

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ИТ-ПРОЕКТАХ

С.А. Баркалов, bsa610@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6183-3004>

А.В. Белоусов, alexbelousov19@yandex.ru

Е.О. Пужанова, pujanova@icloud.com

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация. В данной работе рассматриваются основные подходы к управлению проектами ИТ-профиля в оперативном режиме, особенно при внесении корректировок в состав проектов, который несомненно имеет свои специфические особенности. Главное отличие от этапа формирования программы управления проектами заключается в том, что исключение из нее может привести к дополнительным расходам, связанным с прекращением уже начатых работ, следовательно, возрастают риски невыполнения указанных проектов в установленные сроки. К таким расходам относятся, например, компенсации исполнителям, штрафы за расторжение контрактов и другие подобные убытки. Анализ задач оперативного управления программой и портфелем ИТ-проектов с учетом этих дополнительных расходов представлен во многих работах. Однако для решения подобных задач не всегда возможно применение какого-либо единственного метода, что ставит задачу разработки комплексного подхода к оценкам рисков ИТ-проектов для выбора наименее рискованного, что требует исследований в области механизмов комплексного оценивания. **Цель исследования** заключается в формировании экспертной системы поддержки принятия решений при оценке рисков ИТ-проектов с учетом противоречий знаний экспертов и формировании компромисса в задачах комплексного оценивания и парных сравнений. **Методы исследования.** Для решения задачи оперативного планирования ИТ-проектами с учетом рисков применяются: метод сетевого программирования и метод, основанный на таблице допустимых решений. При оценке рисков формируется квалитетическая шкала, формирующая три группы: низких рисков, средних рисков и высоких рисков. При этом каждой группе рисков присваивается своя система баллов, что позволяет экспертам формировать достаточно уверенные оценки. **Результаты.** Предложенный эффективный алгоритм получения экспертных оценок позволил упростить процедуру построения таблиц допустимых решений. Если размер таблицы (число рассматриваемых решений) превышает заданное ограничение, производится «сжатие» таблицы до требуемого размера путем «склеивания» решений. Склеивание решений происходит таким образом, что ни одно допустимое решение не теряется (однако могут появиться недопустимые решения). В результате получаем верхнюю оценку для исходной задачи оценки рисков ИТ-проектов. Таким образом, благодаря использованию методов сетевого программирования можно исключить вероятность получения некорректных оценок и несогласованных мнений экспертов при отборе ИТ-проектов в общий портфель компании разработчика. **Заключение.** Для того чтобы получить от экспертов исчерпывающие и непротиворечивые результаты, которые будут основаны на простых и понятных действиях, необходимо применить предложенный подход к решению комплексного оценивания рисков ИТ-проектов. Первый способ учета рисков (ограничение на финансирование проектов с высоким и средним рисками) является эффективным, если величина растет с ростом n полиномиально. Второй и третий способы в общем случае приводят к экспоненциальному росту сложности. Однако если число проектов с высоким и средним рисками ограничено сверху некоторым числом K (не зависящим от n), то оба эти способа являются эффективными.

Ключевые слова: алгоритм, парные сравнения, граф, сетевое программирование, таблица истинности

Для цитирования: Баркалов С.А., Белоусов А.В., Пужанова Е.О. Алгоритмы управления рисками в ИТ-проектах // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2025. Т. 25, № 3. С. 77–86. DOI: 10.14529/ctcr250307

CONTROL ALGORITHMS RISKS IN IT PROJECTS

S.A. Barkalov, bsa610@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6183-3004>

A.V. Belousov, alexbelousov19@yandex.ru

E.O. Puzhanova, pujanova@icloud.com

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. In this work basic approaches to project management of IT of a profile in a foreground mode are considered, especially when entering adjustments into structure of projects which undoubtedly has the specific features. The main difference from a stage of forming of the program of project management is that the exception of it can lead to the additional expenses connected with the termination of already begun works, therefore, risks of failure to follow the specified projects increase at the scheduled time. Compensations to performers, penalties for cancellation of contracts and other similar losses belong to such expenses, for example. Task analysis of operational management of the program and a portfolio of IT of projects taking into account these additional expenses is presented in many works. However, for a solution of similar tasks application of any only method is not always possible that sets a task of development of an integrated approach to risk assessment of IT of projects for the choice of the least risky that demands researches in the field of mechanisms of complex estimation. The research objective consists in forming of expert system of support of decision-making at risk assessment of IT of projects taking into account contradictions of knowledge of experts and forming of a compromise in problems of complex estimation and paired comparisons. **Research methods.** Are applied by projects taking into account risks to a solution of a problem of operational planning of IT: the method of network programming and a method based on the table of admissible solutions. At risk assessment the qualimetric scale creating three groups forms: low risks, average risks and high risks. At the same time the system of points is appropriated to each group of risks that allows experts to create rather sure estimates. **Results.** The offered effective algorithm of receiving expert estimates allowed to simplify the procedure of creation of tables of admissible solutions. If the table size (number of the considered solutions) exceeds the set restriction, “compression” of the table to the required size by “pasting” of solutions is made. Pasting of solutions happens in such a way that any admissible solution is not lost (however, inadmissible solutions can appear). As a result we receive upper assessment for an initial problem of risk assessment of IT of projects. Thus, thanks to it is applicable methods of network programming it is possible to exclude the probability of receiving incorrect estimates and uncoordinated opinions of experts at selection of IT of projects in total portfolio of the company of the developer. **Conclusion.** To receive from experts exhaustive and not contradictory results which will be based on simple and clear actions it is necessary to apply the offered approach to a solution of complex estimation of risks of IT of projects. The first way of accounting of risks (restriction for financing of projects with high and average risks) is effective if value grows with growth of n is polynomial. The second and third ways generally lead to the exponential growth of complexity. However, if the number of projects with high and average risks is limited on top to some number K (which is not depending from n), then both of these ways are effective.

Keywords: algorithm, paired comparisons, graph, network programming, truth diagram

For citation: Barkalov S.A., Belousov A.V., Puzhanova E.O. Control algorithms risks in IT projects. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2025;25(3):77–86. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr250307

Введение

Управление программой в оперативном режиме, особенно при внесении корректировок в состав ИТ-проектов, имеет свои специфические особенности. Главное отличие от этапа формирования программы заключается в том, что исключение проектов из нее может привести к дополнительным расходам, связанным с прекращением уже начатых работ. К таким расходам относятся, например, компенсации исполнителям, штрафы за расторжение контрактов и другие подобные убытки.

Анализ задач оперативного управления программой и портфелем проектов с учетом этих дополнительных расходов представлен в работах [1, 2].

В данной работе исследуется актуальная проблема оперативного планирования программ, учитывающего риски. Для ее решения авторы предлагают два подхода [3, 4]: метод сетевого программирования и метод, основанный на таблице допустимых решений.

Постановка задачи

Представим задачу, где необходимо интегрировать в существующую программу, состоящую из n проектов, новые идеи. Для этого доступно p новых проектов, которые претендуют на место в программе [5].

Пусть эффективность i -го проекта будет обозначена как a_i , а затраты на его реализацию – как c_i , если проект новый, и как d_i , если он уже входит в программу. Дополнительные затраты, связанные с исключением i -го проекта из программы, также будут обозначены b_i . Будем считать, что проект i входит в программу, если $x_i = 1$, и не входит, если $x_i = 0$. Проекты в программе будут нумерованы $i = \overline{1, n}$, $i = \overline{n+1, m}$, где $m = n + p$ – новые проекты. Вначале мы рассмотрим задачу, не учитывая риски [6].

Цель: найти оптимальное решение $x_i, i = \overline{1, m}$, которое обеспечит максимальный результат.

$$A(x) = \sum_i a_i x_i \quad (1)$$

в случае если

$$\sum_{i=1}^n d_i x_i + \sum_{i=n+1}^m c_i x_i + \sum_{i=1}^n b_i (1 - x_i) \leq P.$$

В данном контексте P обозначает размер финансовой поддержки, выделяемой программе.

Рассмотрим обозначение $c_i = d_i - b_i, i = \overline{1, n}$. Простейшие вычисления приведут к следующему виду ограничения:

$$\sum_{i=1}^m c_i x_i \leq P - \sum_{i=1}^n b_i = R. \quad (2)$$

Проанализируем подходы к идентификации и управлению рисками, присущими проектам программы [6, 7].

Определение уровня риска будет осуществляться с использованием качественных шкал влияния [8]:

1 балл будет соответствовать низкому риску (малозначительное влияние);

2 балла – среднему риску (умеренное влияние);

3 балла – высокому риску (значительное влияние).

Для минимизации рисков можно прибегнуть к ограничению финансовой поддержки проектов, классифицируемых как средне- и высокорисковые.

Пусть Q_n будет обозначено как множество проектов, характеризующихся низким уровнем риска, Q_c – как множество проектов со средним уровнем риска, а Q_b – как множество проектов с высоким уровнем риска.

В качестве соответствующих ограничений установлены [9]:

$$\sum_{i \in Q_c} c_i x_i \leq R_c; \quad (3)$$

$$\sum_{i \in Q_b} c_i x_i \leq R_b. \quad (4)$$

Финансирование проектов, сопряженных со средним и высоким уровнем риска, подлежит особым ограничениям R_c, R_b .

Одним из подходов к управлению рисками является снижение количества проектов, классифицируемых как высоко- и среднерисковые.

Реализации этого подхода соответствуют определенные ограничения:

$$\sum_{i \in Q_c} x_i \leq N_c; \quad (5)$$

$$\sum_{i \in Q_b} x_i \leq N_b. \quad (6)$$

Ограничения на количество проектов N_c, N_b установлены в зависимости от их уровня риска: для проектов со средним риском и для проектов с высоким риском [10].

Чтобы найти решение для задач (1)–(4), мы воспользуемся методом сетевого программирования.

Рассмотрим алгоритмическую последовательность решения указанных задач [10].

В рамках первого этапа три параметрические задачи будут разрабатываться и решаться по отдельности, с фокусом на сценариях с низким, средним и высоким уровнями риска [11, 12].

Шаг 1. Состоит в следующем: определить $x_i, i \in Q_n$, повышающие, оптимизирующие:

$$\sum_{i \in Q_n} a_i x_i \quad (7)$$

в случае установления ограничений

$$\sum_{i \in Q_n} c_i x_i \leq Y_n. \quad (8)$$

В данном контексте рассматривается параметр Y_n , значение которого устанавливается в диапазоне $0 \leq Y_n \leq R_n$.

Решение классической задачи: $R_n = \min \left(R; \sum_{i \in Q_n} c_i \right)$, где параметры $c_i, i \in Q_n$ являются целыми

числами, эффективно осуществляется с помощью динамического или дихотомического программирования. Достаточно найти оптимальное решение для одного конкретного набора параметров $Y_n = R_n$, так как это позволит получить оптимальные решения для всех остальных $Y_n \leq R_n$. Обозначим $A_n(Y_n)$ величину (7), которая принимает наилучшее значение в оптимальном решении задачи [13], при заданном значении параметра Y_n .

Шаг 2. Необходимо рассчитать $x_i, i \in Q_c$ – повышающие, оптимизирующие:

$$\sum_{i \in Q_c} a_i x_i \quad (9)$$

в случае установления ограничений

$$\sum_{i \in Q_c} c_i x_i \leq Y_c. \quad (10)$$

Рассмотрим значение $0 \leq Y_c \leq R_c$, которое достигает своего наилучшего результата $A_c(Y_c)$ при решении задачи при различных значениях параметра Y_c .

Шаг 3. Необходимо рассчитать $x_i, i \in Q_b$ – повышающие:

$$\sum_{i \in Q_b} a_i x_i \quad (11)$$

в случае установления ограничений

$$\sum_{i \in Q_b} c_i x_i \leq Y_b. \quad (12)$$

Рассмотрим зависимость значения $A_b(Y_b)$ (11), являющегося оптимальным для данной задачи $0 \leq Y_b \leq R_b$, от изменения параметра Y_b .

Шаг 4. Заключается в решении задачи, направленной на поиск оптимального решения Y_n, Y_c, Y_b , которое обеспечивает максимальный результат [14]:

$$A_n(Y_n) + A_c(Y_c) + A_b(Y_b) \quad (13)$$

в условиях ограничений

$$0 \leq Y_n \leq R_n; 0 \leq Y_c \leq R_c; 0 \leq Y_b \leq R_b; Y_n + Y_c + Y_b \leq R. \quad (14)$$

Оптимальный результат, найденный с помощью метода обратного хода для задач (13) и (14), позволяет сформировать список проектов, вошедших в программу, а также список проектов, которые не были включены.

Для пояснения работы алгоритма рассмотрим пример. Представлена группа из семи ИТ-проектов, среди которых два являются новыми.

Подробная информация о проектах представлена в табл. 1.

Таблица 1
 Подробная информация о ИТ-проектах
 Table 1
 Detailed information on IT projects

i	1	2	3	4	5	6	7
a_i	6	9	10	12	14	15	18
d_i	7	8	6	10	7		
b_i	5	4	3	6	3		
c_i	2	4	3	4	5	3	7
r_i	1	1	1	2	2	3	3

Уровень рисков распределен следующим образом: проекты 1, 2 и 3 относятся к категории с наименьшей вероятностью негативных исходов [15], проекты 4 и 5 характеризуются средним уровнем риска, в то время как проекты 6 и 7 имеют высокий потенциал рисков.

Установим $R = 15$, $R_c = 7$, $R_b = 9$.

Первый этап

1. Начнем с задачи номер один: добиться максимального результата:

$$6x_1 + 9x_2 + 10x_3$$

в случае установления ограничений

$$2x_1 + 4x_2 + 3x_3 \leq 9.$$

Данные о зависимости $A_n(Y_n)$, $0 \leq (Y_n) \leq 9$ представлены в табл. 2.

Таблица 2
 Данные о зависимости $A_n(Y_n)$, $0 \leq (Y_n) \leq 9$
 Table 2
 Data on dependence of $A_n(Y_n)$, $0 \leq (Y_n) \leq 9$

Вариант	0	1	2	3	4	5
A_n	0	6	10	16	19	25
Y_n	0	2	3	5	7	9

2. Теперь мы сосредоточимся на решении задачи номер два: достижение максимального результата [12]:

$$12x_4 + 14x_5$$

в случае установления ограничений

$$4x_4 + 4x_5 \leq 7.$$

В табл. 3 представлена информация о зависимости.

Таблица 3
 Данные о зависимости $12x_4 + 14x_5$
 Table 3
 Data on dependence $12x_4 + 14x_5$

Вариант	0	1	2
A_c	0	12	14
Y_c	0	4	5

3. Теперь мы переходим к решению задачи номер три: поиск максимального значения [12]:

$$15x_6 + 18x_7$$

в случае установления ограничений

$$3x_6 + 7x_7 \leq 9.$$

В табл. 4 представлена информация о зависимости $A_B(Y_B)$, $0 \leq Y_B \leq 7$.

Таблица 4

Информация о зависимости $A_B(Y_B)$, $0 \leq Y_B \leq 7$

Table 4

Data on dependence $A_B(Y_B)$, $0 \leq Y_B \leq 7$

Вариант	0	1	2
A_B	0	15	18
Y_B	0	3	4

Для задач (13) и (14) мы воспользуемся методом дихотомического подхода к программированию [5, 7, 9].

На первом этапе мы анализируем взаимосвязи $A_C(Y_C)$ и $A_B(Y_B)$ – ставим перед собой задачу достижения максимального результата [12]:

$$A_C(Y_C) + A_B(Y_B)$$

в случае установления ограничения

$$Y_C + Y_B \leq Y_{CB}.$$

Параметр Y_{CB} находится в пределах: $Y_C \leq 7, Y_B \leq 9$.

Результат представлен в табл. 5.

Таблица 5

Результаты

Table 5

Results

2	18; 7	30; 11	32; 12
1	15; 3	27; 7	29; 8
0	0	12; 4	14; 5
Y_B Y_C	0	0	0

Полученные параметры сведены в табл. 6.

Таблица 6

Рассчитанные риски проектов

Table 6

The calculated risks of projects

Вариант	0	1	2	3	4	5
A_{CB}	0	15	27	29	30	32
Y_{CB}	0	3	7	8	11	12

Коэффициент A_{CB} , определяющий значение оптимального решения, зависит от Y_{CB} .

Второй этап работы заключается в анализе зависимостей $A_H(Y_H)$ и агрегированных зависимостей $A_{CB}(Y_{CB})$.

В рамках этого этапа мы ставим перед собой задачу оптимизации:

$$A_H(Y_H) + A_{CB}(Y_{CB})$$

в условиях ограничения

$$Y_H + Y_{CB} \leq 15.$$

Результат представлен в табл. 7.

Таблица 7
Суммарная оценка рисков проектов
Table 7
Total score of risks of projects

5	32; 12	38; 14	42; 15	–	–	–
4	30; 11	36; 13	40; 14	–	–	–
3	29; 8	35; 10	39; 11	45; 13	48; 15	–
2	27; 7	33; 9	37; 10	43; 12	46; 14	–
1	15; 3	21; 5	25; 6	31; 8	34; 10	40; 12
0	0	6; 2	10; 3	16; 5	19; 7	25; 9
$\begin{matrix} Y_{св} \\ Y_{н} \end{matrix}$	0	1	2	3	4	5

Наилучший результат обнаруживается в ячейке с координатами (48; 15).

Для его достижения используется метод обратного прослеживания.

Ячейка (48;15) ассоциируется с вариантом 4 табл. 2 и вариантом 3 табл. 6.

Вариант 4 табл. 2 предполагает реализацию проектов 2 и 3, тогда как вариант 3 табл. 6 подразумевает включение в программу проекта 5 с умеренной степенью риска и проекта, характеризующегося высоким уровнем риска, как указано в варианте 2 табл. 3 и варианте 1 табл. 4.

В результате финальной редакции в программу вошли проекты с номерами 2, 3 и 5, а проекты 1 и 4 были отменены, при этом добавлен новый проект под номером 6.

Другой подход к управлению рисками заключается в установлении ограничения на суммарный уровень влияния проектов, классифицируемых как средне- и высокорисковые.

Данное ограничение формулируется в виде

$$\sum_{i \in Q_c} 2x_i + \sum_{i \in Q_b} 3x_i \leq S. \quad (15)$$

Лимит S устанавливается для контроля общей величины влияния проектов, классифицированных как высокорисковые и среднерисковые.

Чтобы решить поставленную задачу, мы воспользуемся двухступенчатым алгоритмом, который будет основан на ранее рассмотренном подходе к ограничению финансирования проектов с высоким и средним уровнем риска.

Пояснение работы алгоритма

Шаг I – это фокусировка на решении задачи, заключающейся в поиске максимального значения:

$$\sum_{i \in Q_c} a_i x_i + \sum_{i \in Q_b} a_i x_i \leq S \quad (16)$$

с учетом ограничений (15):

$$\sum_{i \in Q_c} c_i x_i + \leq Y \quad (17)$$

$$\text{при } 0 \leq Y \leq \min \left(R; \sum_{i \in Q_c} c_i + \sum_{i \in Q_b} c_i \right).$$

Пусть значение $A(Y)$, соответствующее оптимальному решению задачи, будет обозначено как (16).

Стремление к оптимальному результату:

$$\sum_{i \in Q_n} a_i x_i \quad (18)$$

в случае установления ограничения

$$\sum_{i \in Q_n} c_i x_i \leq Y_n \quad (19)$$

при $0 \leq Y_n \leq R$.

Определим наилучший $A_n(Y_n)$ вариант для решения поставленной задачи.

Для решения задачи 1 мы прибегнем к табличному методу поиска допустимых решений, а для задачи 2 – к методу дихотомического программирования.

Шаг II сосредоточен на решении задачи, заключающейся в поиске максимального значения:

$$A(Y) + A_n(Y_n) \quad (20)$$

в случае установления ограничения

$$Y + Y_n \leq R. \quad (21)$$

Выводы

Предложенный эффективный алгоритм получения экспертных оценок позволил упростить процедуру построения таблиц допустимых решений. Если размер таблицы (число рассматриваемых решений) превышает заданное ограничение, производится «сжатие» таблицы до требуемого размера путем «склеивания» решений. Склеивание решений происходит таким образом, что ни одно допустимое решение не теряется (однако могут появиться недопустимые решения). В результате получаем верхнюю оценку для исходной задачи оценки рисков ИТ-проектов. Таким образом, благодаря использованию методов сетевого программирования можно исключить вероятность получения некорректных оценок и несогласованных мнений экспертов при отборе ИТ-проектов в общий портфель компании разработчика.

Для того чтобы получить от экспертов исчерпывающие и непротиворечивые результаты, которые будут основаны на простых и понятных действиях, необходимо применить предложенный подход к решению комплексного оценивания рисков ИТ-проектов. Первый способ учета рисков (ограничение на финансирование проектов с высоким и средним рисками) является эффективным, если величина растет с ростом n полиномиально. Второй и третий способы в общем случае приводят к экспоненциальному росту сложности. Однако если число проектов с высоким и средним рисками ограничено сверху некоторым числом K (не зависящим от n), то оба эти способа являются эффективными.

Список литературы

1. Россихина Л.В. Задачи и методы оперативного управления программой // Экономика и менеджмент систем управления. 2015, № 1.2 (15). С. 260–266.
2. Аверина Т.А., Половинкина А.И., Шумарин В.В. Управление рисками в условиях инновационного развития организации // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5, № 5. С. 87–89.
3. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Порядина В.Л. Механизмы активной экспертизы в задачах комплексного оценивания // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5, № 6. С. 64–66.
4. Белоусов В.Е., Баркалов С.А., Нижегородов К.А. Ресурсно-временной анализ в задачах календарного планирования строительных предприятий // Материалы XVI Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами». Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2019. Т. 1. С. 98–101.
5. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высшая школа, 2004. 341 с.
6. Галинская А.А. Модульные нейронные сети: обзор современного состояния разработок // Математические машины и системы. 2003. № 3-4. С. 87–102.
7. Логиновский, О.В. Эффективное управление организационными и производственными структурами: моногр. / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко и др. М.: Инфра-М, 2020. 450 с. (Научная мысль). ISBN 978-5-16-016217-1. DOI: 10/12737/1087996
8. Вапник В.Н. Восстановление зависимости по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979. 295 с.
9. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. 2-е изд. М.: Вильямс, 2005. 1296 с.
10. Белоусов В.Е., Абросимов И.П., Губина О.В. Алгоритм идентификации состояний многоуровневой технической системы с использованием расплывчатых категорий модели представления знаний // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 3. С. 124–129.

11. Белоусов В.Е., Нижегородов К.И., Соха И.С. Алгоритмы получения упорядоченных правил предпочтения в задачах принятия решений при планировании производственных программ // Управление строительством. 2019. № 1 (14). С. 105–110.
12. Jordan M.I. Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine // The Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Amherst, MA, 1986. P. 531–546.
13. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: учеб. М.: Финансы и статистика, 2001. С. 203–211.
14. Губко М.В., Караваев А.П. Согласование интересов в матричных структурах управления // Автоматика и телемеханика. 2001. № 10. С. 132–146.
15. Hart O., Holmstrom B. The Theory of Contracts // Advances in Economic Theory – 5th World Congress. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. P. 71–155.

References

1. Rossikhina L.V. [Tasks and methods of operational management of the program]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya*. 2015;1.2(15):260–266. (In Russ.)
2. Averina T.A., Polovinkina A.I., Shymarin V.V. Management of risks in the conditions of innovative development of organization. *Bulletin of Voronezh state technical university*. 2009;5(5):87–89. (In Russ.)
3. Barkalov S.A., Burkov V.N., Porjadina V.L. Mechanisms of active examination in problems complex estimation. *Bulletin of Voronezh state technical university*. 2009;5(6):64–66. (In Russ.)
4. Belousov V.E., Barkalov S.A., Nizhegorodov K.A. [Resource timing analysis in problems of scheduling of the construction enterprises]. In: *Materials of the XVI All-Russian school conference of young scientists "Management of big systems"*. Tambov: Tambov State Technical University Publ. 2019. Vol. 1. P. 98–101. (In Russ.)
5. Gorelik A.L., Skripkin V.A. *Metody raspoznavaniya* [Recognition methods]. Moscow: Vysshaya shkola, 2004. 341 p. (In Russ.)
6. Galinskaya A.A. [Modular neural networks: review of the current state of developments]. *Mathematical machines and systems*. 2003;(3-4):87–102. (In Russ.)
7. Loginovskiy O.V., Gollay A.V., Dranko O.I., Shestakov A.L., Shinkarev A.A. *The effective management of organizational and production structures. Monograph*. Moscow: Infra-M Publ., 2020. 456 p. (In Russ.) ISBN 978-5-16-016217-1. DOI: 10.12737/1087996
8. Vapnik V.N. *Vosstanovlenie zavisimosti po empiricheskim dannym* [Recovery of dependence according to empirical data]. Moscow: Nauka, 1979. 295 p. (In Russ.)
9. Cormen T., Leiserson Ch., Rivest R., Stein C. *Introduction to Algorithms*. Transl. from Engl. 2nd ed. Moscow: Williams, 2005. 1296 p. (In Russ.)
10. Belousov V.E., Abrosimov I.P., Gubina O.V. [An algorithm of identification of conditions of a multilevel technical system with use of indistinct categories of model of representation of knowledge]. *Proceedings of Voronezh state university. Series: Systems analysis and information technologies*. 2017;(3):124–129. (In Russ.)
11. Belousov V.E., Nizhegorodov K.I., Soha I.S. Algorithms of obtaining the ordered rules of preference in problems of decision-making when planning production programs. *Upravleniye stroitel'stvom*. 2019;1(14):105–110. (In Russ.)
12. Jordan M.I. Attractor dynamics and parallelism in a connectionist sequential machine. In: *The Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Amherst, MA, 1986. P. 531–546.
13. Afanas'ev V.N., Yuzbashev M.M. *Analiz vremennykh ryadov i prognozirovanie: uchebnik* [Analysis of time series and forecasting. Textbook]. Moscow: Finansy i statistika, 2001. P. 203–211. (In Russ.)
14. Gubko M.V., Karavaev A.P. Interest reconciliation in matrix control structures. *Automation and Remote Control*. 2001;62(10):1658–1672. DOI: 10.1023/A:1012414500272
15. Hart O., Holmstrom B. The Theory of Contracts. In: *Advances in Economic Theory – 5th World Congress*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. P. 71–155.

Информация об авторах

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; bsa610@yandex.ru.

Белоусов Алексей Вадимович, аспирант кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; alexbelousov19@yandex.ru.

Пужанова Екатерина Олеговна, аспирант кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; pujanova@icloud.com.

Information about the authors

Sergey A. Barkalov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; bsa610@yandex.ru.

Alexey V. Belousov, Postgraduate student of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; alexbelousov19@yandex.ru.

Ekaterina O. Puzhanova, Postgraduate student of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; pujanova@icloud.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.02.2025

The article was submitted 10.02.2025