AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.377

А.К. Иванов

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕШЕНИЙ В ОРГАНАХ УПРАВЛЕНИЯ

Иванов Александр Куприянович, доктор технических наук, окончил физический факультет Иркутского государственного университета, аспирантуру Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана, докторантуру Ульяновского государственного технического университета. Главный научный сотрудник ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет монографии, учебное пособие, статьи в области математического моделирования иерархических АСУ реального времени. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

Процесс формирования решений оперативным составом органов управления представлен взаимодействием трех видов информационных ресурсов: исходных данных об обстановке, поступающих в систему управления; информационных ресурсов базы знаний системы; информационных ресурсов профессионального опыта конкретного лица, принимающего решения (ЛПР). В результате взаимодействия получается массив информационных ресурсов решения. В качестве математической модели взаимодействия по аналогии с химическими реакциями предложена дифференциальная модель реакции второго порядка, если учитывать два вида информационных ресурсов, или дифференциальная модель реакции третьего порядка при учете всех видов информационных ресурсов. Методом неопределенных коэффициентов найдены аналитические решения зависимостей констант скоростей реакций от времени, объемов взаимодействующих ресурсов и объема результатов решения. Разработан механизм взаимодействия, включающий просмотр всего информационного пространства и выбор наиболее перспективных сочетаний, образующих выходной результат. На основе данного механизма описаны два пути получения решения: медленный путь решения путем последовательного перебора всех сочетаний; быстрый творческий процесс получения результатов на основе интуиции ЛПР путем параллельного выполнения части операций.

Ключевые слова: органы управления, принятие решений, математическая модель.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-2-60-4-16

THE MODEL OF INFORMATIONAL INTERACTION IN THE GENERATION OF DECISIONS BY COMMAND UNITS

Aleksandr Kupriyanovich Ivanov, Doctor of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Physics at Irkutsk State University, completed his postgraduate studies at Bauman Moscow Technical School, doctoral

studies at Ulyanovsk State Technical University, Chief Staff Scientist of FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of monographs, tutorial, articles in the field of the mathematical modeling of hierarchical real-time computer-aided control systems. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

The article describes the process of decision generation performed by the operations staff of a command unit as an interaction of three types of information resources, i.e. raw situation information, incoming to the system of control; information resources of knowledge base of the system; and information resources of the decision-maker experience. Such interaction encompasses an amount of decision information recourses. The differential model of the second-order reaction is suggested as a mathematical model of interaction similarly to a chemical reaction, if two types of information resources are considered; and the differential model of the third-order reaction, if all types of information resources are considered. The method of undetermined coefficients was used to find the analytical solutions of relation between the reaction rate constant and time, volume of interacting resources, and volume of solution results. An interaction mechanism was developed to provide review of the whole information space and selecting of the most promising combinations comprising the final result. Based on this mechanism two methods of finding a solution were described as follows: a slow one that sorts out all combinations in a sequential order, or a quick creative one based on the intuition of a decision-maker who performs a part of operations simultaneously.

Key words: command unit, decision-making, mathematical model.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация работы должностных лиц органов управления требует конструктивного анализа мышления, нахождения основных закономерностей. Для этого необходимо иметь формальное описание функций, выполняемых людьми, и на этой базе в процессе последовательного приближения создавать все более точные и подробные функциональные модели [1]. Для автоматизации требуется эффективная модель, которую можно было бы – полностью или частично – воспроизвести на ЭВМ.

Задача автоматизации – помочь человеку не только действовать, но и мыслить, в частности принимать решения. И без предположения о том, что процесс мышления можно в какой-то части воспроизвести, ничего не удастся сделать. По этой причине «разум» и «мышление» необходимо толковать расширительно.

В [2] модель принятия решений построена на аналогии интеллектуальной деятельности должностных лиц органов управления с работой изобретателей, описанной с точки зрения теории катастроф. Формирование решения представлено движением в потенциальном поле, имеющем два минимума. Первый минимум соответствует исходным данным, второй – полученным выводам. Для перехода должен быть преодолен потенциальный барьер путем проведения определенных исследований с накоплением знаний. В качестве математической модели преобразования исходных данных и формирования решений предложена система линейных дифференциальных уравнений. Скачкообразный этап перехода из одного устойчивого состояния в другое описан моделью цепных реакций.

В данной статье рассматриваются некоторые направления развития предложенной модели. Процесс формирования решений оперативным составом орга-

нов управления представляется взаимодействием трех видов информационных ресурсов: исходных данных об обстановке, поступающих в систему управления; информационных ресурсов базы знаний системы; информационных ресурсов профессионального опыта лиц, принимающих решения (ЛПР). В результате взаимодействия получается массив информационных ресурсов решения. Математической моделью взаимодействия может быть дифференциальная модель реакции второго порядка, если учитывать два вида информационных ресурсов, или дифференциальная модель реакции третьего порядка при учете всех видов информационных ресурсов. Методом неопределенных коэффициентов находится аналитическое решение зависимости константы скорости реакции от времени, объемов взаимодействующих ресурсов и объема результатов решения [3]. Механизм взаимодействия предполагает просмотр всего информационного пространства и выбор наиболее перспективных сочетаний, образующих выходной результат. Такой механизм позволяет описать два пути получения решения: медленный, но верный способ решения путем последовательного перебора всех сочетаний; быстрый творческий процесс получения результатов на основе интуиции ЛПР путем параллельного выполнения части операций. Учитывая, что ряд специалистов считает отличие мышления человека от работы ЭВМ в том, что в мозгу человека большое количество операций выполняется параллельно, а современные кибернетические системы работают в основном последовательно или с относительно небольшим количеством параллельных операций, такой подход вполне оправдан [4]. Характерным формальным свойством творческого мышления является пороговый переход, качественный скачок при достижении определенного уровня. Очень часто процесс происходит в подсознании, не контролируется ЛПР и воспринимается как озарение. В терминах теории

катастроф это будет простой и наглядный механизм перехода в другое состояние.

1 Модель решения со взаимодействием исходных данных и базы знаний

Построенная в [2] математическая модель последовательного преобразования исходных данных в решения в виде системы линейных дифференциальных уравнений не учитывала наличия в органе управления информационных ресурсов, образующих базу знаний [5]. База знаний представляет собой систематизированные сведения о проблемной области органа управления, используемые в практической деятельности. Формирование решений происходит путем взаимодействия исходных данных и базы знаний. При этом возможны следующие варианты: один информационный ресурс взаимодействует с одним информационным ресурсом базы знаний, в результате образуется один информационный ресурс решения; один информационный ресурс базы знаний взаимодействует с несколькими информационными ресурсами исходных данных, в результате образуется один информационный ресурс решения (рис. 1, 2).

Рис. 1. Схема первого варианта взаимодействия исходных данных и базы знаний

Рис. 2. Схема второго варианта взаимодействия исходных данных и базы знаний

Для построения математической модели первого варианта взаимодействия исходных данных и базы знаний используем аналогию с химическими реакциями второго порядка [3]. Пусть a_1 и a_2 – начальные объемы информационных ресурсов исходных данных и базы знаний; x – число образованных при взаимодействии результатов решения. Считаем, что информационные ресурсы взаимодействуют один раз и в последующих преобразованиях не участвуют. Содержание взаимодействия не раскрывается, находится только кинетика преобразования.

В момент времени t скорость преобразования будет $\frac{dx}{dt}$. Действующий объем исходных данных равен

$a_1 - x$; действующий объем базы знаний равен

$a_2 - x$. Так как скорость преобразования $\frac{dx}{dt}$ пропорциональна величинам $a_1 - x$ и $a_2 - x$, то она пропорциональна также их произведению. Поэтому кинетика преобразования по закону действующих масс выразится дифференциальным уравнением реакции второго порядка [6]:

$$\frac{dx}{dt} = k(a_1 - x)(a_2 - x),$$

$$\frac{dx}{(a_1 - x)(a_2 - x)} = kdt,$$

где k – константа скорости реакции.

Рациональную дробь в левой части последнего равенства интегрируем методом неопределенных коэффициентов:

$$\int \frac{dx}{(a_1 - x)(a_2 - x)} = \int \frac{m}{(a_1 - x)} dx + \frac{n}{(a_2 - x)} dx;$$

$$m(a_2 - x) + n(a_1 - x) = 1;$$

$$-m - n = 0;$$

$$a_2 m + a_1 n = 1.$$

Решая эту систему относительно неопределенных коэффициентов m и n , имеем:

$$m = \frac{1}{a_2 - a_1}, \quad n = \frac{1}{a_1 - a_2}.$$

Подставляя значения коэффициентов в интегралы, получим:

$$\begin{aligned} \int \frac{m}{(a_1 - x)} dx + \int \frac{n}{(a_2 - x)} dx &= \\ &= \frac{1}{a_1 - a_2} \int \frac{d(a_1 - x)}{a_1 - x} - \frac{1}{a_1 - a_2} \int \frac{d(a_2 - x)}{a_2 - x} = \\ &= \frac{1}{a_1 - a_2} [\ln(a_1 - x) - \ln(a_2 - x)] = \\ &= \frac{1}{a_1 - a_2} \ln \frac{a_1 - x}{a_2 - x}. \end{aligned}$$

После подставления полученного значения в исходное уравнение и интегрирования его правой части общий интеграл имеет следующий вид:

$$\frac{1}{a_1 - a_2} \ln \frac{a_1 - x}{a_2 - x} = kt + C.$$

Начальное условие: при $t = 0$ $x = 0$. Откуда

$$\frac{1}{a_1 - a_2} \ln \frac{a_1 - 0}{a_2 - 0} = k \cdot 0 + C, \quad C = \frac{1}{a_1 - a_2} \ln \frac{a_1}{a_2}.$$

Искомые зависимости реакции получаются путем подстановки значения постоянной интегрирования в общее решение:

$$k = \frac{1}{t(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_2(a_1 - x)}{a_1(a_2 - x)},$$

$$t = \frac{1}{k(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_2(a_1 - x)}{a_1(a_2 - x)},$$

$$x = \frac{a_2 \cdot A - a_1}{A - 1},$$

$$A = \frac{a_1}{a_2} e^{kt(a_1 - a_2)}.$$

Графики зависимостей приведены на рисунке 3.

Рис. 3. Графики зависимостей при взаимодействии исходных данных и базы знаний

При построении математической модели второго варианта взаимодействия также используем аналогию с химическими реакциями второго порядка, учитывая, что один ресурс базы знаний взаимодействует с n ресурсами исходных данных.

В момент времени t скорость реакции будет $\frac{dx}{dt}$. Действующий объем информационных ресурсов исходных данных равен $a_1 - nx$; действующий объем информационных ресурсов базы знаний равен $a_2 - x$.

Так как скорость реакции $\frac{dx}{dt}$ пропорциональна величинам $a_1 - nx$ и $a_2 - x$, то она пропорциональна также их произведению. Поэтому кинетика преобразования по закону действующих масс выразится дифференциальным уравнением реакции второго порядка:

$$\frac{dx}{dt} = k(a_1 - nx)(a_2 - x),$$

$$\frac{dx}{(a_1 - nx)(a_2 - x)} = k dt.$$

Рациональную дробь в левой части последнего равенства интегрируем методом неопределенных коэффициентов:

$$\begin{aligned} \int \frac{dx}{(a_1 - nx)(a_2 - x)} &= \\ &= \int \frac{m_1}{(a_1 - nx)} dx + \int \frac{m_2}{(a_2 - x)} dx; \end{aligned}$$

$$m_1(a_2 - x) + m_2(a_1 - nx) = 1;$$

$$-m_1 - m_2n = 0;$$

$$a_2m_1 + a_1m_2n = 1.$$

Решая эту систему относительно неопределенных коэффициентов m_1 и m_2 , имеем:

$$m_1 = -m_2n;$$

$$-a_2m_2n + a_1m_2n = 1;$$

$$m_1 = \frac{1}{a_2 - a_1}, \quad m_2 = \frac{1}{n(a_1 - a_2)}.$$

Подставляя значения коэффициентов в интегралы, получим:

$$\begin{aligned} \int \frac{m_1}{(a_1 - nx)} dx + \int \frac{m_2}{(a_2 - x)} dx &= \\ &= \frac{1}{n(a_1 - a_2)} \int \frac{d(a_1 - nx)}{a_1 - nx} - \\ &- \frac{1}{n(a_1 - a_2)} \int \frac{d(a_2 - x)}{a_2 - x} = \\ &= \frac{1}{n(a_1 - a_2)} [\ln(a_1 - nx) - \ln(a_2 - x)] = \\ &= \frac{1}{n(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_1 - nx}{a_2 - x}. \end{aligned}$$

После подставления полученного значения в исходное уравнение и интегрирования его правой части общий интеграл имеет следующий вид:

$$\frac{1}{n(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_1 - nx}{a_2 - x} = kt + C.$$

Начальное условие: при $t = 0$ $x = 0$. Откуда

$$\frac{1}{n(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_1 - n0}{a_2 - 0} = k \cdot 0 + C,$$

$$C = \frac{1}{n(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_1}{a_2}.$$

Искомые зависимости реакции получаются путем подстановки значения постоянной интегрирования в общее решение:

$$k = \frac{1}{tn(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_2(a_1 - nx)}{a_1(a_2 - x)},$$

$$t = \frac{1}{kn(a_1 - a_2)} \ln \frac{a_2(a_1 - nx)}{a_1(a_2 - x)},$$

$$x = \frac{a_1 - a_2 \cdot A}{n - A}, \quad A = \frac{a_1}{a_2} e^{ktn(a_1 - a_2)}.$$

Графики зависимостей приведены на рисунке 4.

Рис. 4. Графики зависимостей при взаимодействии n информационных ресурсов исходных данных с одним информационным ресурсом базы знаний

2 Модель решения со взаимодействием исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР

В общем случае решения в органе управления формируется ЛПР на основе изучения исходных данных, использования базы знаний системы управления и собственных интуиции, знаний и профессиональных навы-

ков. Таким образом, имеются три взаимодействующих массива информационных ресурсов. Здесь возможны различные варианты взаимодействия по числу ресурсов от каждого массива в одной реакции. Будем рассматривать, как и в первом разделе, два варианта. В первом варианте взаимодействуют по одному ресурсу каждого массива. Во втором варианте один ресурс базы знаний и один ресурс ЛПР взаимодействуют с произвольным количеством ресурсов исходных данных. Схемы взаимодействия приведены на рисунках 5 и 6.

Рис. 5. Схема первого варианта взаимодействия исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР

Рис. 6. Схема второго варианта взаимодействия исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР

Для построения математической модели первого варианта взаимодействия исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР используем аналогию с химическими реакциями третьего порядка [3]. Пусть a_1 , a_2 и a_3 – начальные объемы информационных ресурсов исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР; x – число образованных при взаимодействии результатов решения. Считаем,

что информационные ресурсы взаимодействуют один раз и в последующих преобразованиях не участвуют. Содержание взаимодействия не раскрывается, находится только кинетика преобразования.

В момент времени t скорость преобразования будет $\frac{dx}{dt}$. Действующий объем исходных данных равен

$a_1 - x$; действующий объем базы знаний равен $a_2 - x$, действующий объем опыта ЛПР равен $a_3 - x$. Так как

скорость преобразования $\frac{dx}{dt}$ пропорциональна вели-

чинам $a_1 - x$, $a_2 - x$ и $a_3 - x$, то она пропорциональна также их произведению. Поэтому кинетика преобразования по закону действующих масс выразится дифференциальным уравнением реакции третьего порядка:

$$\frac{dx}{dt} = k(a_1 - x)(a_2 - x)(a_3 - x),$$

$$\frac{dx}{(a_1 - x)(a_2 - x)(a_3 - x)} = kdt.$$

Рациональную дробь в левой части последнего равенства интегрируем методом неопределенных коэффициентов:

$$\begin{aligned} \int \frac{dx}{(a_1 - x)(a_2 - x)(a_3 - x)} &= \\ &= \int \frac{m_1}{(a_1 - x)} dx + \int \frac{m_2}{(a_2 - x)} dx + \\ &+ \int \frac{m_3}{(a_3 - x)} dx = kt + C; \\ m_1(a_2 - x)(a_3 - x) + m_2(a_1 - x)(a_3 - x) + \\ &+ m_3(a_1 - x)(a_2 - x) = 1. \end{aligned}$$

Приравнявая соответствующие коэффициенты при неизвестных и свободные члены в обеих частях равенства, получаем систему уравнений:

$$m_1 a_2 a_3 + m_2 a_1 a_3 + m_3 a_1 a_2 = 1;$$

$$m_1(a_2 + a_3) + m_2(a_1 + a_3) + m_3(a_1 + a_2) = 0;$$

$$m_1 + m_2 + m_3 = 0.$$

Решая эту систему относительно неопределенных коэффициентов m_1, m_2, m_3 , имеем:

$$m_3 = -m_1 - m_2;$$

$$m_1(a_2 + a_3) + m_2(a_1 + a_3) + (-m_1 - m_2)(a_1 + a_2) = 0;$$

$$m_2 = -\frac{m_1(a_3 - a_1)}{(a_3 - a_2)};$$

$$m_3 = \frac{m_1(a_2 - a_1)}{(a_3 - a_2)};$$

$$m_1 a_2 a_3 - \frac{m_1(a_3 - a_1)}{(a_3 - a_2)} a_1 a_3 + \frac{m_1(a_2 - a_1)}{(a_3 - a_2)} a_1 a_2 = 1;$$

$$m_1(a_1 - a_2)(a_3 - a_1)(a_3 - a_2) = (a_3 - a_2);$$

$$m_1 = \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_3 - a_1)};$$

$$m_2 = \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)};$$

$$m_3 = \frac{1}{(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)}.$$

Подставляя значения коэффициентов в интегралы, получим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_3 - a_1)} \int \frac{d(a_1 - x)}{a_1 - x} + \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)} \int \frac{d(a_2 - x)}{a_2 - x} + \\ + \frac{1}{(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)} \int \frac{d(a_3 - x)}{a_3 - x} = k \int dt + C; \\ \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_3 - a_1)} \ln(a_1 - x) + \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)} \ln(a_2 - x) + \frac{1}{(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)} \ln(a_3 - x) = kt + C. \end{aligned}$$

Начальное условие: при $t = 0$ $x = 0$. Откуда

$$\frac{1}{(a_1 - a_2)(a_3 - a_1)} \ln(a_1 - 0) + \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)} \ln(a_2 - 0) + \frac{1}{(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)} \ln(a_3 - 0) = k \cdot 0 + C;$$

$$C = \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_3 - a_1)} \ln a_1 + \frac{1}{(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)} \ln a_2 + \frac{1}{(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)} \ln a_3.$$

В итоге после выполнения преобразований общее решение будет иметь следующий вид:

$$k = \frac{\ln \left(\frac{a_1 - x}{a_1} \right)^{a_2 - a_3} + \ln \left(\frac{a_2 - x}{a_2} \right)^{a_3 - a_1} + \ln \left(\frac{a_3 - x}{a_3} \right)^{a_1 - a_2}}{t(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)};$$

$$t = \frac{\ln \left(\frac{a_1 - x}{a_1} \right)^{a_2 - a_3} + \ln \left(\frac{a_2 - x}{a_2} \right)^{a_3 - a_1} + \ln \left(\frac{a_3 - x}{a_3} \right)^{a_1 - a_2}}{k(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)}.$$

Графики зависимостей представлены на рисунке 7.

Рис. 7. Графики зависимостей первого варианта взаимодействия исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР

При построении математической модели второго варианта взаимодействия также используем аналогию с химическими реакциями третьего порядка, учитывая, что один ресурс базы знаний и один ресурс опыта ЛПР взаимодействуют с n ресурсами исходных данных.

В момент времени t скорость реакции будет $\frac{dx}{dt}$.

Действующий объем информационных ресурсов исходных данных равен $a_1 - nx$; действующий объем информационных ресурсов базы знаний равен $a_2 - x$, действующий объем ресурсов опыта ЛПР равен $a_3 - x$.

Так как скорость реакции $\frac{dx}{dt}$ пропорциональна величинам

$a_1 - nx$, $a_2 - x$ и $a_3 - x$, то она пропорциональна также их произведению. Поэтому кинетика преобразования по закону действующих масс выразится дифференциальным уравнением реакции третьего порядка:

$$\frac{dx}{dt} = k(a_1 - nx)(a_2 - x)(a_3 - x),$$

$$\frac{dx}{(a_1 - nx)(a_2 - x)(a_3 - x)} = kdt.$$

Рациональную дробь в левой части последнего равенства интегрируем методом неопределенных коэффициентов:

$$\begin{aligned} \int \frac{dx}{(a_1 - nx)(a_2 - x)(a_3 - x)} &= \\ &= \int \frac{m_1}{(a_1 - nx)} dx + \int \frac{m_2}{(a_2 - x)} dx + \\ &+ \int \frac{m_3}{(a_3 - x)} dx = kt + C; \\ m_1(a_2 - x)(a_3 - x) + m_2(a_1 - nx)(a_3 - x) + \\ &+ m_3(a_1 - nx)(a_2 - x) = 1. \end{aligned}$$

Приравнявая соответствующие коэффициенты при неизвестных и свободные члены в обеих частях равенства, получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} m_1 a_2 a_3 + m_2 a_1 a_3 + m_3 a_1 a_2 &= 1; \\ m_1(a_2 + a_3) + m_2(a_1 + na_3) + m_3(a_1 + na_2) &= 0; \\ m_1 + m_2 n + m_3 n &= 0. \end{aligned}$$

Решая эту систему относительно неопределенных коэффициентов m_1, m_2, m_3 , имеем:

$$\begin{aligned} m_3 &= \frac{(-m_1 - m_2 n)}{n}; \\ m_1(a_2 + a_3) + m_2(a_1 + na_3) + \\ &+ \frac{(-m_1 - m_2 n)}{n}(a_1 + na_2) = 0; \end{aligned}$$

$$m_2 = \frac{m_1(a_1 - na_3)}{n^2(a_3 - a_2)};$$

$$m_3 = \frac{m_1(a_1 - na_2)}{n^2(a_2 - a_3)};$$

$$m_1 a_2 a_3 + \frac{m_1(a_1 - na_3)}{n^2(a_3 - a_2)} a_1 a_3 + \\ + \frac{m_1(a_1 - na_2)}{n^2(a_2 - a_3)} a_1 a_2 = 1;$$

$$m_1 = \frac{n^2(a_3 - a_2)}{A_1};$$

$$m_2 = \frac{(a_1 - na_3)}{A_1};$$

$$m_3 = \frac{(a_1 - na_2)}{A_1};$$

$$A_1 = a_2 a_3 n^2(a_3 - a_2) + \\ + a_1 a_3(a_1 - a_3) - a_1 a_2(a_1 - a_2).$$

Подставляя значения коэффициентов в интегралы, получим:

$$-\frac{n^2(a_3 - a_2)}{A_1} \int \frac{d(a_1 - x)}{a_1 - x} - \\ - \frac{(a_1 - na_3)}{A_1} \int \frac{d(a_2 - x)}{a_2 - x} - \\ - \frac{(a_1 - na_2)}{A_1} \int \frac{d(a_3 - x)}{a_3 - x} = \\ = k \int dt + C; \\ -\frac{n^2(a_3 - a_2)}{A_1} \ln(a_1 - x) - \\ - \frac{(a_1 - na_3)}{A_1} \ln(a_2 - x) - \\ - \frac{(a_1 - na_2)}{A_1} \ln(a_3 - x) = kt + C.$$

Начальное условие: при $t = 0$ $x = 0$. Откуда

$$-\frac{n^2(a_3 - a_2)}{A_1} \ln(a_1 - 0) - \frac{(a_1 - na_3)}{A_1} \ln(a_2 - 0) - \\ - \frac{(a_1 - na_2)}{A_1} \ln(a_3 - 0) = k \cdot 0 + C;$$

$$C = -\frac{n^2(a_3 - a_2)}{A_1} \ln a_1 - \frac{(a_1 - na_3)}{A_1} \ln a_2 - \\ - \frac{(a_1 - na_2)}{A_1} \ln a_3.$$

В итоге после выполнения преобразований общее решение будет иметь следующий вид:

$$kt = \ln \left(\frac{a_1}{a_1 - x} \right)^{\frac{n^2(a_3 - a_2)}{A_1}} + \\ + \ln \left(\frac{a_2}{a_2 - x} \right)^{\frac{n^2(a_1 - a_3)}{A_1}} + \ln \left(\frac{a_3}{a_3 - x} \right)^{\frac{(a_3 - na_2)}{A_1}}.$$

Графики зависимостей приведены на рисунке 8.

Рис. 8. Графики зависимостей второго варианта взаимодействия исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР

3 ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

Для описания упрощенного механизма информационного взаимодействия в органе управления полагаем, что существуют определенные сочетания информационных ресурсов всех видов, обеспечивающие получение решения. Возможны различные способы взаимодействия:

- конкретные информационные ресурсы исходных данных заносят в соответствующие разделы шаблонов документов из базы знаний, сформированный документ является искомым решением;
- информационные ресурсы исходных данных являются входными данными расчетных задач из базы знаний, решением будут результаты расчетов;
- информационные ресурсы исходных данных являются входными данными оптимизационных моделей из базы знаний, оптимальное значение целевой функции образует решение;
- путем заданного алгоритма из базы знаний информационные ресурсы исходных данных преобразуются в конкретные информационные ресурсы решения;

- на основе творческого анализа конкретных информационных ресурсов исходных данных, информационных ресурсов базы знаний с использованием интуиции и знаний ЛПР устанавливаются соответствующие решения.

Все способы взаимодействия предполагают выполнение достаточно трудоемкой процедуры просмотра информационного пространства из трех массивов и выбора наиболее перспективных сочетаний, образующих выходной результат. При взаимодействии исходных данных и базы знаний просмотр и выбор заключаются в том, что для каждого информационного ресурса базы знаний путем перебора устанавливается один или несколько информационных ресурсов исходных данных, наиболее перспективных с точки зрения получения тем или иным способом информационного ресурса решения. В случае взаимодействия исходных данных, базы знаний и опыта ЛПР поиск заключается в установлении наиболее перспективного сочетания информационных ресурсов трех видов, причем может быть несколько информационных ресурсов исходных данных. Процесс по-

иска может выполняться последовательно или параллельно, когда одновременно для всех информационных ресурсов базы знаний производятся проверки по всему массиву исходных данных. Исследование определенной комбинации информационных ресурсов на пригодность для генерации решения в большинстве случаев не поддается автоматизации и выполняется ЛПР с различными интеллектуальными усилиями в зависимости от способа взаимодействия. В начале работ по кибернетике часто в разных аспектах проводились прямые параллели между мозгом и вычислительной машиной. Так очень часто, сравнивая мозг и вычислительную машину, в качестве важного различия говорили, что ЭВМ – это последовательный вычислитель, а мозг – огромный, включающий 140 млрд. нейронов, параллельный [7]. Таким образом, возможна параллельная работа в под-сознании ЛПР, приводящая к относительно быстрому получению выводов. В терминах теории катастроф это будет простой и наглядный механизм перехода в другое состояние [8].

Схема последовательного преобразования информации с использованием базы знаний имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
&(a_{11}, a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{21}) \rightarrow x_{1i21} \rightarrow \\
&\rightarrow (a_{11}, a_{22}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{22}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{22}) \rightarrow x_{1i22} \rightarrow \\
&\rightarrow \dots \rightarrow \\
&\rightarrow (a_{11}, a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{2n}) \rightarrow x_{1i2n},
\end{aligned}$$

где a_{li} – i -й информационный ресурс исходных данных;
 a_{2j} – j -й информационный ресурс базы знаний;
 m – количество информационных ресурсов исходных данных;

n – количество информационных ресурсов базы знаний;

x_{12ij} – информационный ресурс решения при взаимодействии i -го информационного ресурса исходных данных с j -м информационным ресурсом базы знаний.

Время поиска решения:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{1i2j},$$

где t_{12j} – время взаимодействия i -го информационного ресурса исходных данных с j -м информационным ресурсом базы знаний.

Схема последовательного выбора при взаимодействии информационного ресурса базы знаний с двумя информационными ресурсами исходных данных:

$$\begin{aligned} & ((a_{11}, a_{11}), a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{11}, a_{1i}), a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{11}, a_{1m}), a_{21}) \rightarrow x_{111i21} \rightarrow \\ & \rightarrow ((a_{12}, a_{11}), a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{12}, a_{1i}), a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{12}, a_{1m}), a_{21}) \rightarrow x_{121i21} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & \rightarrow ((a_{1m}, a_{11}), a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{1m}, a_{1i}), a_{21}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{1m}, a_{1m}), a_{21}) \rightarrow x_{1m1i21} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & ((a_{11}, a_{11}), a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{11}, a_{1i}), a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{11}, a_{1m}), a_{2n}) \rightarrow x_{111i2n} \rightarrow \\ & \rightarrow ((a_{12}, a_{11}), a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{12}, a_{1i}), a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{12}, a_{1m}), a_{2n}) \rightarrow x_{121i2n} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \end{aligned}$$

$$\rightarrow ((a_{1m}, a_{11}), a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{1m}, a_{1i}), a_{2n}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{1m}, a_{1m}), a_{2n}) \rightarrow x_{1m1i2n},$$

где x_{1i1j2u} – информационный ресурс решения при взаимодействии i -го и j -го информационных ресурсов с u -м информационным ресурсом базы знаний.

Время поиска решения:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^n t_{1i1j2u},$$

где t_{1i1j2u} – время взаимодействия i -го и j -го информационных ресурсов исходных данных с u -м информационным ресурсом базы знаний.

Схема последовательного выбора с использованием базы знаний и опыта ЛПР, взаимодействующих с одним ресурсом исходных данных:

$$\begin{aligned} & (a_{11}, a_{21}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{21}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{21}, a_{31}) \rightarrow x_{1i2131} \rightarrow \\ & \rightarrow (a_{11}, a_{22}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{22}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{22}, a_{31}) \rightarrow x_{1i2231} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & \rightarrow (a_{11}, a_{2n}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{2n}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{2n}, a_{31}) \rightarrow x_{1i2n31} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & \rightarrow (a_{11}, a_{21}, a_{3k}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{21}, a_{3k}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{21}, a_{3k}) \rightarrow x_{1i213k} \rightarrow \\ & \rightarrow (a_{11}, a_{22}, a_{3k}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{22}, a_{3k}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{22}, a_{3k}) \rightarrow x_{1i223k} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & \rightarrow (a_{11}, a_{2n}, a_{3k}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1i}, a_{2n}, a_{3k}) \rightarrow \dots \rightarrow (a_{1m}, a_{2n}, a_{3k}) \rightarrow x_{1i2n3k}, \end{aligned}$$

где a_{1i} – i -й информационный ресурс исходных данных;
 a_{3i} – i -й информационный ресурс опыта ЛПР;
 k – количество информационных ресурсов опыта ЛПР;

x_{1i2j3u} – информационный ресурс решения при взаимодействии i -го информационного ресурса исходных данных с j -м информационным ресурсом базы знаний и u -м информационным ресурсом опыта ЛПР.

Время решения:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{u=1}^k t_{1i1j2u},$$

где t_{1i1j2u} – время взаимодействия i -го информационного ресурса исходных данных с j -м информационным ресурсом базы знаний и u -м информационным ресурсом опыта ЛПР.

Схема последовательного выбора с использованием базы знаний и опыта ЛПР, взаимодействующих с двумя ресурсами исходных данных:

$$\begin{aligned} & ((a_{11}, a_{11}), a_{21}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{11}, a_{1m}), a_{21}, a_{31}) \rightarrow x_{111i2131} \rightarrow \\ & \rightarrow ((a_{12}, a_{11}), a_{21}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{12}, a_{1m}), a_{21}, a_{31}) \rightarrow x_{121i2131} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & \rightarrow ((a_{1m}, a_{11}), a_{21}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{1m}, a_{1m}), a_{21}, a_{31}) \rightarrow x_{1m1i2131} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & ((a_{11}, a_{11}), a_{2n}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{11}, a_{1m}), a_{2n}, a_{31}) \rightarrow x_{111i2n31} \rightarrow \\ & \rightarrow ((a_{12}, a_{11}), a_{2n}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{12}, a_{1m}), a_{2n}, a_{31}) \rightarrow x_{121i2n31} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \\ & \rightarrow ((a_{1m}, a_{11}), a_{2n}, a_{31}) \rightarrow \dots \rightarrow ((a_{1m}, a_{1m}), a_{2n}, a_{31}) \rightarrow x_{1m1i2n31} \rightarrow \\ & \rightarrow \dots \rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left((a_{11}, a_{11}), a_{21}, a_{3k} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \left((a_{11}, a_{1m}), a_{21}, a_{3k} \right) \rightarrow x_{111i213k} \rightarrow \\
& \rightarrow \left((a_{12}, a_{11}), a_{21}, a_{3k} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \left((a_{12}, a_{1m}), a_{21}, a_{3k} \right) \rightarrow x_{121i213k} \rightarrow \\
& \rightarrow \dots \rightarrow \\
& \rightarrow \left((a_{1m}, a_{11}), a_{21}, a_{3k} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \left((a_{1m}, a_{1m}), a_{21}, a_{3k} \right) \rightarrow x_{1m1i213k} \rightarrow \\
& \rightarrow \dots \rightarrow \\
& \left((a_{11}, a_{11}), a_{2n}, a_{3k} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \left((a_{11}, a_{1m}), a_{2n}, a_{3k} \right) \rightarrow x_{111i2n3k} \rightarrow \\
& \rightarrow \left((a_{12}, a_{11}), a_{2n}, a_{3k} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \left((a_{12}, a_{1m}), a_{2n}, a_{3k} \right) \rightarrow x_{121i2n3k} \rightarrow \\
& \rightarrow \dots \rightarrow \\
& \rightarrow \left((a_{1m}, a_{11}), a_{2n}, a_{3k} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \left((a_{1m}, a_{1m}), a_{2n}, a_{3k} \right) \rightarrow x_{1m1i2n3k},
\end{aligned}$$

где $x_{1ilj2u3v}$ – информационный ресурс решения при взаимодействии i -го и j -го информационных ресурсов исходных данных с u -м информационным ресурсом базы знаний и v -м информационным ресурсом опыта ЛПР.

Время решения:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^n \sum_{v=1}^k t_{1i1j2u3v},$$

где $t_{i1j2u3v}$ – время взаимодействия i -го и j -го информационных ресурсов исходных данных с u -м информационным ресурсом базы знаний и v -м информационным ресурсом опыта ЛПР.

Схема параллельного преобразования со взаимодействием одного информационного ресурса исходных данных с одним информационным ресурсом базы знаний имеет следующий вид:

$$\left[\begin{array}{c} (a_{11}, a_{21}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1i}, a_{21}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1m}, a_{21}) \\ \downarrow \\ x_{1i21} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} (a_{11}, a_{2u}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1i}, a_{2u}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1m}, a_{2u}) \\ \downarrow \\ x_{1i2u} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} (a_{11}, a_{2n}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1i}, a_{2n}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1m}, a_{2n}) \\ \downarrow \\ x_{1i2n} \end{array} \right].$$

Время решения:

$$T = \max \left\{ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^m t_{1i21} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m t_{1i2u} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m t_{1i2n} \end{array} \right\}.$$

Схема параллельного выбора при взаимодействии информационного ресурса базы знаний с двумя информационными ресурсами исходных данных имеет следующий вид:

$$\left[\begin{array}{c} ((a_{11}, a_{11}), a_{21}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1i}, a_{1j}), a_{21}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1m}, a_{1m}), a_{21}) \\ \downarrow \\ x_{1i1j21} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} ((a_{11}, a_{11}), a_{2u}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1i}, a_{1j}), a_{2u}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1m}, a_{1m}), a_{2u}) \\ \downarrow \\ x_{1i1j2u} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} ((a_{11}, a_{11}), a_{2n}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1i}, a_{1j}), a_{2n}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1m}, a_{1m}), a_{2n}) \\ \downarrow \\ x_{1i1j2n} \end{array} \right]$$

Время решения:

$$T = \max \left\{ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{1i1j21} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{1i1j2u} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{1i1j2n} \end{array} \right\}.$$

Схема параллельного выбора с использованием базы знаний и опыта ЛПР, взаимодействующих с одним информационным ресурсом исходных данных, имеет следующий вид:

$$\left[\begin{array}{c} (a_{11}, a_{21}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1i}, a_{21}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1m}, a_{21}, a_{31}) \\ \downarrow \\ x_{1i2131} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} (a_{11}, a_{2n}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1i}, a_{2n}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1m}, a_{2n}, a_{31}) \\ \downarrow \\ x_{1i2n31} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} (a_{11}, a_{2n}, a_{3k}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1i}, a_{2n}, a_{3k}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ (a_{1m}, a_{2n}, a_{3k}) \\ \downarrow \\ x_{1i2n3k} \end{array} \right].$$

Время решения:

$$T = \max \left\{ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^m t_{1i2131} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m t_{1i2n31} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m t_{1i2n3k} \end{array} \right\}.$$

Схема параллельного выбора с использованием базы знаний и опыта ЛПР, взаимодействующих с двумя ресурсами входных данных, имеет следующий вид:

$$\left[\begin{array}{c} ((a_{11}, a_{11}), a_{21}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1i}, a_{1j}), a_{21}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1m}, a_{1m}), a_{21}, a_{31}) \\ \downarrow \\ x_{1i1j2131} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} ((a_{11}, a_{11}), a_{2n}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1i}, a_{1j}), a_{2n}, a_{31}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1m}, a_{1m}), a_{2n}, a_{31}) \\ \downarrow \\ x_{1i1j2n31} \end{array} \right], \dots, \left[\begin{array}{c} ((a_{11}, a_{11}), a_{2n}, a_{3k}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1i}, a_{1j}), a_{2n}, a_{3k}) \\ \vdots \\ \downarrow \\ \vdots \\ ((a_{1m}, a_{1m}), a_{2n}, a_{3k}) \\ \downarrow \\ x_{1i1j2n3k} \end{array} \right].$$

Время решения:

$$T = \max \left\{ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{1i1j2131} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{1i1j2n31} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{1i1j2n3k} \end{array} \right\}.$$

Возможны и другие варианты параллельного выполнения информационного взаимодействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество принимаемых решений должностными лицами органов управления пропорционально объемам взаимодействующих информационных массивов. Объем информационных ресурсов исходных данных зависит от развитой системы первичных источников данных и средств их доведения до органа управления. Состояние базы знаний определяется функцио-

нированием системы управления знаниями. Управление знаниями – это комбинация отдельных аспектов управления персоналом, инновационного и коммуникационного менеджмента, а также использование новых информационных технологий в управлении организациями [9, 10]. Опыт ЛПР – это его профессиональные навыки и творческие способности, вырабатываемые в процессе обучения и выполнения должностных обязанностей. Автоматизация процессов информационных преобразований с целью уменьшения времени выработки решений до требуемых значений возможна при формализации выбора перспективных комбинаций информационных ресурсов всех видов. Значительный выигрыш во времени дает параллельное выполнение преобразований, что в определенной степени отражает творческую работу ЛПР по формированию решений для конкретных управленческих ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Идея, алгоритм, решение (Принятие решений и автоматизация). М. : Воениздат, 1972. 328 с.
2. Иванов А.К., Савкин А.Л. Модель принятия решений в органах управления // Автоматизация процессов управления. 2020. № 1 (59). С. 15–26.
3. Пономарев К.К. Составление дифференциальных уравнений. Минск : «Высшая школа», 1973. 560 с.
4. Шамис А.Л. Пути моделирования мышления. М. : Комкнига, 2006. 333 с.
5. Иванов А.К. Математические модели управления знаниями в проектных организациях // Автоматизация процессов управления. 2017. № 2 (48). С. 10–21.
6. Холохонова Л.И., Короткая Е.В. Кинетика химических реакций. Кемерово : Кемеровский технологический институт, 2004. 80 с.
7. Эшби У. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. М. : Иностранная литература, 1962. 398 с.
8. Бушуев А.Б. Математическое моделирование процессов технического творчества. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2010. 181 с.
9. Мильнер Б.З. Управление знаниями. Понятия, разновидности и источники знаний // Проблемы теории и практики управления. 2008. № 2. С. 107–119.
10. Иванов А.К. Математические модели управления знаниями в проектных организациях // Автоматизация процессов управления. 2017. № 2 (48). С. 10–21.

REFERENCES

1. Druzhinin V.V., Kontorov D.S. *Idea, algorithm, reshenie (Priniatie reshenii i avtomatizatsiia)* [Idea, Algorithm, Solution (Decision-Making and Automation)]. Moscow, Voenizdat Publ., 1972. 328 p.
2. Ivanov A.K., Savkin A.L. Model priniatii reshenii v organakh upravleniia [The Decision-Making Model in Management Bodies]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2020, no. 1 (59), pp. 15–26.
3. Ponomarev K.K. *Sostavlenie differentsialnykh uravnenii* [Formation of Differential Equations]. Minsk, Vysheishaia shkola Publ., 1973. 560 p.
4. Shamis A.L. *Puti modelirovaniia myshleniia* [Thinking Simulation Techniques]. Moscow, Komkniga Publ., 2006. 333 p.
5. Ivanov A.K. Matematicheskie modeli upravleniia znaniiami v proektnykh organizatsiiakh [Mathematical Models for Knowledge Management in Design Organizations]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2017, no. 2 (48), pp. 10–21.
6. Kholokhonova L.I., Korotkaia E.V. *Kinetika khimicheskikh reaktsii*. [The Kinetics of Chemical Reactions]. Kemerovo, Kemerovo State Institute Publ., 2004. 80 p.
7. W. Ross Ashby. *Konstruktsiia mozga. Proiskhozhdenie adaptivnogo povedeniia*. [Design for a Brain. The Origin of Adaptive Behavior]. Moscow, Inostrannaia Literatura Publ., 1962. 398 p.
8. Bushuev A.B. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov tekhnicheskogo tvorchestva*. [Mathematical Modelling of the Technical Creation Processes]. St. Petersburg, ITMO St. Petersburg University Publ., 2010. 181 p.
9. Milner B.Z. Upravlenie znaniiami. Poniatiia, raznovidnosti i istochniki znaniia [Knowledge Management. Definitions, Variations and Sources of Knowledge]. *Problemy teorii i praktiki upravleniia* [Considerations of Management Theory and Practice], 2008, no. 2, pp. 107–119.
10. Ivanov A.K. Matematicheskie modeli upravleniia znaniiami v proektnykh organizatsiiakh [Mathematical Models for Knowledge Management in Design Organizations]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2017, no. 2 (48), pp. 10–21.