

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 I. ПОСТАНОВКА И МЕТОД РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ
ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИЯХ «РАСЦЕХОВКА»**

Сформулирована и решена задача принятия решений при разработке межцеховых технологических маршрутов («расцеховка») средствами инженерии квантов знаний как многокритериальная задача о назначениях. 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 близким по своим векторным характеристикам пар «возможность – требование» с учетом предпочтений технолога и заранее созданной базы производственно – технологических знаний.

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

1. Особенности и постановка задачи

Весьма актуальной является задача многокритериального принятия решений при разработке межцеховых и внутрицеховых технологических маршрутов (кратко «расцеховка») в самолетостроении и в частности в приборостроении. Эта задача родственная известной в науке и технике задаче о назначениях. В исследовании операций [1] известна задача о назначениях с одним критерием качества решения – минимум стоимости выполнения всей заданной совокупности n работ (субъектов) n исполнителями (объектами) при заданной стоимости образования каждой пары «объект-субъект». Для решения однокритериальной задачи о назначениях (ОЗН) применяются различные методы дискретного программирования. В современной теории принятия решений [2] ОЗН получила обобщение на случай более сложной многокритериальной задачи о назначениях (МЗН), где заданы оценки каждого элемента n -множеств объектов O и субъектов S по N критериям (k_1, k_2, \dots, k_N) . В МЗН требуется на основе предпочтения лица, принимающего решение (ЛПР), определить и выбрать из множества допустимых решений то, для которого сумма вычисленных рангов лучших S назначений (пар «объект-субъект», $S \leq n$) минимальна. Способы ранжирования назначений и решения такой МЗН подробно изложены и обоснованы в [2, 3, 5].

В настоящей работе, опираясь на классику [1 – 3,

5], рассматривается и решается задача знаниеориентированного принятия решений при разработке межцеховых технологических маршрутов как МЗН с учетом следующих особенностей.

1. За результат решения этой МЗН отвечает технолог как ЛПР на основе использования собственных знаний и ранее накопленной, обновляемой и пополняемой базы производственно-технологических квантов (порций) знаний (БкЗ). В отличие от существующих БкЗ представляет собой систему имплицативных и (или) функциональных закономерностей относительно критериев, шкал и оценок по совокупности критериев с учетом взаимного (объект-субъект) соответствия предъявляемых требований и удовлетворяющих возможностей. БкЗ синтезируется индуктивно в режиме обучения по выборочным знаниям средствами инженерии квантов знаний (ИКЗ) [5].

2. В общем случае рассматриваемой задачи не существует совокупности очевидных «идеальных» назначений (пар «объект-субъект» с полным взаимным соответствием), приводящих к решению МЗН. В связи с этим требуются знания для определения:

а) степени несоответствия характеристик элементов множеств объектов и субъектов, при которой допустима пара (субъект, объект), формирующая решение задачи;

б) меры близости по характеристикам конкретного субъекта к объекту из заданного множества O ;

в) меры близости по характеристикам конкрет-

ного объекта к субъекту из заданного множества C ;

г) степени предпочтения пары «объект–субъект» в окончательном решении при сравнении пар между собой.

Каждая из оценок шкалы критерия имеет две формулировки, характеризующие взаимные требования и возможности субъектов и объектов. Большинство критериев имеют качественный, субъективный характер, а шкалы их оценок чаще всего задаются в форме высказываний.

Учитывая описанные особенности, сформулируем задачу знаниеориентированного принятия решений при разработке межцеховых технологических маршрутов как МЗН «Расцеховка» с новой аббревиатурой МЗН-Р применительно к технологической подготовке производства (ТПП). Именно эффективная расцеховка на этапе ТПП устанавливает такой порядок прохождения многоменклатурных заказов (т. е. субъектов) по цеховым и межцеховым технологическим маршрутам (т. е. объектам), при котором обеспечивается оптимальная по срокам и ресурсам готовность производства к изготовлению изделий согласно требований заказчика или рынка сбыта. Отсюда содержательная постановка МЗН-Р состоит в следующем.

Заданы: множества из n заказов (субъектов) и n технологических маршрутов (объектов) для выполнения заказов, каждый из которых характеризуется оценками по N критериям, связанным с предъявляемыми требованиями и удовлетворяющими возможностями, а также соответствующая база квантов знаний с предпочтениями технолога как ЛПР.

Требуется: на основе имеющейся БкЗ сформировать область допустимых решений (ОДР) и правило принятия n эффективных решений с наилучшим критериальным соответствием «объект–субъект» по предпочтению технолога. Для формальной постановки МЗН-Р введем необходимые понятия и обозначения. Пусть известно n -множество C заказов (субъектов) и n -множество O технологических маршрутов (объектов) для выполнения заказов, а также N критериев, отражающих требования субъектов и возможных объектов и наоборот.

Допустим, что объект O_i , $i = \overline{1, n}$ имеет критериальные оценки $O_i^1, \dots, O_i^v, \dots, O_i^N$, а субъект C_i – $C_i^1, \dots, C_i^\mu, \dots, C_i^N$, где O_i^v и C_i^μ – номера оценок на шкалах v -го и μ -го критериев, упорядоченные от лучшей к худшей. Обозначим через T_{ip}^k , $(i = \overline{1, n}; k = \overline{1, N})$ p -ю по порядку оценку на шкале требований i -го элемента множества O или C по k -му критерию, а через V_{jq}^k , $(j = \overline{1, n})$ q -ю оценку на шкале возможностей j -го элемента множества C

или O по тому же k -му критерию. Назовем критериальным соответствием (КС) различие по одному из критериев между требованиями субъекта (объекта) и возможностями объекта (субъекта). Полагаем, что требование T_{ip}^k удовлетворены возможностями V_{jq}^k , если $p \geq q$, т. е. имеет место идеальное КС, где p и q – номера оценок на шкалах требований и возможностей k -го критерия. Любую пару $\{C_i - O_j\}$, образованную элементами $C_i \in C$ и $O_j \in O$ из $(n \times n)$ – множества всевозможных пар назовем назначением. Очевидно, идеальным назначением будет пара $\{C_i - O_j\}$, для которой все КС идеальны $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Назовем решение МЗН-Р единичную диагональную матрицу MS размерностью $(n \times n)$, диагональные элементы которой соответствуют назначениям, формирующим решение. Идеальным решением называют решение МЗН-Р, все назначения которого идеальны.

Формально охарактеризуем отношения между элементами двух множеств C и O (заказов и технологических маршрутов) вектором критериального соответствия по k -му критерию \overline{R}_{ij}^k , $(i, j = \overline{1, n}; k = \overline{1, N})$. Любой k -й компонент \overline{R}_{ij}^k этого вектора отражает степень соответствия характеристик элементов назначения $\{C_i - O_j\}$ по k -му критерию и определяется по формуле:

$$R_{ij}^k = \begin{cases} 0, & \text{если } T_{ip}^k \leq V_{jq}^k \text{ при } p \geq q, \\ r_k, & \text{если } T_{ip}^k > V_{jq}^k, \end{cases} \quad (1)$$

где r_k – число оценок на шкале k -го критерия, на которой требования превышают возможности.

Согласно (1) условие $R_{ij}^k = 0$ означает, что требования по k -му критерию удовлетворены, а условие $R_{ij}^k = r_k > 0$ – неудовлетворены. При удовлетворении требований считают, что КС по данному критерию обладает наивысшим качеством. Очевидно, множество векторов соответствия \overline{R}_{ij}^k образует $(n \times n)$ – матрицу сходства MS субъекта C_i и объекта O_j . Предположим, что для каждого \overline{R}_{ij}^k формируется агрегированный критерий в виде свертки этого вектора относительно несовпадений (отклонений) оценок по k -му критерию соответствия C_i O_j и наоборот. Тогда свертка может принимать:

– значение 0, если назначение $\{C_i - O_j\}$ идеально, т.е. с полностью взаимно удовлетворенными требованиями по всем N критериям (отклонений нет);

– значение 1, если не удовлетворено одно из требований на одну градацию шкалы критерия (одно отклонение);

– значение 2, если не удовлетворено одно из требований на две градации шкалы, либо два различных требования на одну градацию каждое (два отклонения) и т.д.

Предполагая равную значимость компонентов R_{ij}^k (1) и их шкал, вычислим значение свертки как сумму J_{ij} отклонений по каждому из компонентов вектора \vec{R}_{ij}^k по формуле:

$$J_{ij} = \sum_{k=1}^N R_{ij}^k, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Следовательно, суммарная величина критериальных соответствий J_{ij} (2) может служить формальным индексом качества назначения, которое является наилучшим при $J_{ij}=0$ (идеальное назначение) и ухудшается с увеличением J_{ij} . Назначения, имеющие одинаковое значение свертки (2), равноценны, т.е. обладают равным качеством. Ясно, что критерий оптимальности решения МЗН-Р в виде максимально возможного числа наилучших назначений эквивалентен критерию минимальной суммы рангов назначений т.е. формальных индексов J_{ij} (2) качества лучших S назначений ($S \leq n$) по предпочтениям технолога.

Следуя теории принятия решений [2], выделим в каждом из классов уникальных и повторяющихся многокритериальных задач отдельные типы МЗН-Р, различающиеся размерностью своих характеристик (табл. 1):

Таблица 1

Типы МЗН – Р

Тип МЗН – Р	Количество объектов и субъектов (n)	Число критериев и оценок на шкалах (N, q)
A	Небольшое (n=2 до 10)	Малое (N = 2-7, q = 2-5)
B	Небольшое (n>10 до 200)	Большое (N > 5 до 20, q> 5-10)
C	Большое (n>200 до 1000)	Малое (N = 2-7, q = 2-5)
D	Большое (n>1000 до 5000)	Большое (N > 5 до 20, q> 5-10)

Указанные типы А, В, С и D МЗН – Р часто встречаются на практике и требуют различных под-

ходов к их решению на основе использования предварительно построенных баз квантов знаний (БкЗ), содержащих технологические условия, особенности характера и типов задач.

Для таких многокритериальных задач, в которых $n \geq 10$, $N \geq 5$ или при достаточно больших n и N необходимы знаниеориентированные системы поддержки принятия решений (ЗСППР) [2-6]. ЗСППР помогают ЛПР учитывать особенности типов МЗН-Р и реализовывать алгоритмы выявления и анализа предпочтений, а также построения правил принятия многокритериальных решений.

На основании изложенного выше формальная постановка нашей МЗН-Р состоит в следующем.

Заданы: множества заказов $\{C_1, \dots, C_i, \dots, C_n\}$ и множество технологических маршрутов $\{O_1, \dots, O_i, \dots, O_n\}$ с векторными оценками \vec{R}_{ij}^k критериального соответствия по k -му из N критериев каждого элемента C_i и O_j согласно формуле (1); выборочные – таблица эмпирических данных (ТЭД) и сценарные примеры обучающих знаний (СПОЗ) для построения БкЗ о технологических предпочтениях в процессах расщепки; методика ранжирования назначений $\{C_i - O_j\}$ по качеству на основе использования оценок многокритериального соответствия \vec{R}_{ij}^k (1) и формальных индексов качества назначений J_{ij} (2), а также общий критерий оптимальности решения задачи МЗН-Р, определяющийся минимумом суммы рангов (индексов J_{ij}) качества лучших S назначений по предпочтениям БкЗ и ЛПР.

Требуется: по заданным ТЭД и СПОЗ построить в режиме обучения ЭВМ базу квантов знаний о технологических предпочтениях расщепки (БкЗ-Р), используя которую совместно с методикой многокритериального ранжирования назначений, синтезировать общий алгоритм решения МЗН-Р, обеспечивающий выбор из области допустимых решений одного с минимальной суммой рангов J_{ij} наилучших S назначений ($S \leq n$).

2. Общая методика решения МЗН-Р

По характеру будем различать уникальные МЗН-Р, для решения которых требуется осуществить заново весь комплекс подготовки данных, разработки критериев, шкал, и повторяющиеся МЗН-Р, требующие периодического решения с неизменяемым набором критериев, но с иным составом субъектов, объектов и набором экспертных оценок. Относительно размерности МЗН-Р классифицируются по указанным ранее типам: А, В, С и D.

Общая методика решения МЗН-Р состоит из пяти основных этапов.

1. Индуктивное построение БкЗ-Р в режиме обучения ЭВМ. На этом этапе по выборочным обучающим ТЭД и СПОЗ строится база квантов знаний о технологических условиях и предпочтениях расцеховки на конкретном производстве.

2. Анализ исходных характеристик субъектов (заказов) и объектов (технологических маршрутов). На данном этапе 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.

3. Формирование области допустимых решений МЗН-Р на основе использования БкЗ-Р. В результате выполнения этого этапа уточняется ОДР и варианты возможных решений МЗН-Р.

4. Определение предпочтений технолога. На этом этапе технолог как ЛПР выявляет в диалоговом или автоматическом режиме работы с ЗСППР свои предпочтения относительно качества назначений, достаточных для такого решения данной МЗН-Р.

5. Формирование окончательного решения конкретной МЗН-Р. В зависимости от характера, типа задачи и результатов предыдущего этапа в соответствии с общим алгоритмом решения МЗН-Р определяются наилучшие назначения по критерию минимальной суммы рангов и формируется окончательное решение МЗН-Р.

Ниже приведем краткое обоснование каждого этапа предложенной методики.

2.1. Индуктивное построение БкЗ-Р

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 [4]. Именно в автоматическом режиме вывода КСВР выполняет роль «опытного технолога», обеспечивая своевременную и оперативную поддержку ЛПР при выявлении критериальных предпочтений на всех последующих этапах методики МЗН-Р.

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

Индуктивное построение БкЗ-Р заключается в нахождении системы устойчивых имплицативных и (или) функциональных связей (закономерностей) между характеристиками заказов и технологических маршрутов, посылок и следствий по принципу «от частного к общему» посредством обучения на соответствующих СПОЗ (Р) и ТЭД (Р) [4]. В этой же работе изложены и обоснованы алгоритмы обучения, а также дедуктивного вывода альтернатив решений, опираясь на синтезированную БкЗ – Р = КСВР. Отличительная особенность имплицативной и функциональной БкЗ-Р состоит в удобстве ее использования как для представления и хранения знаний, так и в роли древовидного механизма причинно-следственного вывода решений. Благодаря этой особенности, БкЗ-Р эффективно используется на последующих этапах формирования области допустимых решений, определения предпочтений технолога и формирования окончательного решения МЗН-Р на основе применения ИСППР «Расцеховка».

2.2. Анализ исходных характеристик субъектов (заказов) и объектов (технологических маршрутов)

В качестве исходных характеристик субъектов C_i и объектов $O_j, (i, j = \overline{1, n})$ используем порядковые номера их оценок O_i^v и C_i^u на шкалах μ -го и ν -го критериев $(\mu, \nu = \overline{1, N})$. Анализ C_i^u и O_i^v выполняется с целью выявления возможности идеального решения МЗН-Р, при котором взаимные требования пар $(C_i - O_j)$ как идеальных назначений полностью удовлетворены. Для этого руководствуемся

формулой (1) вычисления k -го компонента R_{ij}^k вектора \vec{R}_{ij}^k критериального соответствия по k -му критерию и агрегированным критерием свертки (формула (2)) согласно методике академика О.И. Ларищева [3].

Пусть вектор \vec{C}_{ij} определяет степень неудовлетворения i -м субъектом требованиям от j -го объекта. Определим k -й компонент C_{ij}^k вектора \vec{C}_{ij} соответствия характеристик i -го заказа требуемым характеристикам j -го технологического маршрута по формуле:

$$C_{ij}^k = \begin{cases} 0, & \text{если } O_j^k \leq C_i^k, \\ r_k(O_j^k, C_i^k), & \text{если } O_j^k > C_i^k, \end{cases} \quad (3)$$

где $r_k(O_j^k, C_i^k)$ – количество оценок на шкале k -го критерия, на которое O_j^k превышает C_i^k , $k=1, 2, \dots, N$.

Пусть вектор \vec{O}_{ji} определяет степень неудовлетворения j -м объектом требованиям от i -го субъекта. Определим k -й компонент O_{ji}^k вектора \vec{O}_{ji} соответствия характеристик j -го технологического маршрута требуемым характеристикам i -го заказа по формуле:

$$O_{ji}^k = \begin{cases} 0, & \text{если } C_i^k \geq O_j^k, \\ -r_k(O_j^k, C_i^k), & \text{если } C_i^k < O_j^k, k = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (4)$$

Очевидно, что согласно формуле (3) и (4) после удовлетворения уровню требований оценки субъекта являются «одинаково хорошими» для объекта и наоборот.

В соответствии с оценками (3) для j -го объекта можно найти векторы соответствия $\vec{C}_{1j}, \vec{C}_{2j}, \dots, \vec{C}_{nj}$, а в соответствии с оценками (4) для i -го субъекта – векторы соответствия $\vec{O}_{1i}, \vec{O}_{2i}, \dots, \vec{O}_{ni}$ как точки N -мерного критериального пространства. Введем бинарное отношение доминирования X_1 : вектор $\vec{C}_{\alpha j}$ доминирует над вектором $\vec{C}_{\beta j}$, ($\alpha \neq \beta$), если оценки

$$C_{\alpha j}^k \geq C_{\beta j}^k, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

причем хотя бы для одного компонента справедливо строгое неравенство.

Аналогично вводится бинарное отношение доминирования X_2 между векторами $\vec{O}_{1i}, \dots, \vec{O}_{ni}$: вектор $\vec{O}_{\alpha i}$ доминирует над вектором $\vec{O}_{\beta i}$, ($\alpha \neq \beta$), если оценки

$$O_{\alpha i}^k \geq O_{\beta i}^k, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

при выполнении строгого неравенства хотя бы для одного компонента.

Вектор $\vec{C}_{\alpha j}$ эквивалентен вектору $\vec{C}_{\beta j}$, если оценки

$$C_{\alpha j}^k = C_{\beta j}^k, \quad k = 1, 2, \dots, N; \quad (7)$$

и вектор $\vec{O}_{\alpha i}$ эквивалентен вектору $\vec{O}_{\beta i}$, если оценки

$$O_{\alpha i}^k = O_{\beta i}^k, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

Векторы $\vec{C}_{\alpha j}$ и $\vec{C}_{\beta j}$ несравнимы, если не выполняется условие (5) или (7).

Векторы $\vec{O}_{\alpha i}$ и $\vec{O}_{\beta i}$ несравнимы, если не выполняется условие (6) или (8).

В соответствии с бинарным отношением X_1 на точках $\vec{C}_{1j}, \dots, \vec{C}_{nj}$ строится граф сходства субъектов (заказов) T_j , в котором дугой, направленной от $\vec{C}_{\alpha j}$ к $\vec{C}_{\beta j}$, отражается отношение доминирования (5), дугой с двумя противоположными стрелками – отношение эквивалентности (7), а отсутствием дуги – отношение несравнимости заказов.

В соответствии с бинарным отношением X_2 на точках $\vec{O}_{1i}, \dots, \vec{O}_{ni}$ строится граф сходства объектов (технологических маршрутов) V_i , в котором дугой от $\vec{O}_{\alpha i}$ к $\vec{O}_{\beta i}$ отражается отношение доминирования (6), дугой с двумя противоположными стрелками – отношение эквивалентности (8), а отсутствием дуги – отношение несравнимости технологических маршрутов. Графы сходства T_j и V_i ($i, j=1, 2, \dots, n$) содержат полезную информацию о сходстве субъектов и объектов, а также о множестве Парето, которое выявляется в результате анализа этих графов. Очевидно, что вершины в графах T_j и V_i , в которые не входят однонаправленные дуги, то есть доминируют над некоторыми вершинами, либо несравнимы с ними, т.е. образуют множество Парето в пространстве критериев. Такие вершины (векторы), выделяемые в графе сходства впервые, назовем первым ядром Y_1 . Среди векторов оставшихся после удаления Y_1 , можно выделить второе ядро Y_2 недоминируемых векторов и так далее до исчерпания вершин графа. При этом на этапе анализа исходных характеристик эквивалентом понятия «критериальное соответствие (КС) по k -му критерию» служит ком-

понтент R_{ij}^k вектора \bar{R}_{ij}^k , вычисляемый по формуле (1). Величина g_k как степень превышения требований над возможностями эквивалентна понятию качества КС. Естественно, КС является идеальным и обладает наивысшим качеством, если требования по k -му критерию удовлетворены. Таким образом, в клетку (i, j) ($n \times n$) – матрицы сходства МС записывают вектор соответствия \bar{R}_{ij}^k между субъектом C_i и объектом O_j .

Для поиска идеального решения МЗН-Р используется свертка вектора \bar{R}_{ij}^k и формальный индекс J_{ij} качества назначения, определяемого формулой (2), что позволяет по матрице сходства (МС) построить матрицу формальных индексов (МФИ) или короче – матриц свертки многокритериального соответствия по Ларичеву [3].

Определим качество назначения $\{C_i - O_j\}$ как функцию вектора \bar{R}_{ij}^k , т. е. $F(\{C_i - O_j\})$, обладающую следующими свойствами:

- 1) $\max F(\{C_i - O_j\})$ достигается для идеального назначения при значении индекса $J_{ij} = 0$;
- 2) $\min F(\{C_i - O_j\})$ соответствует максимальному значению J_{ij} ;
- 3) Качество назначения $\{C_i - O_j\}$ увеличивается при уменьшении индекса J_{ij} .

Теперь решение нашей МЗН-Р можно свести к решению однокритериальной задачи о назначениях (ОЗН) на множестве элементов МФИ. Действительно, ввиду монотонного изменения качества назначений $F(\{C_i - O_j\})$ с изменением значений свертки J_{ij} , решение ОЗН, доставляющее минимум суммы значений агрегированных критериев (2), максимизирует суммарное качество назначений и является идеальным решением МЗН-Р при $\min J_{ij} = 0$. Заметим, что формальной оценкой качества решений МЗН-Р может служить величина достигнутого минимума $J_{ij} \neq 0$, отражающая суммарное качество назначений, формирующих окончательное решение. Если на данном этапе найдено идеальное решение МЗН-Р, то цель достигнута. В противном случае поиски решения продолжают итеративно путем выполнения последующих этапов. При этом ЛПР в диалоге с ИСППР «Расцеховка» выясняет характер и тип решаемой задачи, а так же стратегию дальнейшего поиска решения задачи.

2.3. Формирование области допустимых решений МЗН-Р

Цель данного этапа состоит в выявлении типичных вариантов назначений (решений), возможных для формируемой области допустимых решений (ОДР) с помощью ИСППР «Расцеховка». На основе использования матрицы свертки, т.е. МФИ, ИСППР «Расцеховка» в диалоговом режиме предлагает ЛПР включить в ОДР определенные пары $\{C_i - O_j\}$ и ввести запрет на образование некоторых пар либо ограничить допустимый уровень расхождения критериальных оценок и значений свертки J_{ij} . Кроме этого ИСППР «Расцеховка» посредством КСВР $\in Bk3 - P$ обеспечивает автоматический дедуктивный вывод принимаемых решений по расцеховке при идентификации технологических ситуаций «субъект-объект» для формирования назначений из ОДР. Тем самым создается возможность изменения ОДР с минимизацией суммы J_{ij} для отыскания решения с максимальным количеством наилучших назначений, т.е. имеющих минимальную сумму рангов лучших S назначений.

Предполагая использование матрицы свертки, введем понятие качества решения МЗН-Р как функции совокупности назначений $W(MS)$, обладающей следующими свойствами:

- 1) $\max W(MS)$ достигается для идеального решения МЗН-Р, которое формируется из идеальных назначений;
- 2) значение $W(MS)$, т.е. качество решения МЗН-Р, увеличивается при возрастании качества назначений $\min F(\{C_i - O_j\})$, которые включаются в это решение.

Введенная функция $W(MS)$ не противоречит утверждению о том, что используемое решение ОЗН соответствует эффективному решению МЗН-Р наиболее высокого качества, которое может быть достигнуто в заданной ОДР. Остается решить вопрос о выделении решения с максимально возможным количеством наилучших назначений среди решений равного качества, воспользовавшись известными алгоритмами в [2, 3, 5]. Заметим, что стратегию формирования ОДР технолог-ЛПР выбирает сам, используя диалог ИСППР «Расцеховка», которая предоставляет ему практически неограниченные возможности в формировании ОДР. При удовлетворении ЛПР полученным на этом этапе решением МЗН-Р цель можно считать достигнутой. Однако, часто ЛПР стремится выразить свои предпочтения относительно качества назначений и требуется выполнение следующего этапа.

2.4. Определение предпочтений технолога

Главная цель этого этапа заключается в установлении предпочтений ЛПР относительно качества назначений из ОДР с последующим упорядочением их по ценности для ЛПР.

Введем понятие относительного критериального соответствия (ОКС) характеристики субъектов (объектов) по отношению к данному объекту (субъекту) по k -му критерию, полученное после ранжирования соответствия характеристик выбранного субъекта (объекта), по отношению ко всем объектам (субъектам). Субъект (объект), по отношению к которому определяются ОКС, называют опорным. Отметим, что предпочтения технолога служат основой для ранжирования назначений, т.е. соответствия возможностей различных субъектов (объектов) требованиям объектов (субъектов). Определим понятие ОКС как пару, объединяющую уровень T_{ip}^k r -го требования опорного элемента назначения $\{C_i - O_j\}$, например, i -го субъекта по k -му критерию, и j -е значение R_{ij}^k соответствующего компонента вектора соответствия \bar{R}_{ij}^k . Тогда, по определению, ОКС назначения $\{C_i - O_j\}$ по k -му критерию, ($k = \overline{1, N}$) запишется как

$$\text{ОКС}_{ij}^k = \{T_{ip}^k, R_{ij}^k\}. \quad (9)$$

В результате попарного ранжирования назначений можно получить абсолютное критериальное соответствие (АКС) между любой парой «объект-субъект» по k -му критерию. Формулировка понятия АКС не связана с конкретным назначением и представляет собой пару АКС_{pr}^k :

$$\text{АКС}_{pr}^k = \{T_p^k, r\} = \{T_p^k, T_p^k - V_q^k\}, \quad (10)$$

где T_p^k – r -е требование по k -му критерию; r – разность между номерами p и q оценок T_p^k и V_q^k на шкалах требований и возможностей k -го критерия, соответственно.

С точки зрения технолога (как ЛПР) важность критериев оценки субъектов (заказов) и объектов (технологических маршрутов) может быть различна, а ценности критериальных соответствий (КС) могут немонотонно зависеть от требований. В связи с этим введем понятие ценности КС для ЛПР как функции $f(\text{КС})$ от КС, обладающей следующими свойствами:

1) значение $f(\text{КС})$ при заданном уровне требований возрастает с уменьшением значения R_{ij}^k и становится максимальным при $R_{ij}^k = 0$;

2) при изменении требований и заданной величине разности $(T_p^k - V_q^k)$ или при заданном значении R_{ij}^k значения $f(\text{КС})$ могут изменяться сложным образом согласно предпочтениям ЛПР.

В соответствии с методикой вербального анализа решений [7] в качестве основной процедуры выявления предпочтений ЛПР выберем алгоритм попарного сравнения отдельных КС, т.е. ОКС_{ij}^k (9) или АКС_{pr}^k (10). В результате сравнений накапливаются дополнительные знания, используемые в БкЗ для проверки надежности ранжирования КС по их ценности для технолога. При сравнении ОКС делается предположение, что прочие компоненты вектора соответствия \bar{R}_{ij}^k принадлежит опорному элементу, а при сравнении АКС, – что прочие компоненты имеют нулевые значения. В результате полученных от БкЗ (ЛПР) предпочтений для любых двух КС устанавливается одно из отношений: эквивалентности или превосходства по ценности одного из КС. При этом ОКС и АКС сравниваются как непосредственно попарно, так и косвенно через результаты сравнения других КС. Это позволяет обнаружить противоречия в ответах ЛПР. Совокупность непротиворечивых сравнений позволяет выполнить ранжировку ценностей КС в результате завершения основной процедуры выявления предпочтений ЛПР. В дальнейшем значение $f(\text{КС})$ будем считать рангом ценности КС. Критериальному соответствию, обладающему максимальной ценностью, соответствует высший ранг.

Введем понятие ценности значения $\{C_i - O_j\}$ для технолога как функции $\Phi(\{C_i - O_j\})$ совокупности КС, формирующих назначение, которая обладает следующими свойствами:

1) $\max \Phi(\{C_i - O_j\})$ достигается для идеального назначения $\{C_i - O_j\}$;

2) $\min \Phi(\{C_i - O_j\})$ достигается в случае, когда все КС, формирующие назначение $\{C_i - O_j\}$, имеют минимально возможные ценности КС как низшие ранги $f(\text{КС})$ по соответствующим критериям;

3) ценность назначения увеличивается при возрастании ценностей КС, формирующих это назначение.

Исходной информацией для процедуры ранжирования назначений по ценности служит таблица векторов соответствия, но теперь компонентами этих векторов являются значения ценности КС по каждому критерию, упорядоченные в соответствии с предпочтениями ЛПР.

Описанная выше основная процедура выявления предпочтений достаточна при сравнении ОКС, но при сравнении АКС возникает дополнительная проблема установления независимости предпочтений ЛПР от остальных оценок сравниваемых альтернатив [8]. Именно зависимость предпочтений способствует повышению частоты ошибок ЛПР при выборе предпочтений, что приводит к нетранзитивности результатов сравнения альтернатив. Для проверки независимости предпочтений предлагается вспомогательная процедура. Обозначим символом « \Rightarrow » отношение «не менее предпочтительно чем», а символом « \gg » – отношение «более предпочтительно чем» и сформируем условие независимости при сравнении двух АКС по их ценности для ЛПР в следующем виде. Критериальные соответствия независимы, если результат сравнения ценностей векторов с двумя ненулевыми значениями компонент $f(АКС_1)$ и $f(АКС_2)$ не зависит от значений других компонент, т.е. если не найдется какого-либо третьего АКС с $f(АКС_3) > 0$, для которого

$$\begin{aligned} & \Phi(0, \dots, 0, f(АКС_1), \dots, 0) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \Phi(0, \dots, 0, f(АКС_2), \dots, 0), \end{aligned} \quad (11)$$

но при этом

$$\begin{aligned} & \Phi(0, \dots, f(АКС_3), \dots, 0, f(АКС_2), \dots, 0) \gg \\ & \gg \Phi(0, \dots, f(АКС_3), \dots, 0, f(АКС_1), \dots, 0). \end{aligned}$$

При независимости АКС результат сравнения ценностей векторов соответствия не зависит от значений одинаковых ненулевых компонентов этих векторов [8]. Для проверки условия (11) также используется БкЗ-Р в диалоге ЛПР с ИСППР. Для сокращения количества обращений к БкЗ-Р используется правило как следствие условия независимости (11):

ЕСЛИ

$$\begin{aligned} & \Phi(0, f(АКС_1), 0, 0, \dots, 0) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \Phi(0, 0, f(АКС_2), 0, \dots, 0) \end{aligned}$$

И

$$\begin{aligned} & \Phi(0, 0, 0, f(АКС_3), 0, \dots, 0) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \Phi(0, 0, 0, 0, f(АКС_4), \dots, 0) \end{aligned}$$

ТО

$$\begin{aligned} & \Phi(0, f(АКС_1), 0, f(АКС_3), 0, \dots, 0) \Rightarrow \\ & \Rightarrow \Phi(0, 0, f(АКС_2), 0, f(АКС_4), \dots, 0). \end{aligned}$$

В случае выявления зависимости критериальных соответствий необходимо изменить формулировки критериев. В зависимости от типа (А, В, С, D) задачи может быть построена упорядоченная шкала всех оценок по данному критерию либо упорядочены АКС только в данной задаче. В общем случае для шкалы критерия с m оценками существует $m(m-1)/2$ возможностей, которые необходимо проанализировать.

Рассуждения вида (11) отвечают графам частичного упорядочения векторов соответствия, которые позволяют ранжировать их по ценности для ЛПР, прибегая к выделению упомянутых ранее ядер в графах. Вектору, входящему в i -е ядро присваивается i -й ранг, если над ним доминирует вектор из $(i-1)$ -го ядра, а он сам доминирует над вектором из $(i+1)$ -го ядра. Если вектор входит в i -е ядро и доминирует над вектором из $(i+p)$ -го ядра, то его ранг считается «размытым» и находится в пределах от $(i+1)$ до $(i+p-1)$. Для предложенного способа ранжирования назначения более высокого качества (с меньшим номером) не могут иметь более низкий ранг (с большим номером) чем худшие по качеству назначения, что используется при поиске решения МЗН-Р. Завершается 4-й этап построением матрицы качества (ценности) назначений (МН), элементы которой представляют оценки единой порядковой шкалы, эквивалентные рангам назначений.

2.5. Формирование окончательного решения МЗН-Р

Исходной информацией для алгоритмов формирования окончательного решения МЗН-Р служит матрица ценности назначений МН, т.е. матрица их рангов. Основываясь на понятии ценности решения МЗН-Р как функции $W(MS)$ совокупности назначений предлагаем ряд стратегий решения, выбор которых зависит от типа (А, В, С, D) задач. ИСППР «Расцеховка» лишь рекомендует возможные алгоритмические схемы решения тех или иных типов задач, но выбор процедуры окончательного решения остается за ЛПР, который волен поступать согласно своим реальным возможностям. Например, для повторяющихся задач рекомендуем процедуру построения единой шкалы ценностей АКС. Но если эта задача повторяется редко, относится к типу В, для которого характерно большое критериальное пространство и малая размерность множества объектов (субъектов), то оказывается более полезной процедура анализа ОКС. Любой из выбранных путей приводит к цели, но с различными затратами

времени и вычислений. Исходя из этих соображений, предлагаются следующие стратегии формирования окончательного решения МЗН-Р.

2.5.1. Стратегия решения МЗН-Р типа А

Задачи типа А отличаются малым числом критериев, объектов и субъектов, что приводит к простой стратегии их решения, состоящей из двух алгоритмических этапов.

1. Анализ исходных данных для МЗН-Р, (см. методику, изложенную в п. п. 2.2).

2. Определение предпочтений технолога (ЛПП), (см. методику в п. п. 2.4, основанную на использовании основной и вспомогательной процедур).

2.5.2. Стратегия решения МЗН-Р типа В

Для задач типа В характерно большое число критериев и сравнительно небольшое количество объектов и субъектов, что обуславливает следующую стратегию их решения.

1. Анализ исходных данных (см. п. п. 2.2).

2. Формирование ОДР МЗН-Р, (см. п. п. 2.3).

3. Построение системы предпочтений технолога посредством использования основной и вспомогательной процедур, (см. п. п. 2.4). Рекомендуется упорядочивать АКС по ценности для ЛПП лишь для реально существующего пространства критериальных соответствий, что приводит к существенному уменьшению нагрузки на технолога, особенно при решении уникальных МЗН-Р.

4. Ранжирование векторов соответствия по ценности (см. методику в п. п. 2.4).

5. Построение ранговой матрицы МН для объектов и субъектов, элементы которой отражают ранги векторов соответствия, (см. п. п. 2.4).

6. Решение ОЗН на ранговой матрице МН с оптимизацией по общему критерию максимального числа наилучших назначений. Это решение сводится к определению минимальной суммы рангов назначений вошедших в окончательное решение МЗН-Р, и завершается поиском решения в ОДР, эффективного по предпочтению ЛПП.

2.5.3. Стратегия решения МЗН-Р типа С

При малом числе критериев, но большом количестве объектов (субъектов), что характерно для МЗН-Р типа С, предлагается следующая стратегия ее решения. Особенно для повторяющихся МЗН-Р стратегия решения аналогична стратегии решения задач типа В, но отличается лишь тем, что на этапе формирования структуры предпочтений технолога,

рекомендуется упорядочить АКС по ценности для всего критериального пространства. Сформированная однажды шкала ценностей АКС может в дальнейшем использоваться многократно с применением БкЗ-Р.

Для решения уникальных МЗН-Р типа С рекомендуется следующая стратегия.

1. Формальный анализ исходных данных (см. п. п. 2.2).

2. Определение структуры предпочтений технолога на основе двойного анализа матрицы сходства МС: сначала по строкам, затем по столбцам. Построчный анализ позволяет ранжировать предпочтения технолога относительно степени удовлетворенности субъекта характеристиками объектов, т.е. получить ранжировку для каждой строки первой матрицы $МС_{1i}$. Здесь $i=1, 2, 3, \dots$ выполняет роль счетчика итераций по выявлению идеальных назначений. Результаты этого анализа отражаются в первой ранговой матрице $МН_{1i}$. Аналогично выполняется постолбцовый анализ второй матрицы $МС_{2i}$ и формируется вторая ранговая матрица $МН_{2i}$ относительно степени удовлетворения объекта характеристиками субъектов.

3. Автоматическое формирование единой ранговой матрицы «объект-субъект» $МН_{oi}$, в каждую клетку которой помещается сумма рангов, расположенных в соответствующих клетках матриц $МН_{1i}$ и $МН_{2i}$. Далее, считаются важными лишь элементы матрицы $МН_{oi}$, составляющие первые ядра $Я_i$ из нулевых элементов. При этом выбрана самая простая операция суммирования, позволяющая выявить нулевые элементы матрицы $МН_{oi}$ ($i=1, 2, 3, \dots$).

4. Поиск решения однокритериальной задачи о назначениях (ОЗН) на матрице $МН_{oi}$ с оптимизацией по критерию максимального числа нулевых элементов, т.е. наилучших назначений.

5. Дополнительный анализ ЛПП вариантов назначений одинакового ранга с применением ИСППР «Расцеховка», которая предупреждает о последствиях принимаемых решений в соответствии с рекомендациями в п. п. 2.4.

6. Понижение размерности решаемой МЗН-Р путем удаления вершин ядра $Я_i$ (сделанных назначений) и редуцирование матриц $МН_{1i}$ и $МН_{2i}$ посредством перерасчета рангов в каждой из исходных матриц. Иными словами, присвоение в каждой отдельной строке нулевого значения оставшимся высшим рангам.

7. Циклическое повторение действий 4-6 до исчерпания исходной $(n \times n)$ -матрицы МС через итерации понижения размерности путем удаления ядер $Я_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots$) до полного решения МЗН-Р. При этом используется доказанная в [3] теорема о существовании наилучшего элемента ранговой мат-

рицы на каждом цикле итерирования, т.е. о сходимости процесса итераций при условии транзитивности упорядочения векторов соответствия.

2.5.4. Стратегия решения МЗН-Р типа D

Для задачи типа D характерно большое число критериев и большое количество субъектов (объектов), из-за чего МЗН-Р становится необозримой для технолога без использования ИСППР «Расцеховка». Рекомендуется на основе использования предложенной методики (см. п. 2) следующая стратегия решения МЗН Р типа D.

1. Формальный анализ исходных данных (см. п. п. 2.2).

2. Формирование области допустимых решений МЗН-Р на базе использования ИСППР «Расцеховка» с поиском удовлетворительного для технолога типа решения задач. Средства ускоренного поиска решений с помощью ИСППР на основе формального индекса соответствия R_{ij}^k (1) позволяют без особых усилий решить МЗН-Р, если эти средства работают при условии практической равноценности критериев и шкал.

При большом проценте идеальных назначений в задачах типа D рационально применить редуцирование исходной матрицы сходства МС посредством удаления из нее строк и столбцов с идеальными назначениями.

3. Выбор дальнейшей стратегии решения МЗН-Р в зависимости от размерности редуцированной матрицы МС, используя стратегии, предложенные для задач типов А, В, С в п. п. 2.5.1 – 2.5.3.

Предлагаемая стратегия не гарантирует достижения оптимального по ценности для ЛПР решения. Но окончательное решение МЗН-Р выбирается из ОДР, сформированной технологом на основе его предпочтений, и содержит максимально возможное для выбранной ОДР количество идеальных назначений. Следовательно, рекомендуемая стратегия обеспечивает приемлемое решение поставленной МЗН-Р типа D.

3. Общий итеративный алгоритм решения МЗН-Р

На основе разработанной в п. 2 общей методики синтезирован общий итеративный алгоритм решения МЗН-Р под названием AR, блок-схема которого приведена на рис. 1. Входную информацию AR составляют исходные данные в форме матриц (таблиц) оценок по N критериям на q порядковых шкалах для n заказов (субъектов) и p технологических маршрутов (объектов). Предполагается обязательное наличие действующей ИСППР «Расцеховка»

как прототипа интеллектуальной информационной технологии, обеспечивающей диалог с ЛПР (технологом) и генерацию альтернатив принимаемых решений.

Выходная информация AR представляет собой окончательное решение МЗН-Р в виде матрицы назначений MS, которая содержит максимально возможное число S лучших пар «субъект-объект» согласно критерия «свертки» Ларичева. Эти пары отвечают лучшим назначениям в смысле соответствия «заказ-расцеховка». Критерий «свертки» требует найти минимальную сумму рангов назначений как их формальных индексов многокритериальных соответствий [2] с учетом предпочтений технолога.

Итеративный характер и действия общего алгоритма AR базируются на 2-м – 5-м этапах общей методики решения МЗН-Р, изложенной в п. 2. Сущность AR заключается в поэтапном нахождении предпочтительного для ЛПР-технолога окончательного оптимального решения МЗН-Р относительно критерия «свертки», опираясь на ИСППР «Расцеховка».

В диалоге ЛПР с ИСППР выясняются основные характеристики решаемой МЗН-Р, касающиеся ее уникальности или повторяемости, размерности (т. е. тип А, В, С, D), а также стратегии поиска решения. Итеративные действия AR обусловлены неизбежностью уменьшения размерности n задачи и редуцированием исходных матриц: МКС (матрица критериального соответствия), МС (матрица сходства) и МФИС (матрица формальных индексов соответствия) за счет поэтапного удаления ядер из графа сходства по требованию $T_j, (j = \overline{1, n})$ и графа сходства $V_i, (i = \overline{1, n})$, (см. п. п. 2.2).

На рис. 1 представлена блок-схема общего итеративного алгоритма AR решения МЗН-Р, содержащая 27 основных блоков, которые обеспечивают реализацию описанных 2-5 этапов общей методики решения многокритериальной задачи «Расцеховка».

После ввода исходных данных (блок 1) алгоритм реализует 2-й, 3-й и 4-й этапы общей методики решения задачи (блоки 2, 3, 4), обеспечивая возможность формирования идеального решения МЗН-Р и выработки стратегии дальнейшего ее решения. Блоки 5, 6, 7 и 8 выполняют условные переходы к алгоритмическим действиям решения повторяющихся и уникальных МЗН-Р различных типов А, В, С, D с учетом предпочтения ЛПР и результатов его диалога с ИСППР «Расцеховка» (блок 9).

Решение МЗН-Р типа А обеспечивается действиями блоков 1, 2, 5, 9, 10, 26. К результату решения МЗН-Р типа В приводят алгоритмические действия

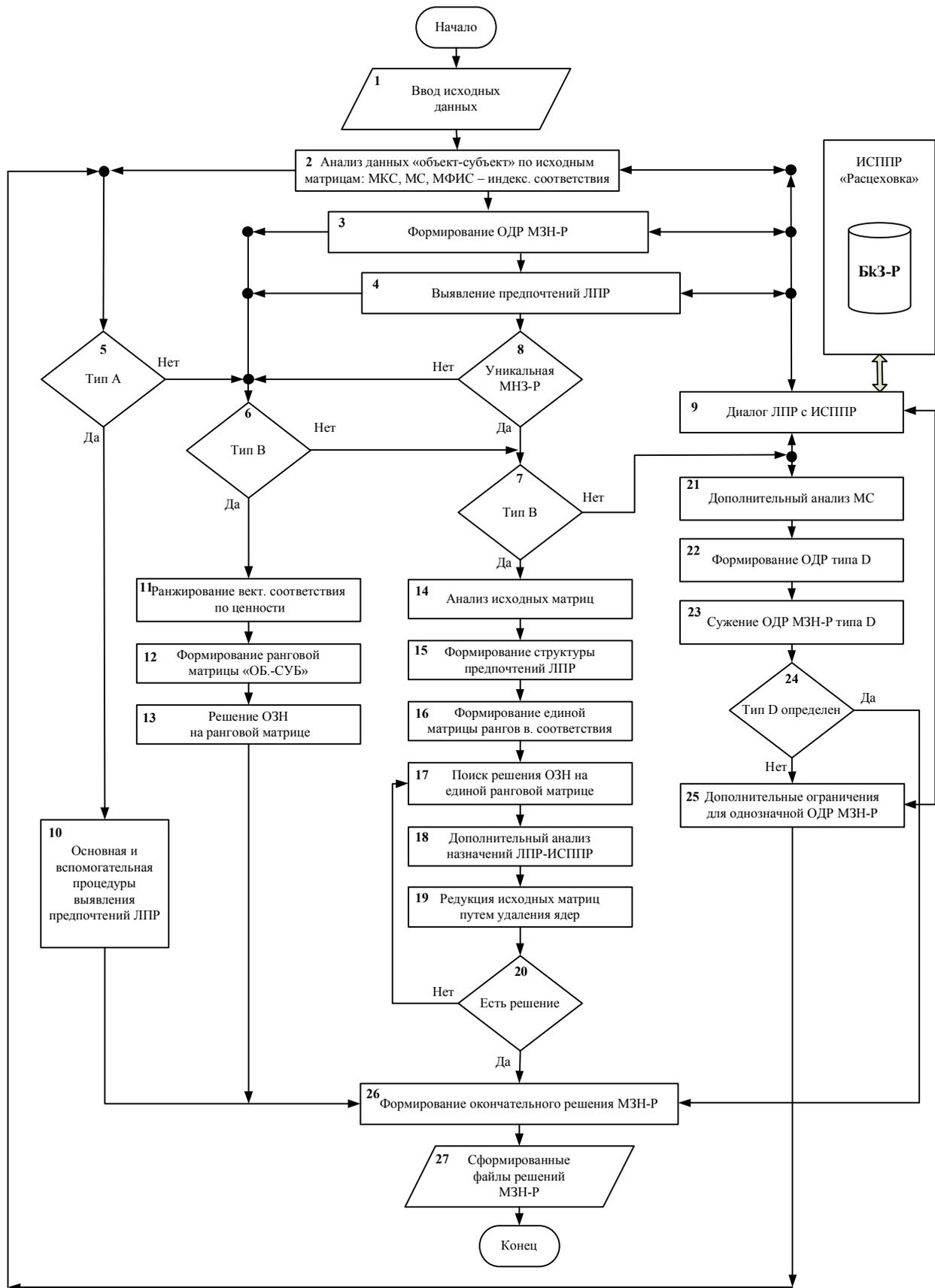


Рис. 1. Блок-схема общего итеративного алгоритма AR решения МЗН-Р

блоков 1-6, 8, 9, 11, 12, 13, 26 согласно стратегии в п. п. 2.5.2. Решение МЗН-Р типа С реализуется с помощью блоков 1-9, 14-20, 26 согласно стратегии описанной в п. п. 2.5.3. Наконец, решение МЗН-Р типа D обеспечивается действием блоков 1-9, 21-26 согласно стратегии описанной в п. п. 2.5.4. Задача типа D при многих критериях и большой размерности n становится малообозримой для ЛПР и требует дополнительного анализа данных с целью сужения ОДР, что реализуется блоками 21-23. При достаточно успешном сужении ОДР данного типа блок 24 определяет тип D, а блок 26 формирует матрицу назначений MS как окончательного решения МЗН-Р. В противном случае с помощью блока 25 и рекомендаций ИСППР «Расцеховка» в диалоге с ЛПР принимаются дополнительные ограничения для получения однозначной ОДР МЗН-Р определенного типа А, В, С. Поэтому дальнейший поиск решения МЗН-Р обеспечивается выбором путей через блоки 5, 6, 7.

Отметим, что предпочтения ЛПР и БкЗ-Р в используемой ИСППР «Расцеховка» служат основой для ранжирования критериального соответствия возможностей различных $(C_j - O_i)$ различным требованиям $(O_i - C_j)$ по ценности назначений для технолога. Ценность решения МЗН-Р для технолога – это функция $\Phi\{(C_j - O_i)\}$ совокупности назначений, формирующих искомое решение МЗН-Р.

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.

Литература

1. Вагнер Г. Основы исследования операций: в 3-х т. / Г. Вагнер. – Т. 1. – М.: Мир, 1973. – 335 с.
2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений: учебник, изд. третье, перераб. и доп. / О.И. Ларичев. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 392 с.
3. Кожукаров А.Н. Многокритериальная задача о назначениях / А.Н. Кожукаров, О.И. Ларичев // Автоматика и телемеханика. – 1977. – № 7. – С. 71-88.
4. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И.Б. Сироджа. – К.: Наук. думка, 2002. – 428 с.
5. Ларичев О.И. Человеко-машинные методы решения многокритериальной задачи о назначениях / О.И. Ларичев, М.Ю. Стернин // Автоматика и телемеханика. – 1998. – №7. – С. 71-88.
6. Сироджа И.Б. Автоматизация принятия решений при разработке межцеховых технологических маршрутов на приборостроительных предприятиях / И.Б. Сироджа, Г.А. Фролова // Бионика интеллекта. – 2006. – № 1. – С. 56-58.
7. Ларичев О.И. Качественные методы принятия решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М.: Наука, Физмат лит, 1996. – 2008 с.
8. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 480 с.

Поступила в редакцию 5.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. економіко-математического моделювання В.М. Вартанян, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ РОЗРОБЦІ
МІЖЦЕХОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАРШРУТІВ ЗАСОБАМИ ІНЖЕНЕРІЇ КВАНТІВ ЗНАНЬ.
ЧАСТИНА І. ПОСТАНОВКА І МЕТОД ВИРІШЕННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ
ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ «РОЗЦЕХОВКА»**

I.B. Sirodzha, G.O. Frolova

Сформульована та вирішена задача прийняття рішень при розробці міжцехових технологічних маршрутів («розцеховка») засобами інженерії квантів знань як багатокритеріальна задача про призначення. Задача полягає в побудові вирішального правила розподілів n можливостей (об'єктів) серед n вимог (суб'єктів), якщо об'єкти та суб'єкти мають оцінки по N якісним критеріям з порядковим шкалами, а відповідальним за рішення є технолог. Узагальненим критерієм рішення задачі є максимально можлива кількість найкращих призначень, тобто найбільш близьким за своїми векторними характеристиками пар «можливість - вимога» з урахуванням переваг технолога і заздалегідь створеної бази виробничо-технологічних знань.

Ключові слова: багатокритеріальні 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 I. THE SOLUTION AND METHOD FOR A MULTICRITERION
ASSIGNMENT PROBLEM «RASTSEHOVKA»**

I.B. Sirodzha, G.O. Frolova

The problem of decision-making at the development of interplant technological routes («rastsehovka») on the basis of knowledge quanta engineering as a multicriterion assignment problem is formulated and solved. The problem is that to construct a decision rule distributions of n resource (objects) among the n demands (subjects), if the objects and subjects are the estimates for N qualitative criteria with ordinal scale, and is responsible for decision technologies. The generalized criterion for the solution of the problem is the maximum possible number of the best appointments, that is most similar in characteristics to the vector of pairs «resource - demands» in the light of pre-homage technologist, pre-established base of production - technological knowledge.

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 університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

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