

УДК 519.816+004.89

И.Б. СИРОДЖА, Г.А. ФРОЛОВА

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

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕЖЦЕХОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ  
СРЕДСТВАМИ ИНЖЕНЕРИИ КВАНТОВ ЗНАНИЙ.  
ЧАСТЬ II. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИЯХ «РАСЦЕХОВКА»**

*Приведен производственный пример постановки и поиска решения многокритериальной задачи о назначениях при разработке межцеховых технологических маршрутов («расцеховка») в самолетостроении средствами инженерии квантов знаний. Решение этой проблемы проводится с учетом предпочтений технолога, т.е. лица принимающего решение (ЛПР), относительно качества назначений. Это решение основано на анализе характеристик двух множеств элементов ( $n$  возможностей (объектов) и  $n$  требований (субъектов)), оцениваемых по многим критериям. Предложена архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) «Расцеховка», которая служит базой для эффективного решения многокритериальной задачи о назначениях при расцеховке (МЗН-Р). Система позволит в диалоге с ЛПР анализировать исходные данные, формировать область допустимых решений, определять наилучшие назначения как оптимальное многокритериальное решение МЗН-Р.*

**Ключевые слова:** многокритериальная задача расцеховки, инженерия квантов знаний, технологическая подготовка производства (ТПП), интеллектуальная система поддержки принятия решений (ИСППР).

## 1. Постановка производственной МЗН-Р

Актуальной научной задачей является разработка моделей и методов знаниеориентированной поддержки принятия многокритериальных решений в технологической подготовке производства (ТПП) в самолетостроении.

В работе [1] сформулирована задача многокритериального принятия решений при разработке межцеховых и внутрицеховых технологических маршрутов («расцеховка») средствами инженерии квантов знаний как многокритериальная задача о назначениях (МЗН-Р).

Цель данной статьи заключается в иллюстрации методики решения МЗН-Р на конкретных производственных данных.

Задача состоит в построении решающего правила распределений  $n$  возможностей (объектов) среди  $n$  требований (субъектов), если объекты и субъекты имеют оценки по  $N$  качественным критериям с порядковыми шкалами, а ответственным за решение является технолог. Обобщенным критерием решения задачи служит максимально возможное число наилучших назначений, т.е. наиболее близких по своим векторным характеристикам пар «возможность – требование» с учетом предпочтений технолога и заранее созданной базы производственно-технологических знаний.

Применительно к МЗН-Р, решаемой при технологической подготовке производства (ТПП), требуется принимать многокритериальные решения с целью оптимального распределения многоменклатурных заказов (субъектов) по цеховым технологическим маршрутам (объектам) как исполнителям. Согласно содержательной и формальной постановке МЗН-Р в работе [1] рассмотрим ее решение на производственном примере с помощью общего алгоритма AR, предложенного в [1, 2].

Пусть необходимо определить  $n = 4$  наиболее близких по своим характеристикам пар «субъект-объект», т.е. назначений для  $n = 4$  заказов и  $n = 4$  исполнителей, каждый из которых характеризуется совокупностью оценок по  $N = 5$  критериям. Точное определение близости дано в формальной постановке МЗН-Р в качестве агрегативного критерия «свертки» по Ларичеву [2], соответствующего максимальному числу взаимно удовлетворенных участников «заказ-исполнитель». Критерии оценивания заказа и исполнителя имеют как бы «зеркальный» характер, т.е. одному (нескольким) критерию, указывающему на требования, предъявляемые заказом, соответствует один (несколько) критерий, характеризующий возможности исполнителя. Фактически пары «зеркальных» критериев имеют общую порядковую шкалу оценок, хотя каждая из них использует две словесные формулировки. В качестве таких пар

критериев в МЗН-Р применяются, например, критерий «возможности предприятия» и критерий «объем заказа». Критерию «состав операционной технологии заказа» отвечает критерий «маршрутная технология: цех-участок-станок» и т.п. Руководитель назначениями в расцеховке технолог как ЛПР, который с одной стороны, обязан разглядеть в каждом заказе его соответствие определенным требованиям, а с другой – стремится назначить исполнителя (технологический маршрут), который обладает возможностями для удовлетворения этих требований.

Пусть эксперты совместно с технологом разработали следующие критерии для оценивания соответствия заказов (субъектов) и исполнителей (объектов).

**Критерий 1.** Срочность заказа:

- 1) высокая;
- 2) средняя;
- 3) не срочный заказ.

**Критерий 2.** Важность заказа:

- 1) повышенная;
- 2) нормальная.

**Критерий 3.** Состав операционной технологии заказа:

- 1) операции (а–ж);
- 2) операции (а, б, в);
- 3) операции (г, д, ж);
- 4) операции (ж, е),

где а) заготовительные операции;  
 б) токарные операции и сверление;  
 в) фрезерование;  
 г) закалка;  
 д) покрытие;  
 е) контрольные операции;  
 ж) сборка.

**Критерий 4.** Тип производства заказа:

- 1) среднесерийное;
- 2) мелкосерийное;
- 3) единичное.

**Критерий 5.** Требуемая квалификация рабочих:

- 1) 6-й разряд;
- 2) 5-й разряд;
- 3) 4-й разряд;
- 4) 3-й разряд.

Сформируем оценки на «зеркальных» шкалах заданных критериев  $K_1, K_2, \dots, K_5$  в следующем виде.

Шкала требований критерия  $K_1$  – срочность заказа.

1. Требуется выполнить заказ высокой срочности.
2. Для выполнения заказа достаточна средняя срочность.
3. Выполнению подлежит не срочный заказ.

Шкала возможностей  $K_1$ .

1. Предприятие имеет ресурсы выполнить заказ высокой срочности.
2. Предприятие частично обладает ресурсами для выполнения заказов высокой срочности.
3. Производственные ресурсы предприятия обеспечивают выполнения только не срочных заказов.

Шкала требований критерия  $K_2$  – важность заказа.

1. Требуется выполнить заказ повышенной важности.
2. Отсутствует требование выполнения заказа повышенной важности, т.е. заказ нормальной важности.

Шкала возможностей  $K_2$ .

1. Производственные возможности предприятия достаточны для выполнения заказа повышенной важности.
2. У предприятия нет возможностей выполнить заказ повышенной важности.

Шкала требований критерия  $K_3$  – состав операционной технологии заказа.

1. Для выполнения заказа необходим состав операционной технологии, включающий все (а–ж) указанные операции.
2. Необходим состав операционной технологии заказа, включающий только заготовительные операции и «обработку резанием» (а, б, в).
3. Требуется состав операционной технологии заказа, включающий только закалку, покрытие и сборку (г, д, ж).
4. Операционная технология заказа – только сборка и контроль (ж, е).

Шкала возможностей  $K_3$ .

1. Предприятие располагает производственными мощностями (цех-участок-оборудование-работчие), которые обеспечивают организацию необходимой маршрутной технологии, отвечающей заданному составу операционной технологии.
2. На предприятии возможна организация маршрутной технологии, необходимой для реализации состава операционной технологии, включающего только заготовительные операции и обработку металлов резанием.
3. Предприятие способно обеспечить организацию маршрутной технологии, требуемой для реализации операционной технологии, использующей только закалку, покрытие и сборку.

Шкала требований критерия  $K_4$  – тип производства.

1. Заказ относится к типу среднесерийного производства.
2. Заказ требует выполнение мелкосерийного производства.

3. Заказ требует выполнение единичного производства.

Шкала возможностей  $K_4$ .

1. На предприятии обеспечивается среднесерийное производство.

2. Предприятие способно выполнить мелкосерийный заказ.

3. Предприятие способно выполнить единичный заказ.

Шкала требований критерия  $K_5$  – требуемая квалификация рабочих.

1. Выполнение заказа требует наличие рабочих преимущественно 6-го разряда.

2. Для выполнения заказа требуется квалификация рабочих не выше 5-го разряда.

3. Выполнение заказа требует квалификацию рабочих не ниже 4-го разряда.

4. Для выполнения заказа достаточна квалификация рабочих 3-го разряда.

Шкала возможностей  $K_5$ .

1. Предприятие располагает ограниченным количеством рабочих с квалификацией 6-го разряда.

2. Предприятие располагает достаточным количеством рабочих с квалификацией 5-го разряда.

3. Предприятие не располагает достаточным количеством рабочих с квалификацией 4-го разряда.

4. На предприятии работают 40% рабочих с квалификацией 3-го разряда.

## 2. Архитектура ИСППР «Расцеховка» средствами инженерии квантов знаний

Поставленную многокритериальную задачу принятия решений при расцеховке, т.е. МЗН-Р, невозможно эффективно решить без участия опытного технолога и определенной заранее посредством обучения ЭВМ базы квантов знаний по расцеховке (БкЗ-Р) для конкретного производства. Такая БкЗ-Р необходима, главным образом, для хранения технологических закономерностей, условий и предпочтений при расцеховке, а также для дедуктивного вывода альтернатив искомым решениям как следствий, вытекающих из последовательности причинно следственных рассуждений от исходных и промежуточных посылок.

Наиболее эффективен автоматический дедуктивный вывод альтернативных решений посредством БкЗ-Р в виде квантовой сети вывода решений (КСВР) со многими входами и выходами. КСВР является формальной графовой моделью рассуждений технолога при формировании принимаемых решений. На входные вершины КСВР поступают исходные (посылочные) кванты знаний 0-го уровня как признаки субъектов (объектов), а выходные вершины отвечают заключительным следствиям-

решениям, формируемым через промежуточные следствия, в форме квантов 1-го или 2-го уровня. Автоматический вывод решений обеспечивается условиями функционирования разноуровневых квантов знаний в древовидной структуре КСВР [5]. Именно в автоматическом режиме вывода КСВР выполняет роль «опытного технолога», обеспечивая своевременную и оперативную поддержку ЛППР при выявлении критериальных предпочтений на всех последующих этапах методики МЗН-Р [1].

Таким образом, решение сформулированной МЗН-Р базируется на применении соответствующей интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) «Расцеховка» технологом.

Архитектура ИСППР «Расцеховка» как прототипа интеллектуальной информационной технологии, обеспечивающей диалог с ЛППР (технологом) и генерацию альтернатив принимаемых решений, представлена на рис. 1. ИСППР «Расцеховка» позволяет создавать и использовать базу знаний (БЗ) для поддержки принятия решений технологом при проектировании маршрутной и операционной технологии [5].

Входными данными для подсистемы является чертёж детали, серийность производства, материал, срок заказа и т.д.

Выходными данными является технологическая карта на изготовление заданной детали, операционная карта, расцеховка и др.

Архитектура ИСППР «Расцеховка» представлена на рис. 1 и включает следующие модули:

1) ввод, изменение, удаление данных – модуль обеспечивает обработку входных данных;

2) формирование сценарных примеров обучающих знаний (СПОЗ) и таблицы эмпирических данных (ТЭД) – модуль формирования по выборочным ТЭД или СПОЗ исследуемой предметной области. Процесс обучения заключается в алгоритмическом нахождении по ТЭД или СПОЗ количества квантовых узлов сети, логических связей между ними и компонентов структуры квантов;

4) оптимизация квантовой сети вывода решений (КСВР) – модуль осуществляет минимизацию сети по свертке и по следствию, а также минимизацию информационной составляющей квантов по законам идемпотентности алгебры высказываний;

5) анализ данных «объект-субъект» – проверяется возможность получения идеального решения МЗН-Р на основе формального преобразования исходных данных к виду многокритериальных оценок пар «объект-субъект» с целью выбора стратегии поиска решения МЗН-Р в зависимости от характера и типа задачи;

6) формирование области допустимых решений (ОДР) МЗН-Р – модуль

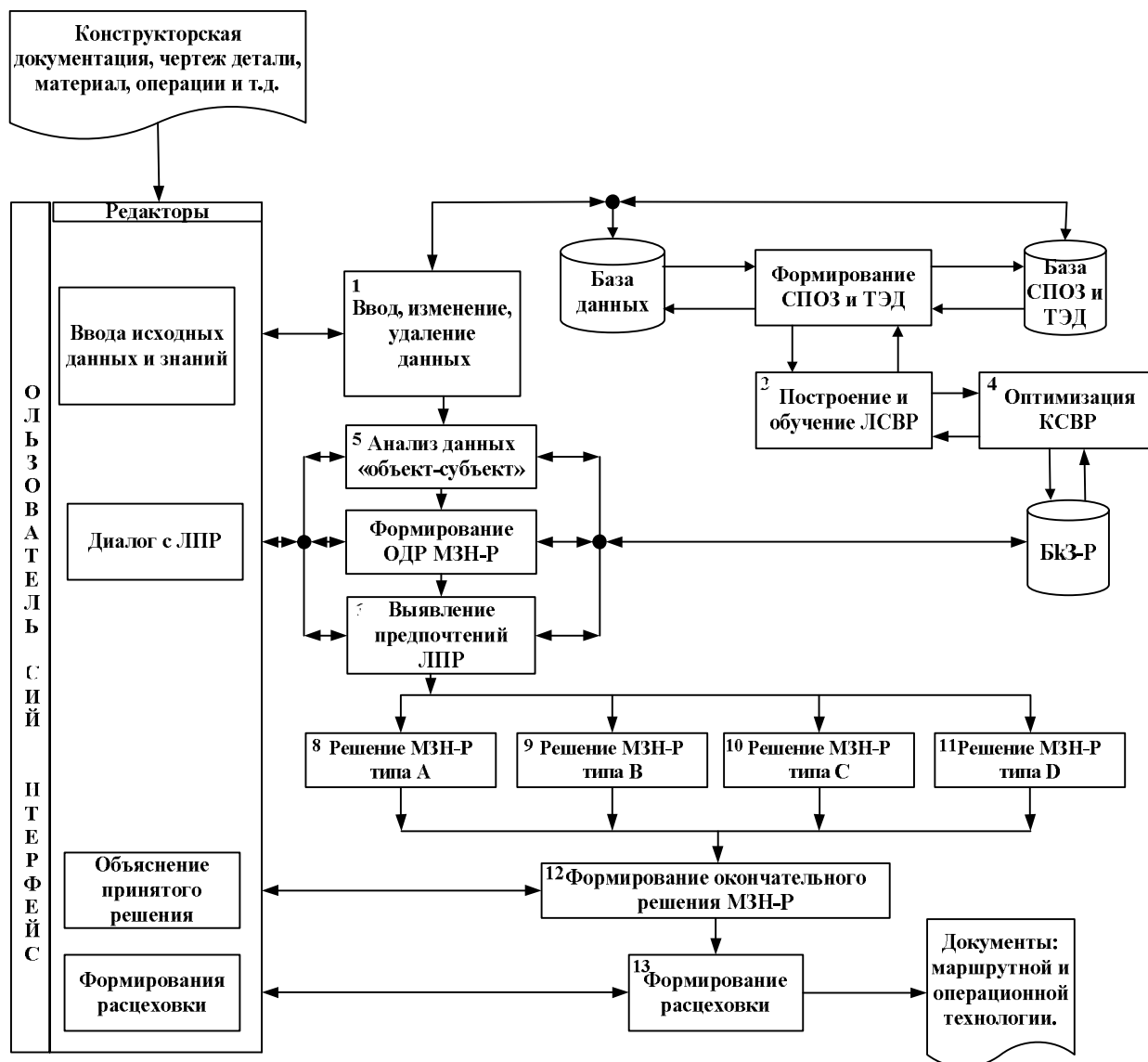


Рис. 1. Архитектура ИСППР «Расцеховка»

формирует ОДР МЗН-Р на основе использования БкЗ расцеховки (БкЗ-Р); в результате выполнения этого этапа уточняется ОДР и варианты возможных решений МЗН-Р. Стратегию формирования ОДР технолог-ЛПР выбирает сам, используя диалог с ИСППР «Расцеховка»;

7) выявление предпочтений ЛПР – модуль определяет предпочтения технолога как ЛПР и выявляет в диалоговом или автоматическом режиме работы с ИСППР свои предпочтения относительно качества назначений, достаточного для такого решения данной МЗН-Р;

8)-11) решение МЗН-Р типа А, В, С, D – модуль на основе разработанной общей методики и общего итеративного алгоритма под названием AR [1] осуществляет поиск решения МЗН-Р определенного типа А, В, С, D [1, 2];

12) формирование окончательного решения МЗН-Р – модуль в зависимости от характера, типа

задачи и результатов предыдущего этапа в соответствии с общим алгоритмом решения МЗН-Р [1], определяет наилучшие назначения по критерию минимальной суммы рангов и формирует окончательное решение МЗН-Р;

13) формирование расцеховки – модуль предназначен для составления технологической документации.

База СПОЗ и ТЭД позволяет сохранять сформированные обучающие ТЭД и СПОЗ такого объема (m,n), при котором обеспечивается построение БкЗ-Р как КСВР.

База данных представляет собой рабочую память, в которой хранятся текущие данные и другая информация, имеющая отношение к анализируемой системной ситуации.

Редактор работы с данными обеспечивает ввод, изменение, удаление, импорт и экспорт данных, получаемых из конструкторской документации, а так-

же работу с данными, необходимыми для составления расцеховки.

Редактор формирование расцеховки предназначен для составления и визуализации документации расцеховки.

Редактор объяснение принятого решения позволяет пользователю выяснить, как система получила решение задачи, и какие знания были при этом использованы. Это повышает доверие пользователя к системе и облегчает её тестирование.

### 3. Пример производственной МЗН-Р

Проиллюстрируем этап анализа данных на примере заданных 4-х заказов (субъектов)  $C_i$  и 4-х исполнителей (объектов)  $O_j$  ( $i, j = 1, 2, 3, 4; n = 4$ ). Цифрами в скобках обозначим номера вербальных оценок на приведенных выше шкалах 5-ти критериев. Например, второй субъект  $C_2$  характеризуется критериальными оценками:  $C_2 = (1; 2; 1; 3; 1)$ , т. е. второй заказ имеет высокую срочность, не повышенную важность, требует состав операционной технологии, включающий все 7 указанных операций, заказ единичный, для выполнения которого требуются преимущественно рабочие 6-го разряда.

Характеристики объектов выражают исполнительские возможности предприятия. Например, третий объект  $O_3$  характеризуется критериальными оценками:  $O_3 = (2; 2; 1; 3; 2)$ , т. е. третий исполнитель частично обладает ресурсами для выполнения заказов высокой срочности и не может выполнить заказ повышенной важности. Кроме этого, исполнитель обеспечивает организацию необходимой маршрутной технологии для реализации операционной технологии заказа, способен выполнить единичный заказ и располагает достаточным количеством рабочих с квалификацией 5-го разряда.

Пусть исходные данные МЗН-Р представлены матрицей критериального соответствия (МКС) в виде табл. 1, где  $C_1, C_2, C_3, C_4$  — требования (заказ),  $O_1, O_2, O_3, O_4$  — возможности (исполнитель).

Таблица 1

Матрица критериального соответствия

Субъект	Критерии					Объект	Критерии				
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
$C_1$	3	2	3	1	4	$O_1$	2	1	1	1	2
$C_2$	1	1	1	3	2	$O_2$	2	2	2	3	3
$C_3$	2	2	4	3	2	$O_3$	2	2	4	3	2
$C_4$	3	1	1	2	3	$O_4$	3	2	3	1	4

Матрица сходства (МС), составленная из векторов соответствия, имеет вид табл. 2. Каждый компонент  $R_{ij}^k (i, j = \overline{1, 4}; k = \overline{1, 5})$  этих векторов критер

риального соответствия отражает степень соответствия характеристик элементов назначений  $\{C_i - O_j\}$  по  $k$ -му критерию и определяется по формуле (1) в [1].

Таблица 2

Матрица сходства

Объект	Субъект			
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$O_1$	00000	10000	00000	00000
$O_2$	00020	11101	00001	01110
$O_3$	00120	11300	00000	01310
$O_4$	00000	21202	10002	01201

Из табл. 2 видно, что при заданных условиях существует пять идеальных назначений:  $\{C_1 - O_1\}; \{C_1 - O_4\}; \{C_3 - O_1\}; \{C_3 - O_3\}; \{C_4 - O_1\}$ . Для проверки возможности идеального решения МЗН-Р сформируем матрицу формальных индексов  $J_{ij}$  соответствия (МФИС) путем представления табл. 2 с помощью формулы (2) в [1] в виде таблицы свертки (табл. 3).

Таблица 3

Матрица формальных индексов соответствия

Объект	Субъект			
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$O_1$	0	1	0	0
$O_2$	2	4	1	3
$O_3$	3	5	0	5
$O_4$	0	7	3	4

С помощью алгоритма AR [1] решаем однокритериальную задачу назначений при расцеховке (ОЗН-Р) на множестве элементов МФИС (табл. 3). Из решения ОЗН-Р следует, что в приведенном численном примере идеального решения МЗН-Р не существует, т. к. любое возможное решение содержит, по меньшей мере, одно неидеальное решение. Например, решение

$$[\{C_1 - O_4\}; \{C_2 - O_2\}; \{C_3 - O_3\}; \{C_4 - O_1\}]$$

содержит назначение  $\{C_2 - O_2\}$ , отличное от идеального, т. к.  $J_{22} = 4 \neq 0$ . Следовательно, в нашем примере необходимо продолжить поиск решения МЗН-Р, обращаясь к ИСППР «Расцеховка» (рис. 1) с целью формирования предпочтительной ОДР.

В диалоге технолога-ЛПП с ИСППР «Расцеховка», выяснилось, что рассматриваемая МЗН-Р имеет повторяющийся характер и тип В. В связи с этим выбрана стратегия поиска решения задачи В, изложенная в п.п. 2.5.2 в [1]. Это решение реализуется блоками 1-6, 11-13, 26 алгоритма AR рис. 1 в [1]. Стратегию формирования ОДР МЗН-Р технолог обычно выбирает сам, но с помощью

ИСППР «Расцеховка», вводя собственные ограничения. Например, анализируя МФИС по табл. 3 он может принять решение о недопустимости назначения  $\{C_2 - O_4\}$  в силу слишком большой степени (7) взаимной неудовлетворенности элементов вектора критериального соответствия (КС). После запрета назначения  $\{C_2 - O_4\}$  в диалоге с ИСППР «Расцеховка» ЛПР проверяет, есть ли решение задачи в целом. В нашем примере одно из возможных решений имеет вид

$$[\{C_1 - O_4\}(0); \{C_2 - O_2\}(4); \{C_3 - O_3\}(0); \{C_4 - O_1\}(0)],$$

где в круглых скобках указаны значения  $J_{ij}$ , отражающие качества назначений. Таким образом, для формирования ОДР используется ускоренный поиск вариантов решения МЗН-Р, идея которого состоит в том, что на множестве разрешенных элементов ищутся возможные решения ОЗН-Р. При этом минимизируется сумма  $J_{ij}$  и находится решение МЗН-Р с максимальным количеством наилучших назначений. Если технолог удовлетворен полученным на этом этапе решением, то МЗН-Р считается решенной. Однако, после формирования ОДР технолог стремится выразить свои предпочтения по качеству назначений и упорядочить назначения. Предпочтения ЛПР служат основой для ранжирования назначений, т.е. ранжирования соответствия возможностей различных исполнителей (объектов) требованиям заказов (субъектов). В результате выполнения основной и вспомогательной процедур выявления предпочтений назначения ранжируются по их ценности для ЛПР (см. п.п. 2.4 в [1]).

Осуществив основную процедуру выявления предпочтения технолога для абсолютных критериальных отклонений (АКО) ранжирование в нашем примере приводит к следующему результату (табл. 4):

Таблица 4  
Ранжирование назначений по их ценности

Ядро	Список назначений	Ранг
1	$\{C_1 - O_1\}; \{C_1 - O_4\}; \{C_3 - O_1\};$ $\{C_3 - O_3\}; \{C_4 - O_1\}$	0
2	$\{C_2 - O_1\}; \{C_3 - O_2\}$	1
3	$\{C_1 - O_3\}; \{C_1 - O_2\}; \{C_4 - O_2\};$ $\{C_3 - O_4\}$	2
4	$\{C_2 - O_2\}; \{C_2 - O_3\}; \{C_4 - O_4\}$	3
5	$\{C_4 - O_3\}$	4
6	$\{C_2 - O_4\}$	5

Такое ранжирование назначений по ценности  $\Phi(\{C_i - O_j\})$  для технолога реализуется блоком 11 алгоритма AR в [1]. По этому результату блок 12 в

[1] формирует ранговую матрицу качества (ценности) назначений (МН) как табл. 5, отражающую упорядочение назначений по качеству согласно предпочтениям технолога. Высшее качество имеет идеальное назначение с высшим рангом, которому присвоено значение 0. При снижении качества назначения уменьшается его ранг, но увеличивается номер назначения как число, отображающее качество назначения.

Таблица 5  
Ранговая матрица МН качества назначений

Объект	Субъект			
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$O_1$	0	1	0	0
$O_2$	2	3	1	2
$O_3$	2	3	0	4
$O_4$	0	5	2	3

В соответствии с принятым критерием оптимальности блок 13 алгоритма AR в [1] осуществляет решение ОЗН-Р на ранговой матрице МН (табл. 5), а технолог (ЛПР) утверждает оптимальное решение МЗН-Р:

$$[\{C_1 - O_4\}; \{C_2 - O_2\}; \{C_3 - O_3\}; \{C_4 - O_1\}]. \quad (1)$$

Окончательное решение рассматриваемой МЗН-Р формируется блоком 26 алгоритма AR в [1] на основе оптимального решения (1) с помощью ИСППР «Расцеховка» в квантовом виде. В данном примере используются точные кванты знаний (t-кванты) [5], т.к. они описывают достоверные события расцеховки, отвечающие принимаемым многокритериальным решениям. Согласно оптимальному решению МЗН-Р (1) имеем следующие t-кванты принимаемых решений относительно назначений (расцеховки) заказов по предпочтению технолога:

$$1. \text{tk}_1 \{C_1 - O_4\} =$$

$$= \left[ \begin{array}{cccccc} \overbrace{K_1} & \overbrace{K_2} & \overbrace{K_3} & \overbrace{K_4} & \overbrace{K_5} & \overbrace{MTO_4} \\ 003 & : 02 & : 0030 & : 100 & : 0004 & : 000O_4 \end{array} \right];$$

$$; \{A_1^1, \dots, A_m^1\} \quad (2)$$

с семантикой: «ЕСЛИ заказ  $C_1$  не срочный И не повышенной важности, И по операционной технологии требует только закалку, покрытие и сборку, И относится к среднесерийному типу производства, И для выполнения заказа достаточна квалификация рабочих 3-го разряда, ТО выполнение  $C_1$  обеспечивается маршрутной технологией «исполнителя»  $O_4$  (MTO<sub>4</sub>: участок 3 цеха 17, участок 2 цеха 6 и участок 2 цеха 3 с выделенной бригадой рабочих 3-го разряда); поддержка принимаемого решения реализуется системой алгоритмов  $\{A_1^1, \dots, A_m^1\}$  операторной части t-кванта  $\text{tk}_1 \{C_1 - O_4\}$ ».

$$\begin{aligned}
 2. \quad tk_1\{C_2 - O_2\} &= \\
 &= \left[ \begin{array}{c} \overline{K_1} \quad \overline{K_2} \quad \overline{K_3} \quad \overline{K_4} \quad \overline{K_5} \quad \overline{MTO_2} \\ 100 : 10 : 1000 : 003 : 0200 : 00_2 00; \\ \vdots \{A_1^2, \dots, A_L^2\} \end{array} \right] \quad (3)
 \end{aligned}$$

с семантикой: «ЕСЛИ заказ  $C_2$  высокой срочности **И** повышенной важности, **И** требует операционную технологию, включающую по составу все (а-ж) операции, **И** относится к единичному типу производства, **И** для выполнения заказа требуются рабочие 5-го разряда, **ТО** выполнение  $C_2$  обеспечивается маршрутной технологией «исполнителя»  $O_2$  ( $MTO_2$ : участок 3 цехов 17 и 18, вторые участки цехов 3 и 6 с выделенными двумя бригадами рабочих не ниже 5-го разряда); поддержка принимаемого решения реализуется системой алгоритмов  $\{A_1^2, \dots, A_L^2\}$  операторной части t-кванта  $tk_1\{C_2 - O_2\}$ , который получен после основной процедуры выявления предпочтений технолога».

$$\begin{aligned}
 3. \quad tk_1\{C_3 - O_3\} &= \\
 &= \left[ \begin{array}{c} \overline{K_1} \quad \overline{K_2} \quad \overline{K_3} \quad \overline{K_4} \quad \overline{K_5} \quad \overline{MTO_3} \\ 020 : 02 : 0004 : 003 : 0200 : 00O_3 0; \\ \vdots \{A_1^3, \dots, A_S^3\} \end{array} \right] \quad (4)
 \end{aligned}$$

с семантикой: «ЕСЛИ заказ  $C_3$  средней срочности **И** не повышенной важности, **И** по операционной технологии требует только сборку и контроль, **И** относится к единичному типу производства, **И** для выполнения заказа требуются рабочие не выше 5-го разряда, **ТО** выполнение  $C_3$  обеспечивается маршрутной технологией «исполнителя»  $O_3$  ( $MTO_3$ : сборочный цех 2 с выделенной бригадой рабочих не выше 5-го разряда); поддержка принимаемого решения реализуется системой алгоритмов  $\{A_1^3, \dots, A_S^3\}$  операторной части t-кванта  $tk_1\{C_3 - O_3\}$ ».

$$\begin{aligned}
 4. \quad tk_1\{C_4 - O_1\} &= \\
 &= \left[ \begin{array}{c} \overline{K_1} \quad \overline{K_2} \quad \overline{K_3} \quad \overline{K_4} \quad \overline{K_5} \quad \overline{MTO_1} \\ 003 : 10 : 1000 : 020 : 0030 : O_1 000; \\ \vdots \{A_1^4, \dots, A_p^4\} \end{array} \right] \quad (5)
 \end{aligned}$$

с семантикой: «ЕСЛИ заказ  $C_4$  не срочный, но повышенной важности, **И** требует операционную технологию, включающую по составу все (а-ж) операции, **И** относится к мелкосерийному типу производства, **И** для выполнения  $C_4$  необходимы рабочие не выше 4-го разряда, **ТО** заказ  $C_4$  выполняется по маршрутной технологией «исполнителя»  $O_1$  ( $MTO_1$ : участок 3 цехов 17 и 18, вторые участки цехов 3 и 6

с выделенной бригадой рабочих не выше 4-го разряда); поддержка принимаемого решения реализуется системой алгоритмов  $\{A_1^4, \dots, A_p^4\}$  операторной части t-кванта  $tk_1\{C_4 - O_1\}$ ».

Напомним, что описанные t-квантами (2)–(5) знаниеориентированные решения при расцеховке являются оптимальными по агрегативному критерию максимального числа наилучших назначений по Ларичеву [3] относительно указанных частных критериев  $K_1$ – $K_5$  с учетом предпочтений технолога-ЛПР.

## Заключение

Впервые поставлена и решена средствами инженерии квантов знаний многокритериальная задача принятия знаниеориентированных решений при разработке межцеховых технологических маршрутов («расцеховка») как многокритериальная задача о назначениях при расцеховке (МЗН-Р). Отличительная особенность МЗН-Р состоит в том, что ее решение не выполнимо в производственных условиях без помощи ИСППР «Расцеховка», выступающей в роли помощника технолога как ЛПР. В диалоге с ИСППР «Расцеховка», опираясь на технологическую базу квантов знаний (БкЗ), ЛПР формирует область допустимых решений МЗН-Р и правила принятия решений с наилучшим критериальным соответствием «заказ-исполнитель» по своему предпочтению, а также выступает посредником тогда, когда без его вмешательства решение задачи заходит в тупик. При этом учитывается влияние объективных и субъективных факторов на процедуры поиска решения. Объективными являются процедуры формирования матриц МКС, МС, МФИС-свертка по Ларичеву, МН – ранговая матрица назначений и выбора из ОДР такого решения, для которого сумма рангов наилучших назначений минимальна. Это равносильно выбору из ОДР решения с максимально возможным числом наилучших назначений с точки зрения ЛПР. Используемые средства инженерии квантов знаний при разработке ИСППР «Расцеховка» обеспечивают индуктивное построение и пополнение БкЗ требуемого качества как системы имплицативных и (или) функциональных закономерностей для дедуктивного вывода идентификационных и прогнозных многокритериальных решений при расцеховке.

Практические результаты подтверждают, что многокритериальная постановка задачи принятия решений при расцеховке более адекватна реальным производственным ситуациям. Взаимодействие ЛПР (технолога) с ИСППР-«Расцеховка» позволяет решать МЗН-Р в реальном масштабе времени.

## Література

1. Сироджа І.Б. Многокритеріальне прийняття рішень при розробці міжцехових технологічних маршрутів засобами інженерії квантів знань. *Частина I. Постановка і метод рішення многокритеріальної задачі о назначеннях «розцеховка»* / І.Б. Сироджа, Г.А. Фролова // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2009. – №3 (60). – С. 83-95.
2. Вагнер Г. *Основи дослідження операцій: в 3-х т.* / Г. Вагнер. – Т. 1. – М.: Мир, 1973. – 335 с.
3. Ларичев О.І. *Теорія і методи прийняття рішень: учебник, изд. третье, перераб. и доп.* / О.І. Ларичев. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 392 с.
4. Кожукаров А.Н. *Многокритеріальна задача о назначеннях* / А.Н. Кожукаров, О.І. Ларичев // *Автоматика і телемеханіка*. – 1977. – № 7. – С. 71-88.
5. Сироджа І.Б. *Квантові моделі і методи штучного інтелекту для прийняття рішень і управління* / І.Б. Сироджа. – К.: Наук. думка, 2002. – 428 с.
6. Ларичев О.І. *Человеко-машинные методы решения многокритеріальної задачі о назначеннях* / О.І. Ларичев, М.Ю. Стернин // *Автоматика і телемеханіка*. – 1998. – №7. – С. 71-88.
7. Сироджа І.Б. *Автоматизація прийняття рішень при розробці міжцехових технологічних маршрутів на приборостроительных підприємствах* / І.Б. Сироджа, Г.А. Фролова // *Бионика інтелекту*. – 2006. – № 1. – С. 56-58.
8. Ларичев О.І. *Качественные методы прийняття рішень* / О.І. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука, Физмат лит, 1996. – 2008 с.
9. Кини Р.Л. *Прийняття рішень при многих критериях: предпочтения и замещения* / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 480 с.

Поступила в редакцію 5.06.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри економіко-математического моделювання В.М. Варталян, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків.

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ РОЗРОБЦІ  
МІЖЦЕХОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАРШРУТІВ ЗАСОБАМИ ІНЖЕНЕРІЇ КВАНТІВ ЗНАНЬ.  
ЧАСТИНА II. ВИРОБНИЧА РЕАЛІЗАЦІЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ  
ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ «РОЗЦЕХОВКА»**

*І.Б. Сироджа, Г.О. Фролова*

Наведено виробничий приклад постановки та пошуку рішення багатокритеріальної задачі про призначення при розробці міжцехових технологічних маршрутів («розцеховка») в літакобудуванні засобами інженерії квантів знань. Вирішення цієї проблеми проводиться з урахуванням переваг технолога, тобто особи що приймає рішення (ОПР), щодо якості призначень. Це рішення засновано на аналізі характеристик двох множин елементів (n можливостей (об'єктів) і n вимог (суб'єктів)), які оцінюються за багатьма критеріями. Запропонована архітектура інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) «Розцеховка», яка є базою для ефективного вирішення багатокритеріальної задачі про призначення при розцеховці (МЗН-Р). Система дозволить у діалозі з ОПР аналізувати вихідні дані, формувати область допустимих рішень, визначити найкращі призначення як оптимальне багатокритеріальне рішення МЗН-Р.

**Ключові слова:** багатокритеріальна задача розцеховки, інженерія квантів знань, технологічна підготовка виробництва (ТПВ), інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (ІСППР)

**MULTIPLE-CRITERIA DECISION MAKING AT THE DEVELOPMENT OF INTERPLANT  
TECHNOLOGICAL ROUTES ON THE BASIS OF KNOWLEDGE QUANTES ENGINEERING  
PART II. PRODUCTION IMPLEMENTATION OF MULTICRITERION  
ASSIGNMENT PROBLEM «RASTSEHOVKA»**

*I.B. Sirodzha, G.A. Frolova*

The production example for solutions to the problem of multicriterion assignment problem to development of interplant technological routes («rastsehovka») in aircraft construction on the basis of knowledge quanta engineering is formulated and solved. This problem is solved give preference to technologist - decision maker from quality of appointments. This decision is based on an analysis of the characteristics of the two sets of elements (n resource (objects) and the n demands (subjects)), evaluated on many criteria. An architecture Intelligent Decision Support System (IDSS) «Rastsehovka», which serves as base to effectively solution the problem of multicriterion assignment problem (MAP-R). System will enable dialogue with decision maker analyze raw data, build feasible solution, describe to the best assignment as the optimal multicriteria decision MAP-R.

**Key words:** multicriterion problem of routing, knowledge quantes engineering, technological productions, Intelligent Decision Support System (IDSS)

**Сироджа Ігорь Борисович** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

**Фролова Галина Александровна** – аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: Frolova.Galka@gmail.com.