

УДК 519.816

**А.В. Вожаков<sup>1</sup>, М.Б. Гитман<sup>2</sup>, В.Ю. Столбов<sup>2</sup>, А.С. Елисеев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ОАО «Мотовилихинские заводы», Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

<sup>3</sup>ЗАО «ИВС-сети», Пермь, Россия

## **АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В РАМКАХ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Анализируются две модели принятия коллективного решения путем сравнения альтернатив и выбора наиболее предпочтительной группой экспертов. В качестве организационной формы работы экспертов рассматривается комитет. Предлагается алгоритм принятия коллективного решения в рамках ситуационного центра предприятия. Приводится демонстрационный пример.

**Ключевые слова:** модели принятия коллективного решения, множество альтернатив, предпочтения экспертов, алгоритм выбора, ситуационный центр.

**A.V. Vozhakov<sup>1</sup>, M.B. Gitman<sup>2</sup>, V.Iu. Stolbov<sup>2</sup>, A.S. Eliseev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PSC "Motovilikhinskiye zavody", Perm, Russian Federation

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

<sup>3</sup>CJSC "IVS-seti", Perm, Russian Federation

## **COLLECTIVE DECISION MAKING ALGORITHM IN SITUATION CENTER OF INDUSTRIAL COMPANY**

Two models of adoption of the collective decision by comparison of alternatives and a choice by the most preferable group of experts are considered. As an organizational form of work of experts the committee is considered. The algorithm of adoption of the collective decision within the situational center of the enterprise is offered. The demonstration example is given.

**Keywords:** models of adoption of the collective decision set of alternatives, preferences of experts, algorithm of a choice, situational center.

### **Введение**

Управление производственными системами связано со значительными сложностями, вызванными неполнотой информации, конфликтами интересов и целей различных подразделений, быстрыми и многочисленными изменениями в окружающей среде промышленно-

го предприятия. Кроме того, резко возрастают требования к гибкости производства и оперативности принятия управленческих решений, что, в свою очередь, обуславливает необходимость интеллектуализации и информатизации процессов управления. Для преодоления этих сложностей должны быть разработаны соответствующие эффективные механизмы и инструменты поддержки принятия решений на всех уровнях иерархии управления предприятием.

Качество принимаемых менеджерами решений в значительной степени определяет эффективность функционирования любой организации, в том числе производственной системы. Повысить качество управленческих решений позволяет механизм коллективного принятия решений [1], который является непосредственной реализацией такого принципа TQM, как вовлечение сотрудников в управление предприятием с целью раскрытия и использования их творческого потенциала [2]. Реализация этого механизма требует разработки соответствующих инструментов, одним из которых может быть ситуационный центр промышленного предприятия [3].

### **1. Постановка ситуационной задачи**

Рассматривается задача выбора наилучшего решения из заданного множества альтернатив, возникающая при некоторой сложившейся ситуации на предприятии и требующая быстрого решения с учетом системного анализа ситуации и возможных последствий принятия управленческого решения. Решение принимается в рамках небольшой группы экспертов, которые и представляют собой коллективное лицо, принимающее решение (ЛПР).

Требуется предложить наилучшую организацию работы ЛПР и алгоритм принятия коллективного решения, позволяющий учитывать различные предпочтения и квалификацию экспертов, а также неоднозначность выбора при наличии нескольких критериев качества получаемого решения.

При решении данной задачи выдвигаются следующие гипотезы:

– ЛПР представляет собой двухуровневую структуру, состоящую из рабочей группы экспертов (ГЛПР) и ответственного лица (ОЛПР), принимающего или не принимающего окончательное решение;

– ГЛПР представляет собой совокупность лиц, представляющих соответствующую структуру (например, для предприятия – это отдел

снабжения, производственный отдел, отдел сбыта и т.п.), важность мнения которых может быть как равнозначной, так и различной по каждой ситуационной задаче и каждому критерию качества принимаемого решения;

– частные критерии качества также могут иметь различную важность для принятия коллективного решения.

Для организации процесса принятия решений можно сформировать одну из трех организационных структур: комитет, иерархию или полиархию [1]. В комитете рассматриваемый проект отдается на ознакомление всем менеджерам. По результатам ознакомления проводится голосование, и проект принимается, если за него проголосовало больше определенной доли менеджеров. С нашей точки зрения, такая организация оправдана, если квалификация всего менеджерского звена приблизительно одинакова. При иерархии менеджеры выстроены в цепочку и знакомятся с проектом последовательно. Проект окончательно отклоняется, если его отклоняет хотя бы один менеджер в заданной цепочке иерархии, и направляется на рассмотрение к следующему менеджеру в случае его рассмотрения предыдущим. Считаем, что такая организация принятия решений может быть рекомендована, если квалификация всех менеджеров, принимающих решения очень высока, так как отрицательное мнение любого из них приводит к отклонению всего рассматриваемого проекта. В полиархии проект направляется одному из менеджеров с равной вероятностью и принимается окончательно, если менеджер его принимает, и отклоняется в противном случае. По существу, речь идет о том, что случайно выбранный менеджер является лицом, принимающим решение от всей группы менеджеров. Очевидно, что недостатком этого подхода является зависимость окончательного решения от случайного выбора лица, принимающего решение, независимо от квалификации последнего. Отметим, что рассмотренные организационные формы можно комбинировать, строя из них более сложную организационную структуру принятия решений. Например, можно рассматривать иерархию, каждый элемент которой представляет собой комитет. Также можно рассматривать иерархию из полиархий или полиархию из иерархий.

С нашей точки зрения, для рассматриваемой задачи принятия коллективных решений в рамках ситуационного центра промышленного предприятия [3] удобно использовать комитет. Это связано с тем,

что другие формы организации принятия коллективного решения требуют больших затрат времени на согласование компромиссного решения, а в рамках текущего производства это не всегда оправданно.

## 2. Математическая постановка задачи

Пусть  $X$  – конечное множество альтернатив  $x_j \in X$ ,  $j=1, \dots, n$ .

Под альтернативой будем понимать допустимый вариант решения ситуационной задачи с набором числовых значений частных критериев качества данного решения.

Считается, что ГЛПР состоит из  $m$  экспертов и известны предпочтения  $\succ^i$ ,  $i=1, \dots, m$ , каждого эксперта на множестве альтернатив  $X$ . Под предпочтением  $i$ -го эксперта будем понимать набор данных о ранжировании всех рассматриваемых альтернатив.

Под коллективным решением понимается некое групповое предпочтение  $\succ$  на множестве  $X$ , полученное на основе обработки частных предпочтений всех участников ГЛПР. При этом формой организации принятия решений ГЛПР считается комитет.

Проанализируем основные модели принятия коллективных решений в рамках комитета.

## 3. Модели принятия коллективных решений

Рассмотрим некоторые модели, применяемые для принятия коллективных решений в промышленности.

1. **Модель Кондорсе.** Одной из простейших и наиболее часто встречающихся на практике является модель *Кондорсе* [4]. Сущность данной модели состоит в следующем.

На основании полученных от экспертов ранжировок для каждой пары альтернатив  $x_j, x_k$  подсчитывается число экспертов  $l(x_j, x_k)$ , считающих альтернативу  $x_j$  более предпочтительной, чем  $x_k$ . Если  $l(x_j, x_k) > l(x_k, x_j)$ , то альтернатива  $x_j$  признается предпочтительнее  $x_k$ . Наилучшей альтернативой объявляется альтернатива  $x_j$ , если выполняется условие

$$l(x_j, x_k) \geq l(x_k, x_j) \text{ для всех } j, k = 1, \dots, n; \quad j \neq k. \quad (1)$$

Основным недостатком данной модели является то, что она не всегда обеспечивает достаточность при определении наилучшей альтернативы с помощью непосредственного подсчета голосов экспертов по правилу большинства (нет единственности решения). В этом случае необходимо использовать более сложные модели.

**2. Модель Борда.** В последнее время широкое распространение получила модель Борда [4]. Согласно данной модели результаты голосования экспертов выражаются в виде числа баллов, набранных каждой альтернативой. Для этого вводится функция Борда  $b(x_j)$  следующим образом:

$$b(x_j) = \sum_{k=1}^n [l(x_j, x_k) - l(x_k, x_j)], \quad (2)$$

где  $l(x_j, x_k)$  – число экспертов, для которых  $x_j$  предпочтительней  $x_k$ .

Иными словами, за первое место при попарном сравнении альтернатив присуждается  $n$  баллов, за второе –  $n - 1$  баллов и т.д. После этого подсчитывается сумма баллов для каждой альтернативы. Лучшей считается та альтернатива, которая набирает большую сумму баллов.

Преимуществом данной модели является то, что всегда существует единственная наилучшая альтернатива. При этом, если решение по модели Кондорсе существует, то оно совпадает с решением по модели Борда.

Все описанные выше модели не учитывают многокритериальность выбора при сравнении альтернатив. Другими словами, не учитываются предпочтения экспертов в рамках каждой альтернативы, определяемой набором частных критериев оптимальности. Кроме того, не учитывается *важность (квалификация)* экспертов при многокритериальной оценке каждой альтернативы.

Можно избежать этих недостатков с помощью построения *многокритериальной* модели выбора с учетом задания нечетких предпочтений [5].

Перейдем к описанию предлагаемого алгоритма принятия коллективного решения. Подобный алгоритм выбора лучшего проекта информационной системы рассмотрен в работе [4].

#### **4. Алгоритм принятия коллективных решений в рамках ситуационного центра предприятия**

Рассмотрим общий алгоритм оценки и выбора лучшего варианта решения ситуационной задачи на основе моделей принятия коллективных решений, в котором отражены основные этапы работы ГЛПР и ОЛПР в рамках ситуационного центра. Алгоритм отражает только общую схему принятия решения, поэтому регламент действия субъектов не прописывается.

Алгоритм получения, анализа и выбора лучшего решения следующий:

1. Постановка ситуационной задачи, в рамках которой формулируется возникшая проблема и определяются заинтересованные в ее решении стороны, на основе которых формируется ГЛПР и назначается ОЛПР.

2. Участниками ГЛПР под руководством ОЛПР ставится задача оценки и выбора лучшего варианта решения ситуационной задачи. При этом разрабатывается набор частных критериев качества решения задачи и определяется шкала их оценивания, а также устанавливаются все имеющиеся ограничения задачи (по ресурсам, времени и т.п.).

3. С помощью специально разработанных математических моделей ИТ-службой в рамках ситуационного центра предприятия производятся необходимые расчеты и формируется исходное множество альтернатив – допустимых недоминирующихся вариантов решения поставленной ситуационной задачи (Парето-решений) с набором полученных значений частных критериев качества для каждой альтернативы.

4. Проводятся анализ и проверка полученного множества альтернатив на допустимость *реализации* (путем привлечения дополнительных экспертов из различных подразделений предприятия) и производится «отбраковка» неприемлемых альтернатив или их отправка на доработку в ИТ-службу.

5. Участниками ГЛПР осуществляется сравнение оставшихся альтернатив и выбор наилучшей с помощью различных *моделей принятия коллективных решений*.

6. Если решения получены, то они сообщаются ОЛПР, а если нет, то производится корректировка одного или нескольких предыдущих этапов.

7. ОЛПР рассматривает полученные решения, и если они его не удовлетворяют, то производится корректировка предыдущих этапов (чаще всего корректируются пп. 1, 2 и 4).

8. Подготовка окончательной информации, содержащей выбранные альтернативы с указанием их основных преимуществ и результатов сравнительного анализа.

9. На основе полученной информации ОЛПР осуществляет окончательный выбор лучшего решения ситуационной задачи.

IDEF0-схема алгоритма принятия коллективных решений в рамках ситуационного центра предприятия представлена на рисунке.

Предлагаемый алгоритм может быть усовершенствован путем разработки более точных моделей поиска допустимых Парето-решений ситуационной задачи (п. 3 алгоритма) и/или уточнения *моделей принятия коллективных решений* (п. 5 алгоритма).

### 5. Демонстрационный пример

Рассмотрим пример применения данного алгоритма при выборе наилучшего плана производства.

Пусть задано три допустимых варианта операционного плана производства (три альтернативы), эффективность каждого из которых может характеризоваться различными показателями (комфортность производства, риск срыва плана производства и т.п.) [5]. ГЛПР состоит из 10 экспертов, которые оценивают данные варианты путем их сравнения.

Количество вариантов сравнения в данном случае определяется по формуле  $n!$ . При  $n = 3$  количество вариантов сравнения равно 6. Результаты оценки экспертов приведены в таблице.

Оценка экспертов

Вариант сравнения	Число экспертов, проголосовавших за данный вариант	Предпочтения экспертов
1	4	$x_1 \succ x_2 \succ x_3$
2	2	$x_1 \succ x_3 \succ x_2$
3	2	$x_2 \succ x_1 \succ x_3$
4	–	$x_2 \succ x_3 \succ x_1$
5	1	$x_3 \succ x_1 \succ x_2$
6	1	$x_3 \succ x_2 \succ x_1$

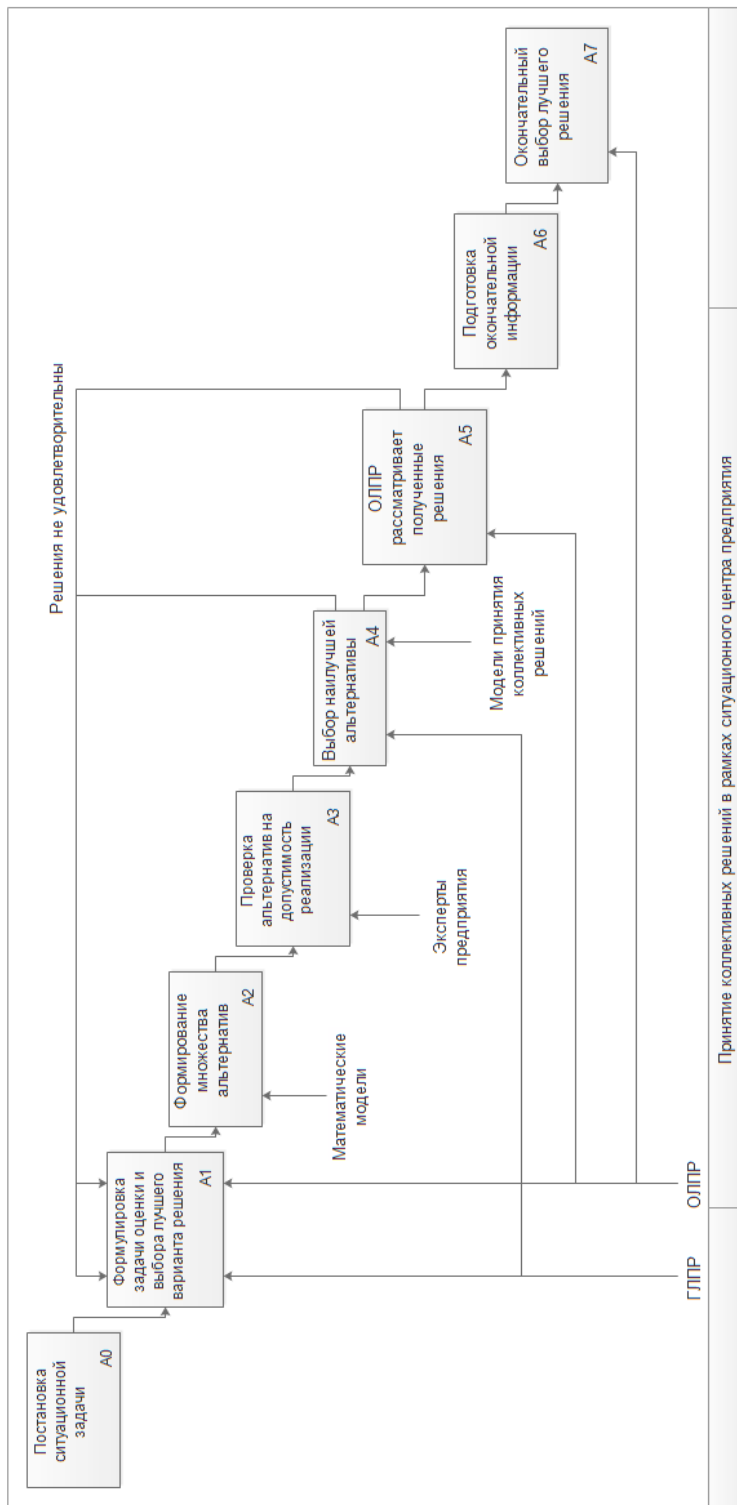


Рис. IDEFO-схема алгоритма принятия коллективных решений



Первоначально произведем выбор наилучшей альтернативы с помощью модели *Кондорсе*. Количество экспертов, предпочитающих альтернативу  $x_1$  по сравнению с  $x_2$ , в данном случае равно  $4 + 2 + 1 = 7$ , альтернативу  $x_2$  по сравнению с  $x_1 - 2 + 1 = 3$ . Значит, альтернатива  $x_1$  предпочтительнее  $x_2$ , т.е.  $x_1 \succ x_2$ . Аналогично сравниваем попарно альтернативы  $x_1$  и  $x_3$ , а также  $x_2$  и  $x_3$ . Для альтернатив  $x_1$  и  $x_3$  получим  $4 + 2 + 2 = 8$  и  $1 + 1 = 2$ , т.е.  $x_1 \succ x_3$ . При сравнении  $x_2$  и  $x_3$  количество экспертов равно  $4 + 2 = 6$  и  $2$ , т.е.  $x_2 \succ x_3$ . Переходя от индивидуальных предпочтений к коллективному решению, получим, что  $x_1 \succ x_2 \succ x_3$ , т.е. в данном примере лучшей альтернативой является альтернатива  $x_1$ .

Произведем выбор наилучшей альтернативы по модели *Борда*. Для этого подсчитаем число баллов, набранных каждой альтернативой, по формуле (2):

$$b(x_1) = 6 \cdot 3 + 3 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 25 \text{ баллов};$$

$$b(x_2) = 2 \cdot 3 + 5 \cdot 2 + 3 \cdot 1 = 19 \text{ баллов};$$

$$b(x_3) = 2 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 6 \cdot 1 = 16 \text{ баллов}.$$

Следовательно, по модели *Борда* лучшим коллективным решением также является альтернатива  $x_1$ .

Отметим, что в рассмотренном примере коллективное решение по двум моделям совпадает. Однако, как было отмечено выше, коллективное решение по модели *Кондорсе* существует не всегда. Поэтому на практике чаще используют модель *Борда*.

### Заключение

Рассмотрены две модели принятия коллективного решения, основанные на результатах голосования экспертов и попарного сравнения альтернатив. Предложен обобщенный алгоритм принятия коллективного решения в рамках ситуационного центра промышленного предприятия, включающий формирование множества допустимых альтернатив и выбор наилучшего коллективного решения с использованием рассмотренных моделей. Приводится пример, демонстрирующий применение моделей принятия коллективного решения на предприятии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).*

### **Список литературы**

1. Губко М.В. Математические модели оптимизации иерархических структур. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 264 с.
2. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях: моногр. / С.А. Федосеев, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов, А.В. Вожаков. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 229 с.
3. Вожаков А.В., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Ситуационный центр как инструмент интеллектуализации системы управления производством // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22). – С. 45–49.
4. Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация. – М.: МИСИС, 2005. – 352 с.
5. Вожаков А. В., Гитман М. Б., Федосеев С. А. Комплексное оценивание при выборе оптимального плана производства на тактическом уровне с учетом нечетких критериев и ограничений // Управление большими системами. – Вып. 30. – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 164–179.

### **References**

1. Gubko M.V. Matematicheskie modeli optimizatsii ierarkhicheskikh struktur [Mathematical model of optimization of hierarchical structures]. Moscow: LENAND, 2006. 264 p.
2. Fedoseev S.A., Gitman M.B., Stolbov V.Iu., Vozhakov A.V. Upravlenie kachestvom produktsii na sovremennykh promyshlennykh predpriatiiakh [Management of quality of goods in modern industrial plants]. Perm: Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2011. 229 p.
3. Vozhakov A.V., Gitman M.B., Stolbov V.Iu. Situatsionnyi tsentr kak instrument intellektualizatsii sistemy upravleniia proizvodstvom [Situational center as a tool of intellectualization of production management system]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2013, vol. 2 (22), pp. 45-49.

4. Rikov A.S. Modeli i metodi sistemnogo analiza: priniatie reshenii i optimizacia [Models and methods of system analysis: decision making and optimization]. Moscow: MISIS, 2005. 352 p.

5. Vozhakov A.V., Gitman M.B., Fedoseev S.A. Kompleksnoe otsenivanie pri vibore optimal'nogo plana proizvodstva na takticheskom urovne s uchedom nechetkikh kriteriev i ogranichenii [Comprehensive evaluation when choosing the optimal production plan at the tactical level with consideration of fuzzy criteria and restrictions]. *Upravlenie bol'shimi sistemami*, 2010, vol. 30, pp. 164-179.

Получено 13.03.2015

### **Об авторах**

**Вожаков Артем Викторович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, директор по информационным технологиям ПАО «Мотовилихинские заводы» (614014, г. Пермь, ул. 1905 года, 35, e-mail: [vozhakov@yandex.ru](mailto:vozhakov@yandex.ru)).

**Гитман Михаил Борисович** (Пермь, Россия) – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математическое моделирование систем и процессов» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [mgitman@netzero.net](mailto:mgitman@netzero.net)).

**Столбов Валерий Юрьевич** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, декан факультета прикладной математики и механики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [valeriy.stolbov@gmail.com](mailto:valeriy.stolbov@gmail.com)).

**Елисеев Александр Сергеевич** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, начальник отдела ЗАО «ИВС-сети» (614000, г. Пермь, ул. Н. Островского, 65, e-mail: [alexander.elyseev@gmail.com](mailto:alexander.elyseev@gmail.com)).

### **About the authors**

**Artem V. Vozhakov** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, CIO, PSC “Motovilikhinskiye zavody” (35, 1905 year st., Perm 614014, Russian Federation, e-mail: [vozhakov@yandex.ru](mailto:vozhakov@yandex.ru)).

**Mikhail B. Gitman** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Mathematical Modeling of Systems and Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614099, Russian Federation, e-mail: mgitman@netzero.net).

**Valerii Iu. Stolbov** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Applied Mathematics and Mechanics Faculty (29, Komsomolsky av., Perm, 614099, Russian Federation, e-mail: valeriy.stolbov@gmail.com).

**Aleksandr S. Eliseev** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department Head, CJSC “IVS-seti” (65, N. Ostrovsky st., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: alexander.elyseev@gmail.com).