оптимизации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://constr.chat.ru/ARTICLES/cresprob\\_20010608.htm](http://constr.chat.ru/ARTICLES/cresprob_20010608.htm). — Загл. с экрана.
- Dechter R., Frost D. Backjump-based backtracking for constraint satisfaction problems // Artificial Intelligence. — 2002. — No. 136 (2). — P. 147-188.
- Буханов С.А., Овсянников М.В. Управление конфигурацией с использование метода программирования в ограничениях // Эффективные методы автоматизации подготовки и планирования производства: сборник научных трудов. — М.: Издательский дом «Спектр», 2011. — С. 150-156.
- Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации // Новости искусственного интеллекта. — 2002. — №1.

16. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции – М.: Анахарсис, 2002.
17. Яшура А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: Справочник – М.: ЭНАС, 2009. (Электронный ресурс: [http://fictionbook.ru/author/aleksandr\\_ignatevich\\_yashura/sistema\\_tehnicheskogo\\_obslyujivaniya\\_i\\_re2006\\_ru/](http://fictionbook.ru/author/aleksandr_ignatevich_yashura/sistema_tehnicheskogo_obslyujivaniya_i_re2006_ru/)).
18. Taratoukhine V., Bechkoum K. Towards a Consistent Distributed Design: a Multi-Agent Approach. Information Visualisation '99. – London, 1999.
19. Hale M.A., Craig J.I. Preliminary Development of Agent Technologies for a Design Integration Framework // Proceedings of 5th Symposium on Multi-disciplinary Analysis and Optimisation. – Panama City, FL: September 7-9, 1994.

	<p><i>ЛЕКЦИИ О ПРОЦЕССАХ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ</i> <i>Учебное пособие</i> <b>А.Н. Бирюков</b> <i>Москва: Интуит.РУ, БИНОМ.ЛЗ, 2010.</i></p> <p>Рассматриваются основные процессные модели и методики, связанные с управлением ИТ, появившиеся в последние годы. Основное внимание уделяется анализу их взаимосвязей и выявлению общих концепций и подходов. Изложение в большой степени базируется на оригинальных материалах, не переведенных на русский язык.</p>
--	---

	<p><i>СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ</i> <i>Учебник.</i> <b>Р.Б. Васильев, Г.Н. Калянов, Г.А. Левочкина, О.В. Лукинова</b> <i>Под ред. Г.Н. Калянова</i> <i>Москва: Интернет-университет Информационных технологий: Бином. Лаборатория знаний, 2010.</i></p> <p>Учебник дает читателю представление о методологической базе и современных подходах и методах стратегического управления информационными системами, обеспечивающего целостный, процессно-ориентированный подход к принятию управленческих решений, направленных на повышение эффективности владения и развития информационных систем для достижения бизнес-целей предприятий и создания новых конкурентных преимуществ.</p>
---	---