УДК 656.022
DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-6-110-116

© *А. А. Носков*, канд. экон. наук, ген. директор
(Группа компаний «Миларин»,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: noskov.anton@melarin.ru
© *А. В. Терентьев*, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru
© *И. В. Арифуллин*, канд. техн. наук, доцент
(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет,
Москва, Россия)
E-mail: i_arifullin@mail.ru

© *A. A. Noskov*, PhD in Sci. Ec., General Director
(«Milarin» Group of Companies,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: noskov.anton@melarin.ru
© *A. V. Terentyev*, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia
E-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru
© *I. V. Arifullin*, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Moscow Automobile and Road State Technical
University, Moscow, Russia)
E-mail: i_arifullin@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

MATHEMATICAL MODEL OF QUALITY MANAGEMENT OF DECISIONS MADE IN COMPLEX SYSTEMS OF ROAD FREIGHT TRANSPORTATION

Представлена математическая модель управления качеством принимаемых решений в интеллектуальных сложных организационно-технических системах грузовых автомобильных перевозок. Разработанная модель позволяет производить обязательный ряд действий в данных системах: анализ случайных возмущений и факторов внутренней и внешней среды, действующих на систему; вывод стохастических уравнений, отражающих динамический характер системы; выбор и обоснование функционала (критерия или критериев) оптимальности и ограничений; выбор и обоснование вероятностных характеристик функционала или функционалов оптимальности; анализ, уточнение и упрощение стохастических уравнений системы в соответствии с выбранным критерием (критериями) оптимальности и ограничениями; выбор и обоснование методов статистического анализа исследуемых параметров в системе; выбор и обоснование метода сведения задачи стохастической задачи оптимизации к задачам нелинейного (линейного) программирования; выбор метода решения краевой задачи; выбор и обоснование метода поиска оптимальных значений параметров исследуемой системы.

Ключевые слова: информационная ситуация, теория принятия решений, стохастическая неопределенность, методы векторной оптимизации, многокритериальная задача, линейное и нелинейное программирование, грузовые автомобильные перевозки.

The article presents a mathematical model of managing the quality of decisions made in intelligent complex organizational and technical systems of freight road transportation. The developed model allows performing a mandatory series of actions in these systems, namely, the following: analysis of random perturbations and factors of the internal and external environment acting on the system; derivation of stochastic equations reflecting the dynamic nature of the system; selection and justification of the optimality functional (criterion or criteria) and constraints and limitations; selection and justification of probabilistic characteristics of functional or optimality functional; analysis, refinement and simplification of stochastic equations of the system in accordance with the selected optimality criterion (criteria) and limitations; selection and justification of methods for statistical analysis of studied parameters in the system; selection and justification of the method for reducing the stochastic optimization problem to nonlinear (linear) programming problems; choosing a method for solving the boundary problem; selection and justification of the method for finding optimal values of parameters of the system under study.

Keywords: information situation, decision-making theory, stochastic uncertainty, vector optimization methods, multi-criteria problem, linear and non-linear programming, road freight transportation.

Введение

Методы управления качеством принимаемых решений базируются на моделях оценки устойчивости систем при построении переходных процессов под влиянием факторного пространства внешней среды и определения областей, внутри которых оценки качества исследуемых процессов лежат в заданных пределах. Качество моделирования определяется адекватностью и соответствием применяемых методов информационной среде исследования. Наибольшие сложности вычислительного характера возникают при решении задач создания автоматических систем управления высокого качества в условиях стохастической неопределенности. Принципиальная сущность всех методов оценки устойчивости систем заключается в следующем. Выбирается показатель качества системы (например, длительность переходного процесса, расход энергии, надежность и т. д.), который выражается математически через выходные данные системы управления, внешние возмущения и другие параметры. Далее решается аналитическая задача поиска таких способов управления, структуры системы управления или значений параметров, при которых показатель качества системы (функционал) принимает наибольшее (или наименьшее) возможное значение. Управление, при котором выбранный показатель качества принимает наибольшее (или наименьшее) значение, называется оптимальным. Сложность решения данной задачи применительно к управлению в сложных организационно-технических системах грузовых автомобильных перевозок (ГАП) заключается в следующем:

- показателей качества в исследуемой системе может быть более одного, то есть задача должна решаться как многокритериальная;
- необходимо решать задачу синтеза оптимальной программы управления качеством в предположении, что относительно возмущающих воздействий мы не имеем полной вероятностной информации.

Задачи построения оптимальных программ управления, оптимальных алгоритмов управления, оптимальных параметров системы управления и т. д. при учете случайных воздействий определяются как задачи стохастической многокритериальной оптимизации.

При формировании модели синтеза оптимальной программы управления качеством принимаемых решений в интеллектуальных транспортных системах необходимо решать задачу вычисления тех или иных вероятностных характеристик функционала оптимальности из-за недостаточности исходной статистической информации. Именно такая информационная ситуация складывается практически всегда в реальных ситуациях при организации работы сложных организационно-технических ГАП. Данное утверждение регулярно подчеркивается в научных и практических исследованиях, посвященных необходимости реорганизации систем управления ГАП в современных условиях [1–6]. Исследованием подобных информационных ситуаций занимается специальная теория «игры с природой» [7–11]. В этом случае аналитическая задача синтеза оптимальной программы управления качеством в условиях неопределенности формируется следующим образом. Необходимо найти управление $u=(u_1,u_2,\ldots,u_m)$, при котором критерий оптимальности удовлетворяет минимаксному (максиминному) условию:

$$\underbrace{\min}_{u}\underbrace{\max}_{y}H(f_0,u,y)=\underbrace{\max}_{u}\underbrace{\min}_{y}H(f_0,u,y). \quad (1)$$

Сформулированная задача синтеза оптимального управления в условиях неопределенности также может быть сведена к решению задач нелинейного программирования. Такое решение можно получить, используя принцип максимума Портнягина [12–14]. Аналогичная ситуация характерна и для принципа оптимальности Беллмана [15, 16] и методов классического вариационного исчисления [17, 18].

Теоретические исследования

Математически задачу выбора параметров системы управления качеством в общем виде можно сформулировать следующим образом. Дана система дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i\left(t, x_1, \ldots, x_2, z_1, \ldots, z_m, k_1, \ldots, k_r\right), \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \ldots, n;\ x_i\left(t_i\right) = x_{i0},\ t \in \left[t_0, T\right],$$

где $k_1, \ldots, k_r$ — параметры системы управления, подлежащие выбору; $z_1, \ldots, z_m$ — случайные функции с неизвестными вероятностными характеристиками.

Предполагается, что правые части системы (2) таковы, что существует область Ω значений параметров $k_1, \ldots, k_r$, в которой имеется единственное решение системы для любой выборки случайных функций $z_1, \ldots, z_m$ и любых допустимых начальных условиях. Кроме того, задана система неотрицательных функционалов (критериев качества), определенных на множестве решений системы (2) и характеризующих качество системы:

$$\Phi_j\left(x_1, \ldots, x_n\right) \geq 0,\ j = 1, 2, \ldots, S. \quad (3)$$

Функции $x_1, \ldots, x_n$ в общем случае зависят от времени t, начальных условий и параметров $k_1, \ldots, k_r$, а также функционально зависят от случайных функций $z_1, \ldots, z_m$. Если использовать канонические и неканонические разложения, то влияние случайных функций будет осуществляться через совокупность случайных величин $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_M$, вероятностные характеристики которых определяются возможными вероятностными характеристиками случайных функций $z_1, \ldots, z_m$. При этом представляется возможность рассматривать критериальные функции как вещественные функции $r + M + 1$ переменных t, $k_1, \ldots, k_r$, $\lambda_1, \ldots, \lambda_M$, то есть

$$\Phi_j \cong \Phi_j\left(t, k_1, \ldots, k_r, \lambda_1, \ldots, \lambda_M\right). \quad (4)$$

Как общий критерий качества предполагается использовать вероятность того, что одновременно будут выполняться неравенства

$$P = P\left[\Phi_j \leq \Phi_{jg}\right],\ j = 1, 2, \ldots, N, \quad (5)$$

где Φ_{jg} — допустимые значения критериальных функций качества.

Операция определения вероятностей должна производить исследование всех значений $\lambda_1, \ldots, \lambda_M$, поэтому функция P будет зависеть от времени t и параметров $k_1, \ldots, k_r$:

$$P = P\left(t, k_1, \ldots, k_r\right). \quad (6)$$

Функция P может и не зависеть от времени t, если функционалы Φ_j выбраны таким образом, что производят осреднение по всему временному интервалу действия системы. Используя критерий P, математическую задачу выбора оптимальных параметров системы можно сформулировать следующим образом. Дана система дифференциальных уравнений (1) и система критериальных функций (4). Необходимо найти значения таких параметров $k_1, \ldots, k_r$, при которых функция (6) достигает наибольшего значения в области Ω, то есть найти такие значения $k_1^*, k_2^*, \ldots, k_r^*$, при которых

$$P\left(t, k_1^*, k_2^*, \ldots, k_r^*\right) = \sup_{\underbrace{}_{(k_1, \ldots, k_r) \in}} P\left(t, k_1, \ldots, k_r\right). \quad (7)$$

Сформулированная задача обладает достаточной общностью. В частности, из нее вытекает формулировка стохастичного случая и для детерминированного случая, когда случайные функции $z_1, \ldots, z_m$ либо определены, либо отсутствуют в правой части уравнения (2). Тогда достаточно найти значения параметров $k_1, \ldots, k_r$, при которых выполняется неравенство: $\Phi_j \leq \Phi_{jg}$, где $j = 1, 2, \ldots, N$.

Данное обстоятельство говорит о возможности применения представленной модели для решения определения оптимальной программы управления качеством в сложных системах ГАП в различных информационных ситуациях. Это необходимо, потому что часть исследуемых показателей может рассматриваться как детерминированные, часть находится в области стохастической определенности, а часть — в условиях недостаточности информации или неопределенности.

Рассмотрим случаи, когда текущее состояние исследуемой системы определяется путем решения системы дифференциальных уравнений, при котором необходимо учитывать случайный характер внешних воздействий. Вероятность нахождения системы в момент времени t в j-м классе состояний находится путем решения системы дифференциальных уравнений:

$$P_j'(t) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_{ij}(t) P_i(t),\ j = 1, 2, ..., N, \tag{8}$$

где $\alpha_{ij} > 0$ — некоторые весовые коэффициенты критериальных функций.

При постоянных интенсивностях переходов для системы ГАП неоднородный во времени марковский процесс переходит в однородный [19]. В этом случае для определения нахождения состояний системы при непрерывном управлении качеством можно рассмотреть несколько математических подходов (преобразований) в соответствующем классе. Можно использовать метод преобразований Лапласа [20]. Алгоритм применения этого метода заключается в следующем. Составляется система N дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned} P_1'(t) &= \alpha_{11}P_1(t) + \alpha_{21}P_2(t) + ... + \alpha_{n1}P_n(t), \\ P_2'(t) &= \alpha_{12}P_1(t) + \alpha_{22}P_2(t) + ... + \alpha_{n2}P_n(t), \\ &\dots \\ P_N'(t) &= \alpha_{1n}P_1(t) + \alpha_{2n}P_2(t) + ... + \alpha_nP_n(t). \end{aligned} \tag{9}$$

От системы дифференциальных уравнений, используя преобразование Лапласа,

$$P(s) = \int_0^{\infty} e^{-st}(t)\,dt = L\{P(t)\} \tag{10}$$

и

$$sP(s) - P(0) = \int_0^{\infty} e^{-st}P'(t)\,dt = L\{PP'(t)\}, \tag{11}$$

необходимо перейти к системе алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} sP_1(s) - P_1(0) &= \alpha_{11}P_1(s) + \alpha_{21}P_2(s) + ... + \alpha_{n1}P_n(s), \\ sP_2(s) - P_2(0) &= \alpha_{12}P_1(s) + \alpha_{22}P_2(s) + ... + \alpha_{n2}P_n(s), \\ &\dots \\ sP_n(s) - P_n(0) &= \alpha_{1n}P_1(s) + \alpha_{2n}P_2(s) + ... + \alpha_nP_n(s), \end{aligned} \tag{12}$$

преобразовав полученную систему уравнений к виду:

$$\begin{aligned} P_1(0) &= (s - \alpha_{11})P_1(s) - \alpha_{21}P_2(s) - ... - \alpha_{n1}P_n(s), \\ P_2(0) &= -\alpha_{12}P_1(s) + (s - \alpha_{22})P_2(s) - ... - \alpha_{n2}P_n(s), \\ &\dots \\ P_n(0) &= -\alpha_{1n}P_1(s) - \alpha_{2n}P_2(s) - ... + (s - \alpha_n)P_n(s). \end{aligned} \tag{13}$$

Далее с помощью определителей находят неизвестные значения $P_1(s), P_2(s), \ldots, P_n(s)$. При необходимости нахождения оригинала от $P_\mu(s)$ целесообразно использовать формулу разложения [21]:

$$P_\mu(s) = \frac{V_\mu(s)}{W_\mu(s)}, \tag{14}$$

где $V_\mu(s)$ и $W_\mu(s)$ — полиномы от (s) при $V_\mu(s)$ меньше степени $W_\mu(s)$, а уравнение $W_\mu(s) = 0$ имеет только простые корни:

$$W_\mu'(s_i) \neq 0, \tag{15}$$

где s_i — корень уравнения $W_\mu(s) = 0$, тогда оригинал $P_\mu(t)$ можно найти по формуле

$$P_\mu(t) = \sum_{i=1}^{N} \frac{V_\mu(s_i)}{W_\mu'(s_i)} e^{s_i t}, \tag{16}$$

где N — степень полинома $W_\mu(s)$.

В случае если $\left[P_\mu(s) = \frac{V_\mu(s)}{W_\mu(s)}\right]$ и уравнение $\left[W_\mu(s) = 0\right]$ не имеет равных нулю корней, то оригинал можно найти по следующей формуле:

$$P_\mu(t) = \frac{V_\mu(0)}{W_\mu(0)} + \sum_{i=1}^{N} \frac{V_\mu(s_i)}{W_\mu'(s_i)} e^{s_i t}, \tag{17}$$

где N — число корней уравнения, $W_\mu(s) = 0$.

Для более сложных функций можно применить известную теорему свертывания [22]. Если $P_\mu(s)$ можно представить в виде произведения двух функций $\psi_\mu(s)$ и $\varphi_\mu(s)$:

$$P_\mu(s) = \varphi_\mu(s)\psi_\mu(s), \tag{18}$$

то, найдя оригиналы $\varphi_\mu(t)$ и $\psi_\mu(t)$, оригинал $P_\mu(t)$ получаем по формуле

$$P_\mu(t) = \int_0^t \varphi_\mu(\tau)\psi_\mu(\tau - 1)\,d\tau. \tag{19}$$

В стандартном режиме управления качеством предельные вероятности P_j состояний систем находятся из следующей системы уравнений:

$$
\begin{gathered}
\alpha_{11} P_1(t) + \alpha_{21} P_2(t) + \ldots + \alpha_{n1} P_n(t) = 0, \\
\alpha_{12} P_1(t) + \alpha_{22} P_2(t) + \ldots + \alpha_{n2} P_n(t) = 0, \quad (20) \\
\ldots \\
\alpha_{1n} P_1(t) + \alpha_{2n} P_2(t) + \ldots + \alpha_{n} P_n(t) = 0, \\
P_1 + P_2 + \ldots + P_n = 1.
\end{gathered}
$$

Более общим критерием, чем критерий «максимум вероятности», является H — критерий «минимума общего функционала качества». При его использовании необходимо найти такие значения $k_1^*, k_2^*, \ldots, k_r^*$, при которых соблюдается условие

$$H\left(t, k_1^*, k_2^*, \ldots, k_r^*\right) = \underbrace{\inf}_{(k_1,\ldots,k_r)\in} H\left(t, k_1, \ldots, k_r\right). \quad (21)$$

В уравнении (21) «inf» означает «infimum». При работе с вещественными значениями это соответственно означает «наибольшая нижняя граница» [23].

Критерий H в частных случаях может принимать:

- форму критерия $(1 - P)$;
- форму критерия «минимум среднеквадратичной ошибки», форму некоторой функции от P;
- форму критерия, производящего временное осреднение значений вероятностей и т. д., то есть в той или иной форме характеризовать степень неопределенности в исследуемой системе качества.

Приведем в качестве примера одну из возможных форм критерия H, выражающую необходимость среднеквадратичной ошибки:

$$H = \sum_{j=1}^{N} \alpha_j M\left[\Phi_j^2\right], \quad (22)$$

где α_j — некоторые весовые коэффициенты критериальных функций, $\alpha_j > 0$; $M[\ldots]$ — символ операции математического ожидания.

Частным случаем выражения (8) является случай, когда некоторые весовые коэффициенты $\alpha_j = 0$ и требуется найти наименьшее значение критерия H при наличии ограничений в форме неравенства. В этом случае можно перейти к классической экстремальной задаче для функции многих переменных при наличии ограничений в форме системы неравенств:

$$\psi_k\left(\Phi_1, \ldots, \Phi_N\right) \geq 0. \quad (23)$$

Выводы

Практическая ценность сформулированной задачи выбора оптимальных параметров управления качеством заключается в том, что она обладает большой универсальностью с точки зрения реализации вычислительных процедур и создания ПО, работающего в автоматическом режиме. Фактически любая нелинейная система может быть проинтегрирована с применением классических численных методов. Таким образом, к задаче выбора оптимальных значений параметров можно свести решение задачи синтеза алгоритма управления, построение оптимальной программы действий, оптимальной передаточной функции с одного уровня иерархической системы на следующий и т. д. Это можно сделать различными способами, например, представляя неизвестные управляющие функции в той или иной системе ортогональных функций. При этом в качестве параметров, подлежащих выбору, будут выступать неопределенные коэффициенты используемых отрезков рядов. Данная задача решается, если управление задается в виде линейной или нелинейной функции определенного вида и применяется переход от непрерывного случая к дискретному. Тогда задача поиска оптимальных функций сводится к поиску оптимальных значений параметров.

Библиографический список

1. *Фасхиев Х. А., Зарипова А. А., Яматина В.А.* Организация линейных перевозок на автомобильном транспорте в международном сообщении // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы межд. науч.-технич. конф. Пенза, 2012. С. 124–129.

2. *Хмельницкий А. Д.* Организационно-экономические методы управления хозяйственными связями на рынке грузовых автотранспортных услуг. М.: Трансконсалтинг, 2006. 480 с.

3. *Вельможин А. В., Гудков В. А.* Об особенностях функционирования транспорта в условиях рынка // Бизнес и логистика–2003: материалы V Московского межд. логистического форума. М., 2003. С. 144–146.

4. *Корчагин В. А., Ризаева Ю. Н., Корчагина Т. В.* Модель функционирования транспортно-логистической системы региона // Вестник НТУ. 2012. № 25. С. 310–313.

5. *Корчагин В. А., Ризаева Ю. Н.* Сбалансированное взаимодействие общества и биосферы при использовании автомобилей // Проблемы качества и эксплуатации АТС: материалы III междунар. науч. конф. Пенза, 2004. С. 252–263.

6. *Луканин В. Н., Буслаев А. П., Трофименко Ю. В., Яшина М. В.* Автотранспортные потоки и окружающая среда. М.: Инфра-М, 1998. 408 с.

7. *Бусленко Н. П.* Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 395 с.

8. *Корнаков А. Н.* Модель сложной организационно-технической системы // Перспективы науки и образования. 2015. № 2. С. 44–50.

9. *Цветков В. Я.* Систематика сложных систем // Современные технологии управления. 2017. № 7 (79). URL: https://sovman.ru/article/7903/.

10. *Tsvetkov V. Ya., Lobanov A. A.* Big Data as Information Barrier // European researcher, Series A. 2014, Vol. (78), № 7-1. Pp. 1237–1242.

11. *Губко М. В.* Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. 148 с.

12. *Месарович М., Такахара Н.* Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 311 с.

13. *Монахов С. В., Савиных В. П., Цветков В. Я.* Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. М.: Просвещение, 2005. 264 с.

14. *Луман Н.* Введение в системную теорию. М.: Логос, 2007. 360 с.

15. *Беллман Р.* Применение динамического программирования к задаче о коммивояжере // Кибернетический сборник. 1964. Вып. 9. С. 219–222.

16. *Richard Bellman*. On a routing problem. Quarterly of Applied Mathematics, 16:87–90, 1958.

17. *Динер И. Я.* Исследование операций. Л.: ВМОЛУА, 1969. 606 с.

18. *Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б.* Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. СПб.: БХВ-Питер, 2006. 192 с.

19. *Усов А. В., Кутяков Е. Ю.* Применение марковских случайных процессов для информационного моделирования работы автотранспортных средств // Вестник ХУНТУ. 2014. № 3 (50). С. 506–512.

20. *Луман Н.* Введение в системную теорию. М.: Логос, 2007. 360 с.

21. *Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун Л. А.* Математические методы построения прогнозов. М.: Радио и связь, 1997. 112 с.

22. *Вильсон Д.* Энтропийные методы моделирования сложных систем. М.: Наука, 1987. 248 с.

23. *Ильин В. А., Позняк Э. Г.* Основы математического анализа. В 2 ч. Ч. 1. М., 1998.

References

1. Faskhiev Kh .A., Zaripova A. A., YamatinaV. A. *Organizatsiya lineynykh perevozok na avtomobil'nom transporte v mezhdunarodnom soobshchenii* [Organization of linear transportation by road transport in international traffic]. *Trudy mezhd. nauch.-tekhnich. konf. Penza, 2012 «Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv»* [Proceedings of the International sci. - technical conf. Penza, 2012 "Problems of quality and operation of motor vehicles]. Penza, 2012, pp. 124–129.

2. Khmel'nitskiy A. D. *Organizatsionno-ekonomicheskie metody upravleniya khozyaystvennymi svyazyami na rynke gruzovykh avtotransportnykh uslug: monografiya* [Organizational and economic methods of management of economic relations in the market of cargo motor transport services. Monograph]. Moscow, Transkonsalting Publ., 2006, 480 p.

3. Vel'mozhin A. V., Gudkov V. A. *Ob osobennostyakh funktsionirovaniya transporta v usloviyakh rynka* [Regarding the features of transportation functioning in market conditions]. *Trudy V Moskovskogo mezhd. logisticheskogo foruma «Biznes i logistika-2003»* [Proceedings of the 5-th Moscow International Logistics Forum "Business and Logistics-*2003*"]. Moscow, 2003, pp. 144–146.

4. Korchagin V. A., Rizaeva Yu. N., Korchagina T. V. *Model' funktsionirovaniya transportno-logisticheskoy sistemy regiona* [Model of functioning of transport and logistics system of the region]. *Vestnik NTU – Bulletin of NTU,* 2012, no. 25, pp. 310–313.

5. Korchagin V. A., Rizaeva Yu. N. *Sbalansirovannoe vzaimodeystvie obshchestva i biosfery pri ispol'zovanii avtomobiley* [Balanced interaction of society and biosphere in the use of automobiles]. *Trudy III mezhd. nauch. konf. «Problemy kachestva i ekspluatatsii ATS»* [Proceedings of the 3-rd International sci. conf. Penza, 2004 "Problems of quality and operation of vehicles"]. Penza, 2004, pp. 252–263.

6. Lukanin V. N., Buslaev A. P., Trofimenko Yu. V., Yashina M. V. *Avtotransportnye potoki i okruzhayushchaya sreda* [Auto-transport flows and the environment]. Moscow, Infra-M Publ., 1998, 408 p.

7. Buslenko N. P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 395 p.

8. Kornakov A. N. *Model' slozhnoy organizatsionno-tekhnicheskoy sistemy* [Model of a complex organizational and technical system]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya – Prospects of science and education,* 2015, no. 2, pp. 44–50.

9. Tsvetkov V. Ya. *Sistematika slozhnykh sistem* [Systematics of complex systems]. *Sovremennye tekhnologii upravleniya – Modern management technologies*, 2017, no. 7 (79). Available at: https://sovman.ru/article/7903

10. Tsvetkov V. Ya., Lobanov A. A. Big data as information barrier. *European Researcher, Series A.* 2014, vol. (78), no. 7-1, pp. 1237–1242.

11. Gubko M. V. *Teoriya igr v upravlenii organizatsionnymi sistemami* [Theory of games in management of organizational systems]. Moscow, Sinteg Publ., 2002, 148 p.

12. Mesarovich M., Takakhara N. *Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy* [General theory of systems. Mathematical foundations]. Moscow, Mir Publ., 1978, 311 p.

13. Monakhov S. V., Savinykh V. P., Tsvetkov V. Ya. *Metodologiya analiza i proektirovaniya slozhnykh informatsionnykh sistem* [Methodology of analysis and design of complex information systems]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 2005, 264 p.

14. Luman N. *Vvedenie v sistemnuyu teoriyu* [Introduction to system theory]. Moscow, Logos Publ., 2007, 360 p.

15. Bellman R. *Primenenie dinamicheskogo programmirovaniya k zadache o kommivoyazhere* [Application of dynamic programming to the traveling salesman problem]. *Kiberneticheskiy sbornik – Cybernetic Compendium*, 1964, iss. 9, pp. 219–222.

16. Richard Bellman. On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, 16:87–90, 1958.

17. Diner I. Ya. *Issledovanie operatsiy* [Research of operations]. Leningrad, VMOLUA Publ., 1969, 606 p.

18. Kolesov Yu. B., Senichenkov Yu. B. *Modelirovanie sistem. Ob"ektno-orientirovanniy podkhod* [Modeling of systems. Object-oriented approach]. St. Petersburg, BKhV-Piter Publ., 2006, 192 p.

19. Usov A. V., Kutyakov E. Yu. *Primenenie markovskikh sluchaynykh protsessov dlya informatsionnogo modelirovaniya raboty avtotransportnykh sredstv* [Application of Markov random processes for information modeling of motor transport vehicles` performance]. *Vestnik KhUNTU – Bulletin of KUNTU,* 2014, no. 3 (50), pp. 506–512.

20. Luman N. *Vvedenie v sistemnuyu teoriyu* [Introduction to system theory]. Moscow, Logos Publ., 2007, 360 p.

21. Greshilov A. A., Stakun V. A., StakunL. A. *Matematicheskie metody postroeniya prognozov* [Mathematical methods of forecasting]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1997, 112 p.

22. Vil'son D. *Entropiynye metody modelirovaniya slozhnykh sistem* [Entropic methods of modeling complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 248 p.

23. Il'in V. A., Poznyak E. G. *Osnovy matematicheskogo analiza* [Fundamentals of mathematical analysis]. In 2 pts. Pt. 1. Moscow, 1998.