

**Микони Станислав Витальевич,**  
вед. науч. сотр., д-р техн. наук, профессор

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМОЙ С УЧЁТОМ ВЗАИМОСВЯЗИ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ**

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Федеральный  
исследовательский центр РАН, smikoni@mail.ru

**Аннотация.** Целью работы является практическое применение системности методов научного направления при разработке программной системы. Рассматриваются свойства математической задачи. Предлагаются описательные модели содержания и решения задачи. На их основе формируются признаки, используемые для классификации задач. В качестве модели классификации принимается дерево задач. Приводится пример построения дерева задач выбора вариантов на конечном множестве альтернатив, основанного на сходстве / различии свойств решаемых задач. Использование связей между методами решения задач позволяет построить дерево, близкое к оптимальному варианту. За критерий оптимальности принимается минимальное число уровней дерева задач. Показаны два примера настройки задач, реализованные в системе выбора и ранжирования СВИРЬ.

**Ключевые слова:** задача, содержание задачи, решение задачи, описательная модель, классификация задач, дерево задач, программная система.

**Stanislav V. Mikoni,**  
Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences

## **APPLICATION OF SYSTEMIC METHODS OF SCIENTIFIC DIRECTION IN DEVELOPING A SOFTWARE SYSTEM**

St. Petersburg Federal Research Center of RAS, St. Petersburg, Russia,  
smikoni@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the work is the practical application of systematic methods of scientific direction in the development of a software system. The properties of a mathematical problem are considered. Descriptive models of the content and solution of the problem are proposed. Based on them, the features used to classify tasks are formed. The task tree is adopted as a classification model. An example is given of constructing a tree of problems for choosing options on a finite set of alternatives, based on the similarity / difference in the properties of the problems being solved. Using connections between problem solving methods allows you to build a tree close to the optimal option. The optimality criterion is taken to be the minimum number of levels of the task tree. Shown are two examples of task settings implemented in the SVIR-M selection and ranking system.

**Keywords:** task, task content, problem solution, descriptive model, task classification, task tree, software system.

## Введение

Естественным свойством любой живой системы является способность к развитию. Развитие позволяет приспособиться к изменениям внутренней и внешней среды объекта. Приспособление достигается изменением свойств объекта. Таким образом, развитие проявляется через *различие* значений показателей, измеряющих изменяющиеся свойства объекта.

Проектирование изделий искусственного мира относится к категории развития. Перспективность изделия выражается через *отличие* значений его показателей от ранее достигнутого уровня [1, с. 301–324]. Чем оно больше, тем перспективнее изделие. В этом смысле разработчик стремится к уникальности свойств изделия, в его существенном отличии от существующих изделий. Этим достигается разнообразие изделий искусственного мира.

Категории развития отвечает познание естественного мира. Каждый новый уровень знания достигается путём *конкретизации* (углубления) существующего знания. В физике, например, атом, казавшийся неделимой сущностью, расчленился на элементарные частицы. Углубление знания влечёт увеличение его разнообразия.

Системология разнообразию сущностей противопоставляет их *сходство*. Процессу конкретизации противопоставляется процесс *обобщения*. Сходство определяется на основе поиска общего между сущностями в их существенных свойствах. На основе сходства устанавливаются связи между сущностями. Установление сходства по несущественным свойствам сущностей является основой научных заблуждений и анекдотов.

Систематизация знания имеет не только познавательный, но и прикладной аспект. В многофункциональной программной системе большую роль играет прокладка пути к задаче, подлежащей решению. И этот путь тем более ясен и прост, чем более обоснована взаимосвязь связанных с ним понятий. В работе предлагается систематизация задач на примере многомерного оценивания сущностей с целью разработки простого и обоснованного взаимодействия с универсальной программной системой выбора на конечном множестве альтернатив.

## 1. Классификация задач

В основу классификации сущностей кладётся их определение. Применительно к задачам одно из наиболее общих определений задачи было дано в работе [2]: «Генезис задачи можно рассматривать как моделирование проблемной ситуации, в какую попадает субъект в процессе своей деятельности, а саму задачу – как *модель проблемной ситуации, выраженной с помощью знаков некоторого естественного или искусственного языка*».

Это определение уточнялось с различных точек зрения. Д. Пойа выделял два класса задач: на *нахождение* и на *доказательство* [3]. Первый предполагает нахождение неизвестного объекта, определенным образом

заданного исходными данными. В этом случае процесс решения определяется как результат деятельности по определению объекта. В задачах на доказательство решение можно понимать только как последовательность умозаключений, позволяющих перейти от посылок к заключению, а поиск решения – как процесс, заканчивающийся нахождением этой последовательности [3, с. 41, 42].

Р.Л. Акофф [4] обязательным фактором решения задачи считал присутствие *цели*, выделение управляемых и неуправляемых переменных и соотношение между этими тремя факторами, причем наиболее важным видом взаимосвязи является причинная зависимость.

Понятие решения задач взаимосвязано с понятием задачи, поскольку ее содержание определяет методы и способы решения, выступает одним из критериев при определении типа решения. М. Минский [5], Е. И. Ефимов [6] рассматривали задачи во взаимодействии их содержания и степени сформированности *схемы решения*.

Понятие задачи оказывается более широким в сравнении с ее решением. Определяя задачу, Е. И. Ефимов подчеркивал, что она определяется тремя компонентами: исходными данными, условиями и процессом решения [6, с. 31].

В Большой Российской энциклопедии под условиями задачи понимается представленная решателю в той или иной форме информация, описывающая ситуацию, в которой требуется удовлетворить требования задачи и найти решение. Фактически это явно заданный или подразумеваемый *набор* количественных и качественных *показателей* с предъявленными к ним *требованиями* [7].

В цитированном определении исходные данные объединяются с предъявленными к ним требованиями (условиями задачи), т. е. то, что принято называть *содержанием* задачи. Под решением, как процессом, понимается метод (способ) получения результата на основе известных исходных данных и условий задачи.

Рассмотренные в определениях задачи признаки являются кандидатами на классификационные признаки (КП) при разбиении класса задач на подклассы. Их называют также основаниями деления классов на подклассы. Роль КП в классификации сущностей двояка. Сам КП отражает *сходство* разделяемых сущностей, а его значения отражают их *различие*.

Для деления сущностей на подклассы важно не только выбрать совокупность характеризующих их КП, но и определить порядок их применения. С этой целью рассмотрим наиболее общие описательные модели содержания и решения задачи.

## **2. Модели содержания и решения задачи**

В наиболее общем виде содержание задачи представимо функциональной моделью (Ф-моделью) следующего вида [8]:

$$M_{\Phi} = \langle X, Y, F \rangle, \quad (1)$$

где множество  $X$  означает область определения, а множество  $Y$  – область значений функции  $f \in F$ . В частном случае  $X = Y = A$ . Функция  $f$  представляет собой отображение  $f: X \rightarrow Y$ . Содержательно множество  $F$  отражает *тип* задачи, определяемый типами применяемых для её решения функций. Множества  $X$  и  $Y$  представляет собой значения входных (известных) и выходных (неизвестных) переменных задачи.

В наиболее общем виде решение задачи представимо операционной (процессной) моделью (О-моделью) следующего вида:

$$M_{\Phi} = \langle X, Y, O \rangle, \quad (2)$$

где множество  $O$  означает множество макроопераций, реализующих соответствующие функции из множества  $F$ .

Условия задачи реализуются её структурно-функциональной моделью (СФ-моделью) с привлечением промежуточных переменных:

$$M_{\text{сф}} = \langle X, Y, I, R_c, R_{fv}, R_{fe}, F \rangle. \quad (3)$$

Здесь  $I$  – область определения и значений внутренних (промежуточных) переменных задачи. В частном случае  $X = Y = I$ . Множества  $R_c, R_{fv}, R_{fe}$ , отражают соответственно структуру модели (связи между переменными задачи), функции переменных и связей между ними. Наглядной СФ-моделью задачи является нагруженный граф.

Макрооперации О-модели описываются структурно-операционной (СО-моделью) моделью решения задачи:

$$M_{\text{сф}} = \langle X, Y, I, O, R \rangle. \quad (4)$$

Отношение  $R$  отражает структуру операций, реализующих каждую макрооперацию. Операции над данными могут быть как *индивидуальными*  $y = f(x)$ , так и *групповыми*  $y = f(\mathbf{x})$ .

СФ-модель содержания задачи, по сути, играет роль носителя процессов, описываемых СО-моделью решения задачи.

### 3. Классификационные признаки задачи

Множество функций  $F$  в модели (1) характеризуют назначение (функциональность) задачи. Примерами назначения задачи являются расчёт, либо оценка величины, поиск лучшего варианта, отнесение объекта к одному из заданных классов и пр. Назначение задачи влияет на её условия и метод решения. По этой причине *назначение* следует применять в качестве первичного классификационного признака, разделяющего задачи на категории.

Последующие КП поочерёдно уточняют условия и метод решения выбранной категории задачи. К ним относятся характеристика исходных данных и требования к результатам решения. Исходные данные могут иметь как детерминированную, так и случайную природу, могут быть как

объективными (чёткими), так и экспертными (нечёткими). Помимо достоверности исходных данных на выбор метода решения влияет тип данных и шкалы, в которых они измеряются.

В качестве КП применяется также характеристика функций, применяемых в решении задачи. Функция характеризуется областью определения и значений, типом нелинейности, способом представления.

Моделью последовательного разбиения категории задач на подклассы с применением перечисленных КП является дерево задач. В общем случае минимальное число уровней дерева, необходимое для различения  $N$  конечных (терминальных) задач, определяется выражением (5):

$$\prod_{p=1}^{n_{\min}} m_p \geq N. \quad (5)$$

Число  $m_p$  определяет полустепень исхода  $\deg^-(v_{pk})$   $k$ -й вершины  $p$ -го уровня. Для дихотомического дерева (для всех вершин  $\deg^-(v_{pk}) = 2$ ) минимальное число уровней дерева равно  $n = \lceil \log_2 N \rceil$ , где « $\lceil$ » « $\rceil$ » означает ближайшее большее целое число. Максимальное число шагов, необходимое для различения  $N$  конечных задач, определяется, исходя из выделения одной альтернативы на каждом шаге поиска. Отсюда  $n_{\max} = N - 1$ .

Из этих оценок следует, что уменьшение числа шагов для достижения висячих вершин дерева задач связано с максимальным разбиением класса задач на каждом его уровне. Наименьшее число шагов достигается равномерным разбиением исходного множества задач. Индикатором равномерности разбиения подмножеств  $j$ -го уровня является максимальная величина оценочной функции  $w_j$ :

$$w_j = \sum_{s=1}^{k_j} n_s^0 n_s^1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Здесь  $n_s^0$  и  $n_s^1$  – соответственно число нулей и единиц в  $s$ -м подмножестве  $j$ -го уровня, а  $k_j$  – номер подмножества на  $j$ -м уровне дерева задач.

Поскольку каждый КП дают индивидуальное разбиение задач, на число уровней дерева влияет очерёдность применяемых КП. В общем случае выбор очередного КП осуществляется методом перебора. Его сокращение связано со знанием особенностей задач каждого научного направления.

Для демонстрации подхода к сокращению числа уровней дерева задач ограничимся рассмотрением оценочных задач. В отличие от расчётной задачи, результатом решения которой являются значения неизвестных переменных, результатом решения оценочной задачи является мера соответствия полученных результатов поставленной цели. На основе этой меры осуществляется выбор лучшего варианта. Ограничимся рассмотрением оценочных задач с конечным множеством альтернатив выбора.

#### 4. Систематизация задач выбора на конечном множестве альтернатив

Систематизация задач многомерного выбора на КМА реализуется построением дерева задач от корневой вершины «Задачи выбора на КМА» до терминальных (висячих) вершин, которым сопоставлены конкретные задачи этого научного направления.

По назначению задачи выбора на конечном множестве альтернатив (КМА) делятся на задачи упорядочения и классификации [9]. Упорядочение альтернатив по многим показателям имеет целью выбор лучшего варианта, а классификация имеет целью выбор класса, которому объект принадлежит в наибольшей степени. Группы задач упорядочения и классификации и составляют верхний уровень 1 дерева задач выбора на КМА (см. рис. 1).

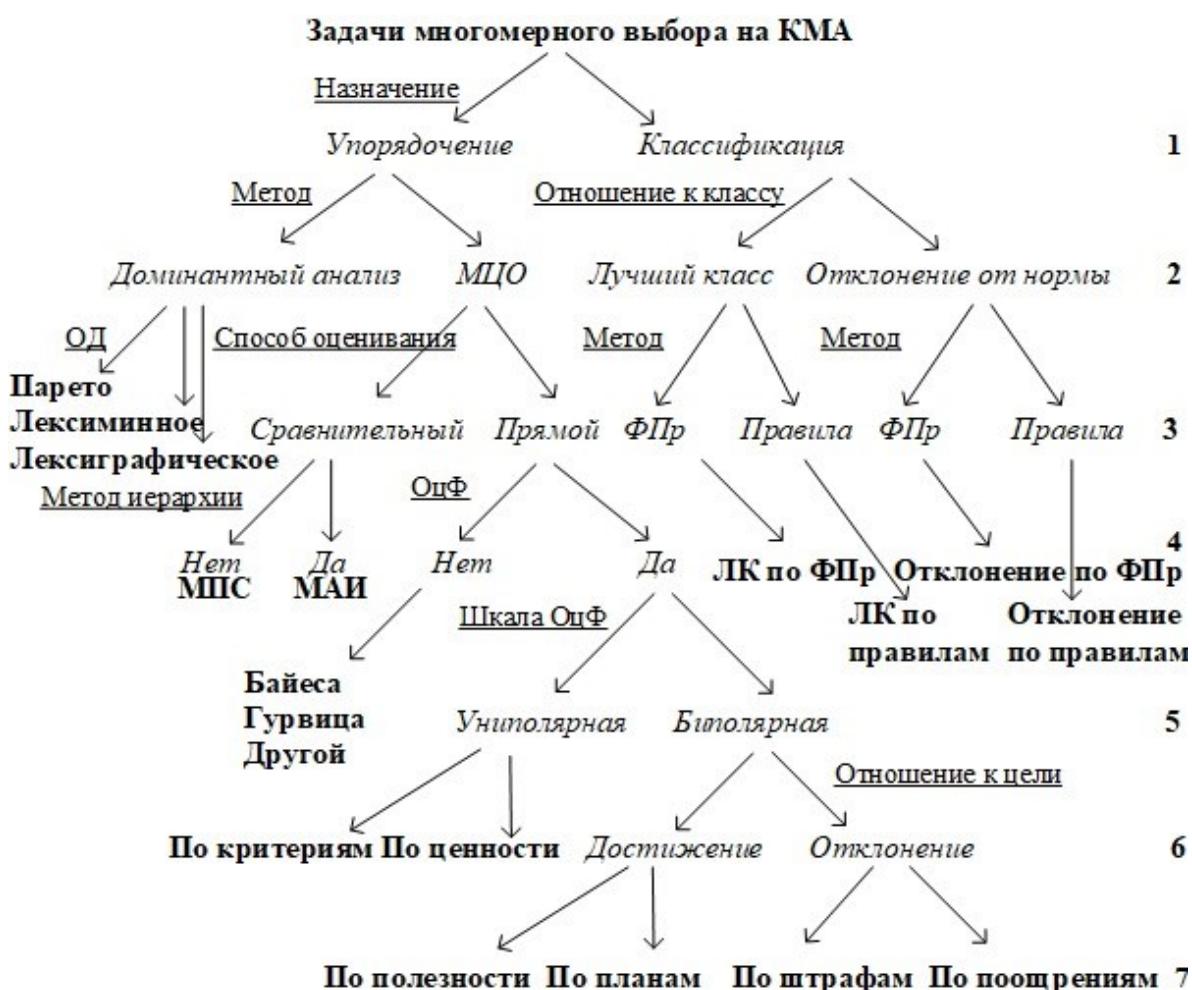


Рис. 1. Дерево задач системы СВБРЬ-М

Для деления задач многомерного упорядочения альтернатив используются два канонических подхода – логический и вычислительный как значения КП «Метод решения». Логический подход базируется на сопоставлении альтернатив по экспертным оценкам характеризующих их показателей.

В основу вычислительного подхода положен принцип вычисления оценок показателей, отражающих предпочтения ЛПР. Задачи

упорядочения и классификации объектов, решаемые с применением вычислительного подхода, объединены обобщённым понятием «Оценочная функция». В него включены все функции, применяемые в задачах ММО на конечном множестве альтернатив [10].

К логическим методам относятся методы доминантного анализа, а к вычислительным – методы многоцелевой оптимизации (МЦО). Методы доминантного анализа оперируют векторными оценками объектов. На этой основе они называются также методами векторной оптимизации.

Для деления задач многомерной классификации на втором уровне дерева задач используется КП «Отношение к классу» с двумя значениями «Лучший класс» и «Отклонение от нормы». Под лучшим понимается класс, которому объект принадлежит в большей степени. Отклонение от нормы реализует идею отклонения от среднего, широко используемую в статистике.

Задачи доминантного анализа на третьем уровне дерева задач делятся по разновидностям отношения доминирования на задачи Парето-доминирования, лексиминного и лексикографического упорядочения объектов.

Задачи многоцелевой оптимизации на третьем уровне дерева задач по способу сопоставления объектов – сравнительного и прямого разделены на две подгруппы. Задачи первой подгруппы основаны на попарном сопоставлении объектов по каждому показателю с последующим обобщением частных оценок. Таким образом, они совмещают логический и вычислительный подходы к упорядочению объектов. Упорядочение объектов прямым способом многомерного оценивания выполняется по вычисленным оценкам объектов.

Задачи классификации на третьем уровне дерева задач делятся по методам нахождения лучшего класса или отклонения от нормы. К этим методам относятся логические правила и функции принадлежности классам.

На четвертом уровне дерева задач выделяются задачи со сравнительным способом оценивания альтернатив. К ним относятся задачи на матрицах парных сравнений (МПС) и основанный на использовании МПС метод аналитической иерархии (МАИ) Т. Саати. На этом уровне выделяются также задачи выбора лучшего класса и отклонений от нормы по логическим правилам и функциям принадлежности. Методы многоцелевой оптимизации делятся по использованию оценочных функций (ОцФ) показателей.

На пятом уровне иерархии выделяются задачи игры с Природой по критериям Байеса, Гурвица и др. Они характеризуются одинаковыми шкалами показателей и отсутствием ОцФ. На этом уровне оценочные функции показателей разделяются на униполярные и биполярные.

На шестом уровне иерархии выделяются задачи МЦО с униполярными оценочными функциями показателей. К ним относятся нормирующие функции критериев и нелинейные функции ценности. Учитывая

одинаковые области значений этих функций, они могут использоваться в рамках одной задачи МЦО. На этом же уровне задачи с биполярными ОцФ делятся по отношению к целевым значениям показателей – по достижению цели и отклонению от неё.

На седьмом уровне иерархии выделяются задачи достижения требуемого уровня полезности и заданных планов, а также задачи отклонения от целей по их невыполнению (штрафы) и перевыполнению (поощрения).

Дерево задач, построенное на основе их систематизации, близко к оптимальному варианту, поскольку ближе к минимальному числу уровней для различения всех задач. Для различения 18 задач выбора на КМА минимальное число шагов равно  $\lceil \log_2 18 \rceil = 5$ , а максимальное число шагов равно  $n_{\max} = N - 1 = 18 - 1 = 17$ .

Анализ достижимости задач показывает различную длину путей от его корневой вершины до терминальных вершин – от трёх до семи. Длина пути отражает различный объём условий, требуемых для решения соответствующих задач. Действительно, методы доминантного анализа считаются наиболее достоверными, поскольку требуют задания минимального объёма предпочтений ЛПР. К этому следует добавить то обстоятельство, что дерево задач не включает настройки параметров задач. В вычислительных методах к ней относится выбор оценочных функций, весов показателей и функций обобщения частных оценок.

## **5. Настройка задач в системе СВБРЬ-М**

На рис. 2 из восемнадцати возможных настроек на задачу приведены два примера практической реализации дерева задач выбора на КМА в системе выбора и ранжирования СВБРЬ-М.

Настройка на задачу «Выполнение плана» (рис. 2а) реализуется за 6 шагов выбора опций во всплывающих меню окна «Настройка задачи»: «Упорядочение», «МЦО», «Прямой», «Биполярная», «Достижение цели», «Выполнение плана».

Настройка на задачу «Выбор класса по логическим правилам» (рис. 2б) реализуется за 3 шага выбора опций во всплывающих меню окна «Настройка задачи»: «Классификация», «Лучший класс», «Правила». Задача решается на трёх классах, заданных логическими правилами на значениях показателей, характеризующих классифицируемый объект.

Как показала практика, учёт взаимосвязи задач упорядочения и классификации объектов значительно упростил взаимодействие пользователя с программной системой на этапах создания и отладки моделей решаемых задач. Окно настройки задачи позволяет не только сформировать начальную модель задачи, но и управлять её параметрами.



Основная задача

☐ Не выбрана

☒ Упорядочение

☐ Классификация

---

Метод решения

☐ Доминантный анализ

☒ Многоцелевая оптимизация

---

Способ оценивания

☒ Прямой

☐ Сравнительный

---

☒ Использовать оценочные функции

Область значений оценочных функций

☐ Униполярная

☒ Биполярная

---

Отношение к цели

☒ Достижение цели

☐ Отклонение от цели

---

☒ Выполнение плана

☐ Подсчет выполнений плана

---

Обобщающая функция

☐ Аддитивная

☐ Мультипликативная

☐ Гармоническая

☐ Максимальная

☐ Произвольная

---

Точность оценивания

Безразличие, %:

Знаков мантиссы:

(а)

Основная задача

☐ Не выбрана

☐ Упорядочение

☒ Классификация

---

Отношение к классу

☒ Лучший класс

☐ Отклонение от нормы

---

Метод решения

☒ Правила

☐ Функции принадлежности

---

Список классов:

|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
| Низкое  | <input type="button" value="Добавить"/>       |
| Среднее | <input type="button" value="Удалить"/>        |
| Высокое | <input type="button" value="Переименовать"/>  |
|         | <input type="button" value="Отсев объектов"/> |

Цвет класса:

---

Минимальная принадлежность, %:

---

Правила классификации:

|                                                   |      |                                         |
|---------------------------------------------------|------|-----------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> $3 < 'П1'$    | 1.00 | <input type="button" value="Добавить"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> $'П1' \leq 7$ | 1.00 | <input type="button" value="Удалить"/>  |
| <input checked="" type="checkbox"/> $3 < 'П2'$    | 1.00 | <input type="button" value="Изменить"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> $'П2' \leq 7$ | 1.00 |                                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> $3 < 'П3'$    | 1.00 |                                         |

---

Определение принадлежности

☐ Максимальная (дизъюнкция)

☒ Минимальная (конъюнкция)

☐ Взвешенная комбинация

☒ Учитывать не сработавшие правила

(б)

Рис. 2. а – настройка на задачу оптимизации объектов по планам, б – настройка на задачу классификации по логическим правилам

## Заключение

Научно-обоснованная классификация методов решения задач позволяет не только сопоставлять эти методы по свойствам и области предпочтительного применения, но и реализовать компактную настройку задач в программной системе. Перечислительный способ представления большого количества задач на экране компьютера не позволяет показать в явном виде связи между задачами. Описательный способ представления задачи позволяет по её свойствам выполнить настройку задачи за минимальное число шагов. Внимание пользователя не отвлекается на избыточную информацию на экране, присущую перечислительному способу представления задач. Описанный в работе метод настройки задач реализован в системе выбора и ранжирования СВБРЬ-М.

## Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

## Список литературы

1. Консон А. С. Методы определения технического уровня разработки новых приборов и систем // Экономика приборостроения. – М.: Высш. шк., 1980. – 572 с.
2. Фридман Л. М., Турецкий Е. Н. Как научиться решать задачи. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – М.: «Просвещение», 1984.
3. Пойа Д. Как решать задачу: пособие для учителей / Под ред. Ю. М. Гайдукова; Пер. с англ. – М.: Учпедгиз, 1961.

4. Акофф Р. Л. Искусство решения проблем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982.
5. Минский М. Л. Проблемы в области искусственного интеллекта // Математические проблемы в биологии / Под ред. Р. Беллмана; Пер. с англ. – М.: Мир, 1966.
6. Ефимов Е. И. Решатели интеллектуальных задач. – М.: Наука, 1982.
7. Спиридонов В. Ф. Условия задачи [Электронный ресурс] // Большая Российская энциклопедия. – URL: <https://bigenc.ru/c/usloviia-zadachi-fe2aa0> (дата обращения: 22.05.2024).
8. Микони С. В., Соколов Б. В. Юсупов Р. М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. – М.: РАН, 2018. – 314 с.
9. Микони С. В. Теория принятия управленческих решений: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2022. – 384 с.
10. Микони С. В., Бураков Д. П. Обоснование и классификация оценочных функций, применяемых в рейтинговых методах многокритериального выбора // Информатика и автоматизация. – 2020. – Вып. 19(6). – С. 1131–1165.