

УДК 004.67

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.32.1.030](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.32.1.030)

Оптимизационное моделирование инвестиционного процесса развития отраслевой организационной системы гражданской авиации

А.С. Борзова, Д.В. Иванов

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва, Российская Федерация
Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Российская Федерация*

Резюме. В статье рассматривается формализованный подход к управлению инвестиционными процессами развития отраслевой организационной системы с применением методов моделирования и оптимизации. Проблемная ориентированность указанных методов определяется особенностями исследуемого процесса в отраслевой организационной системе гражданской авиации. В качестве базовой модели взаимодействия управляющего центра и объектов организационной системы в процессе инвестирования направлений программы развития отрасли предлагается агентно-игровая модель. Показана необходимость последовательного решения двух оптимизационных задач при централизованном управлении инвестиционным процессом. Для игровой задачи, связанной с формированием множества объектов, включенных в ресурсное обеспечение по определенным направлениям программы развития, построена оптимизационная модель булевого программирования. Вторая задача, направленная на агентно-игровое согласование интересов управляющего центра и объектов организационной системы при реализации инвестиционных ресурсов, формализована с целью оптимального поиска множества стратегии управляющего центра на множестве ключевых показателей развития отрасли. Алгоритмизация принятия управленческих решений на основе перечисленных задач оптимизации основана на интеграции алгоритмов рандомизированного поиска, генетического алгоритма с адаптивной мутацией, популяционного алгоритма роя частиц.

Ключевые слова: отраслевая организационная система, инвестиционный процесс, централизованное управление, агентно-игровое моделирование, оптимизация.

Для цитирования: Борзова А.С., Иванов Д.В. Оптимизационное моделирование инвестиционного процесса развития отраслевой организационной системы гражданской авиации. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=940> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.030

Optimization modeling of the investment process for the development of the civil aviation sectoral organizational system

A.S. Borzova, D.V. Ivanov

*Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Moscow Russian Federation
Voronezh State Technical University,
Voronezh, Russian Federation*

Abstract: The article discusses formalized approach to investment processes managing for the advancing of a sectoral organizational system using modeling and optimization methods. The problem

orientation of these methods is determined by the process peculiarities under research in the civil aviation sectoral organizational system. An agent-game model is proposed as a basic model of interaction between the control center and the objects of the organizational system in the investing process spheres of the industry development program. We discussed the sequential solution necessity of two optimization problems with the investment process centralized management. It's formalized an optimization model of Boolean programming for the game problem associated with the set formation of objects included in the resource support for certain development program areas. Then was shown the second task, namely interests agent-game coordination between the control center and the entity of organizational system in investment resource implementation to optimally search for control center strategies set with a set of industry development key indicators. Algorithmizing of making management decisions based on the listed optimization problems is based on the federation of randomized search algorithms, a genetic algorithm with adaptive mutation, and a population particle swarm algorithm.

Keywords: sectoral organizational system, investment process, centralized management, agent-game modeling, optimization.

For citation: Borzova A.S., Ivanov D.V. Optimization modeling of the investment process for the development of the sectoral organizational system of civil aviation. Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=940> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.030 (In Russ).

Введение

В отраслевых организационных системах инвестиционный процесс основывается на взаимодействии управляющего центра и множества объектов $O_i, i = \overline{1, I}$ с целью обеспечения их развития по ряду ключевых показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$. Источником реализации инвестиционного процесса развития объекта O_i , входящего в состав организационной системы, является ресурсное обеспечение x_i , объем которого определяется управляющим центром путем согласования его интересов с интересами объекта. Указанное согласование интересов требуется осуществить на прединвестиционной фазе инвестиционного процесса [1, 2]. Степень согласованности влияет на эффективность реализации инвестиционной и эксплуатационной фаз. Предлагается применять формализованные методы для достижения наилучшего результата по мобилизации инвестиционных ресурсов.

Формализованные методы требуют использования на прединвестиционной фазе информации о количественных характеристиках инвестиционного процесса развития. Ограниченность, неточность, случайный характер исходных данных приводят к необходимости решения в условиях неопределенности. При этом в качестве модели согласования интересов управляющего центра и объектов организационной системы целесообразно применять агентно-игровую модель [3, 4]. В такой модели в качестве агентов выступают управляющий центр и объекты, а их игровое взаимодействие основано на соответствующих стратегиях распределения ресурсного обеспечения. Стратегия агента «Управляющий центр» определяется вектором:

$$X^u = (x_1^u, \dots, x_i^u, \dots, x_I^u), \quad (1)$$

а агентов «объекты организационной системы» – вектором:

$$X^o = (x_1^o, \dots, x_i^o, \dots, x_I^o). \quad (2)$$

Функция выигрыша в игре определяется показателями $\Psi_j, j = \overline{1, J}$, которые в свою очередь зависят от стратегий агентов (1), (2)

$$F(X^u, X^o) = f(\Psi_j(X^u, X^o)). \quad (3)$$

Наличие агентно-игровой модели позволяет перейти к оптимизационному моделированию инвестиционного процесса развития с учетом его особенностей в отраслевой организационной системе.

Особенности инвестиционного процесса развития отраслевой организационной системы гражданской авиации

Формирование оптимизационных моделей и выбор алгоритмов принятия решений предлагается сориентировать на следующие особенности инвестиционного процесса.

1. Централизованный характер управленческих действий в инвестиционной среде отрасли.

В этом случае субъекты инвестиционного процесса объединены общими целями, определяемыми управляющим центром для объектов организационной системы. Централизованным является не только целеполагание, но и механизм размещения инвестиционных средств, направляемых на развитие объектов в соответствии с определенными показателями. Для организационной системы гражданской авиации в качестве управляющего центра выступает Федеральное агентство воздушного транспорта, а объектов – авиакомпании.

Ключевыми показателями развития отрасли и авиакомпаний управляющим центром определены следующие [5]:

- Ψ_1 – общее количество полетов;
- Ψ_2 – количество полетов на внутренних линиях;
- Ψ_3 – количество международных полетов;
- Ψ_4 – пассажирооборот;
- Ψ_5 – пассажиропоток;
- Ψ_6 – грузооборот;
- Ψ_7 – перевозки грузов и почты;
- Ψ_8 – общее количество аэропортов;
- Ψ_9 – количество воздушных судов, обслуживаемых аэропортами.

2. Управление взаимодействием участников инвестиционного процесса на основе программно-целевого механизма.

Необходимость программно-целевого механизма определяется, во-первых, целеориентированным характером определения интегрального ресурсного обеспечения и его распределения между объектами отраслевой системы, во-вторых, нацеленностью на решение ключевых проблем отрасли.

В основе программно-целевого управления инвестиционными процессом в гражданской авиации лежит «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года». Определены ключевые проблемы, требующие инвестирования:

- строительство, реконструкция, модернизация аэропортов, обеспечивающие формирование трехуровневой аэропортовой сети [6, 7];
- развитие наземной инфраструктуры аэропортов, входящих в национальную опорную сеть;

- модернизация системы организации воздушного движения;
- обновления парка воздушных судов.

3. Многоуровневая структуризация управленческих действий при использовании программно-целевого механизма управления инвестиционным процессом.

Данная особенность связана с тем, что программно-целевое управление предусматривает структурирование ключевых проблем на подпроблемы и мероприятия, определившие оценки приоритетности, последовательности выполнения мероприятий и соответствующего ресурсного обеспечения. Такой механизм определяет необходимость решения задач управления по распределению инвестиционного ресурса X на двух уровнях:

- принятие решения об инвестировании объекта организационной системы $O_i, i = \overline{1, I}$ в рамках n -го мероприятия, $n = \overline{1, N}$, для которого предусмотрено ресурсное обеспечение в объеме x_n ;

- принятие решения о распределении ресурса X_n между объектами $O_{i_n}, i_n = \overline{1, I_n}$, вошедшими в план развития по n -му мероприятию в соответствии с агентно-игровой моделью $\Gamma(X_n^u, X_n^o, F)$ в объемах x_{i_n} при условии $\sum_{i_n}^I x_{i_n} = X_n$.

4. Необходимость принимать управленческие решения в условиях неопределенности, связанных со следующими причинами:

- случайными вариациями на интервалах $[x_{i_n}^{\text{мин}}, x_{i_n}^{\text{макс}}], i_n = \overline{1, I_n}$, ресурсного обеспечения, обеспечивающего согласованность интересов управляющего центра и объектов в рамках агентно-игровой модели (1)–(3);

- характеристикой показателей развития $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ в виде нечетких множеств, заданных на интервалах $[\Psi_j^{\text{мин}}, \Psi_j^{\text{макс}}], j = \overline{1, J}$;

- невозможностью достичь наилучшего решения игры $\Gamma(X_{i_n}^u, X_{i_n}^o, F)$ одновременно по всем показателям $\Psi_j, j = \overline{1, J}$.

Первая причина приводит к необходимости перехода при решении игры $\Gamma(\tilde{X}_{i_n}^u, X_{i_n}^o, F)$ со случайными величинами $\tilde{X}_{i_n}^u$, имеющими распределения с плотностью $\omega(\tilde{X}_{i_n}^u), i_n = \overline{1, I_n}$, от случайных реализаций функций выигрыша $F(\tilde{X}_{j_n}^u, X_{j_n}^o)$ к сглаженной функции [8]:

$$\bar{F} = \int_G F(\tilde{X}_{j_n}^u, X_{j_n}^o) \omega(\tilde{X}_{j_n}^u), \quad (4)$$

где G – множество изменения объема ресурсного обеспечения.

Случайные вариации ресурсного обеспечения, устанавливаемого управляющим центром, имеют равномерные распределения, если не указывается наиболее вероятное значение $\tilde{X}_{i_n}^u$ на интервале $[X_{i_n}^{\text{мин}}, X_{i_n}^{\text{макс}}]$, и характеризуются нормальным законом распределения в противном случае.

Функцию распределения случайной величины равномерно распределенной на интервале $[X_{i_n}^{\text{мин}}, X_{i_n}^{\text{макс}}]$ запишем в следующем виде

$$W(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) = \frac{(X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}})}{2} \left\{ \left[1 \left(\bar{X}_{i_n}^{\Pi} - \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{2} \right) \right] - 1 \left[\bar{X}_{i_n}^{\Pi} + \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{2} \right] \right\},$$

где $\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}$ – среднее значение ресурсного обеспечения
 $1(\cdot)$ – единичная функция Хевисайда.

Плотность распределения [8]:

$$\omega(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) = W'(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) = \frac{(X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}})}{2} \left\{ \left[\delta \left(\bar{X}_{i_n}^{\Pi} - \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{2} \right) \right] - \left[-\delta \left[\bar{X}_{i_n}^{\Pi} + \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{2} \right] \right] \right\},$$

где $\delta(\cdot)$ – δ -функция

Сглаженная функция:

$$\bar{F}(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) = \int_G F(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{2} \left\{ \delta \left[\bar{X}_{i_n}^{\Pi} - \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{2} \right] - \delta \left[\bar{X}_{i_n}^{\Pi} + \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{2} \right] \right\}. \quad (5)$$

В случае нормального распределения случайной величины $\tilde{x}_{i_n}$ со средним значением $\bar{x}_{i_n}$ и со среднеквадратичным отклонением по правилу 3σ :

$$\sigma_{i_n} = \frac{X_{i_n}^{\Pi_{\max}} - X_{i_n}^{\Pi_{\min}}}{6}$$

плотность распределения имеет вид:

$$\omega(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{i_n}} e^{-\frac{\tilde{X}_{i_n}^{\Pi} - \bar{X}_{i_n}^{\Pi}}{2\sigma_{i_n}^2}}.$$

Сглаженная функция:

$$\bar{F}(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{i_n}} \int_G F(\tilde{X}_{i_n}^{\Pi}) e^{-\frac{\tilde{X}_{i_n}^{\Pi} - \bar{X}_{i_n}^{\Pi}}{2\sigma_{i_n}^2}}. \quad (6)$$

Вторая причина требует подбора конкретного вида лингвистической переменной оценок нечетких значений показателей Ψ_j на интервале $[\Psi_j^{\max}, \Psi_j^{\min}]$, $j = \overline{1, J}$ при переходе к функции выигрыша (3) на основе значений функции принадлежности $\mu(\Psi_j)$

[9], третья – определение структуры и параметров функции F на множестве показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$, позволяющей находить компромиссное решение игры $\Gamma(X_{i_n}^u, X_{i_n}^o, F)$ [10].

Оптимизационные модели и алгоритмы принятия решений при уравнении инвестиционным процессом

Исходя из рассматриваемых особенностей инвестиционного процесса развития отраслевой организационной системы сформируем две оптимизационные модели, направленные на принятие следующих управленческих решений:

- о включении объекта $O_i, i = \overline{1, I}$ в план n -го, $n = \overline{1, N}$, мероприятия инвестирования с учетом значимости от инвестиций для его развития по показателям $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ при ограниченном объеме ресурсного обеспечения X_n , предусмотренного управляющим центром;

- о распределении ресурсного обеспечения X_n между объектами $O_{i_n}, i_n = \overline{1, I_n}$, установленными при решении предыдущей оптимизационной задачи, таким образом, чтобы стратегия агента «управляющий центр» $X_{i_n}^u, i_n = \overline{1, I_n}, \sum_{i_n=1}^{I_n} X_{i_n}^u = X_n$ обеспечивала наибольший выигрыш по интегрированной оценке (3) при выдвигаемых агентами «объекты организационной системы» стратегии $X_{i_n}^o, i_n = \overline{1, I_n}$ в рамках игры $\Gamma(X_{i_n}^u, X_{i_n}^o, F)$.

Для построения первой оптимизационной модели введем следующие экспертные оценки [11]:

$$C_{i_n j} = \begin{cases} 1, & \text{если инвестирование } i - \text{го объекта в рамках } n - \text{го мероприятия} \\ & \text{программного развития влияет на увеличение } j - \text{го показателя;} \\ 0, & \text{в противном случае, } i = \overline{1, I}, \quad n = \overline{1, N} \quad j = \overline{1, J}; \end{cases}$$

$X_{i_n}^o$ – потребность i -го объекта в инвестировании в рамках n -го мероприятия.

В качестве оптимизируемой переменной принимаем:

$$Z_{i_n} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{й объект включается в инвестирование по } n - \text{му} \\ & \text{мероприятия программы развития;} \\ 0, & \text{в противном случае, } i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (7)$$

Тогда целью включения объекта $O_i, i = \overline{1, I}$ в план мероприятий по n -му, $n = \overline{1, N}$ программному развитию является максимизация следующей функции:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J C_{i_n j} Z_{i_n} \rightarrow \max_{Z_{i_n}}. \quad (8)$$

Граничные требования по ресурсному обеспечению имеют вид:

$$\sum_{i=1}^I X_{i_n}^o Z_{i_n} \leq X_n, n = \overline{1, N}. \quad (9)$$

Объединяя экстремальное требование (8) и граничные требования (7), (9) получаем следующую оптимизационную модель булевого программирования:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J C_{i_n j} Z_{i_n} &\rightarrow \max_{Z_{i_n}}, \\ \sum_{i=1}^I X_{i_n}^0 Z_{i_n} &\leq X_n, n = \overline{1, N}, \\ Z_{i_n} &= \begin{cases} 1, & i = \overline{1, I}, \quad n = \overline{1, N}. \\ 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

Для принятия управленческого решения на основе оптимизационной модели (10) целесообразно использовать рандомизированную схему итерационного поиска [11]. Модернизация этого алгоритма для решения оптимизационной задачи (10) имеет две особенности:

– в качестве начальных значений $\tilde{i} = \overline{1, I}$, $\tilde{n} = \overline{1, N}$ вероятностей события $Z_{i_n} = 1$ и привлечения к поиску реализаций случайных величин для последующего итерационного поиска определяется величинами:

$$\begin{aligned} p^1 &= \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J C_{i_n j}}{\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J C_{i_n j}}, \\ p_n^1 &= \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{i_n j}}{\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J C_{i_n j}}. \end{aligned}$$

Для выбора окончательного решения на множестве доминирующих вариантов, сформированных после останова итерационного поиска, используется предварительная редукция этого множества на основе генетического алгоритма с адаптивной мутацией [12] и процедура согласования интересов экспертов управляющего центра и объектов отраслевой организационной системы [13].

Вторая оптимизационная модель определяет наибольший выигрыш в рамках следующего агентно-игрового моделирования:

- игра Γ_1 , в ходе которой центр передает агентам случайный вариант распределения ресурсов $\tilde{X}_{i_n}^u$, $i = \overline{1, I_n}$ с тем, чтобы оценить возможности по восходящему тренду изменения значений показателей Ψ_j , $j = \overline{1, J}$;
- игра Γ_2 , когда агенты передают свои стратегии $X_{i_n}^o$ центру;
- игра Γ_3 , когда центр устанавливает распределения $X_{i_n}^*$, $i_n = \overline{1, I_n}$, сбалансированное по функции выигрыша со стратегиями агентов.

Оптимизационная модель агентно-игрового взаимодействия направлена на максимизацию сглаженной функции выигрыша $\bar{F}$ в зависимости от случайных вариаций $X_{i_n}^u$ вида (5), (6) при стратегии агентов «объекты организационной системы» $X_{i_n}^o$ и выполнении граничного требования:

$$\begin{aligned} \bar{F}(\tilde{X}_{i_n}^u) &\rightarrow \max_{X_{i_n}} \\ \sum_{i=1}^I X_{i_n}^u &\leq X_{i_n}, \\ X_{i_n}^{\min} &\leq X_{i_n}^u \leq X_{i_n}^{\max}, \quad i_n = \overline{1, I_n} \end{aligned}$$

Алгоритм принятия управленческих решений в этом случае состоит из двух этапов:

– перехода от набора показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ к функции $\bar{F}$ с учетом экспертных оценок по лингвистическим переменным, характеризующим нечеткие описания этих показателей;

– итерационного поиска по переменным $X_{i_n}^u, i_n = \overline{1, I_n}$, с использованием адаптивного алгоритма оптимизации согласованных функций выигрыша (5), (6).

Для выполнения первого этапа используется интегральное оценивание на множестве показателей [10]. В [14] проведен анализ адекватности различных интегральных оценок постановки оптимизационной задачи принятия решений. Для постановки (11) приемлемой является средневзвешенная свертка:

$$F(\Psi_j) = \sum_{j=1}^J \alpha_j \hat{\Psi}_j(X_{i_n}^u), \quad (12)$$

где $0 \leq \alpha_j \leq 1, \sum_{j=1}^J \alpha_j = 1$ – весовые коэффициенты,

$\hat{\Psi}_j$ – нормированные значения показателей с учетом их нечеткого описания на интервале $[\Psi_j^{\min}, \Psi_j^{\max}]$.

Решение оптимизационной задачи (11) с ориентацией на средневзвешенную свертку (12) и ее сглаженные значения при случайных вариациях $\tilde{X}_{i_n}^y$ осуществляется путем объединения популяционного алгоритма роя частиц [15] для настройки весовых коэффициентов $\alpha_j, j = \overline{1, J}$, выбора типа лингвистической переменной для определения нормированного значения показателей $\hat{\Psi}_j, j = \overline{1, J}$ адаптивного итерационного поиска по случайным реализациям переменных $\tilde{X}_{i_n}^u$ с учетом агентно-игровой модели инвестиционного процесса.

Заключение

Особенности инвестиционного процесса развития отраслевой организационной системы гражданской авиации приводят к необходимости разработки проблемно ориентированных моделей и алгоритмов, позволяющих формализовать поддержку принятия решений управляющим центром. При этом в качестве модели самого инвестиционного процесса целесообразно использовать агентно-игровую модель, определяющую в данном случае балансирование интересов управляющего центра и объектов организационной системы при централизованном размещении инвестиционных ресурсов в соответствии с функцией выигрыша, построенной на множестве ключевых показателей развития гражданской авиации. Оптимизационный характер принятия управленческих решений достигается формированием задач оптимизации и алгоритмов их решения на двух уровнях выбора: объектов организационной системы, получающих ресурсное обеспечение по определенному мероприятию в рамках программно-целевого управления инвестиционным

процессором, и стратегии управляющего центра по расширению инвестиционного ресурса.

Разработка комплекса моделей и алгоритмов позволяет организовать поддержку традиционного процесса централизованного административного управления инвестициями для развития отрасли в соответствии со структурной схемой, приведенной на Рисунке 1.

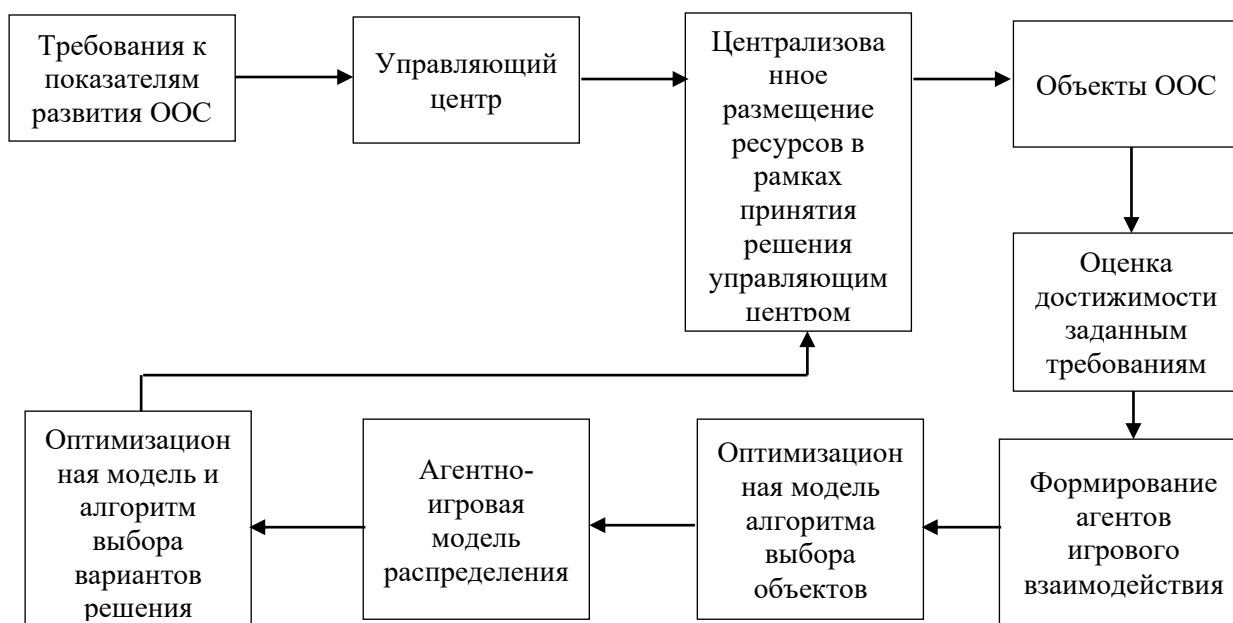


Рисунок 1 – Структурная схема централизованного управления инвестиционным процессам развития отраслевой организационной системы (ООС) на основе агентно-игрового и оптимизационного моделирования

Figure 1 - Block diagram of the investment processes centralized management in the development of a sectoral organizational system (SOS) based on agent-game and optimization modeling

ЛИТЕРАТУРА

1. Т.К. Руткаускас. *Инвестиции и инвестиционная деятельность организации*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2019.
2. Бирман Г., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных (пер. с англ. под ред. Л.П. Белых). - М.: *Банки и биржи*, ЮНИТИ. 2017.
3. Иванов Д.В. Многоальтернативная система принятия решения для социотехнических объектов на основе теоретико-игровых методов и мультиагентных технологий в условиях риска. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2016;12(1):8-14.
4. Иванов Д.В. Алгоритмизация процедур принятия решения для социотехнических объектов на основе теоретико-игровых методов и мультиагентных технологий в условиях риска. *Известия Юго-западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика*. Медицинское приборостроение. 2016;4(21):11-18.
5. Борзова А.С., Железная И.П. Ключевые показатели деятельности авиакомпаний. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. 2012;181:35-38.

6. Борзова А.С., Железная И.П. Анализ состояния инфраструктуры аэропортов Московского авиационного узла. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. 2013;197:107-110.
7. Борзова А.С., Железная И.П. К вопросу о развитии региональной аэропортовой инфраструктуры. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. 2015;217(7):23-26.
8. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения*. Воронеж: ИПЦ «Научная книга». 2016.
9. Чернов В.Г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств. М.: *Горячая книга-Телеком*. 2007.
10. Батищев Д.И., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Оптимизация в САПР*. Воронеж: изд-во Воронежского государственного университета. 1977.
11. Львович Я.Е., Львович И.Я. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде. Воронеж: *ИПЦ Научная книга*. 2010.
12. Волкова С.С., Семенкин Е.С. Исследование эффективной адаптивной мутации в генетических алгоритмах. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2012;1,8:291-293.
13. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия согласованных групповых решений. *Информационные технологии: приложения*. 2002;7:42.
14. Каширина И.Л., Львович Я.Е., Сорокин С.О. Интегральное оценивание эффективности сетевых систем с кластерной структурой. *Экономика и менеджмент систем управления*. 2015;1.3(15):330-337.
15. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. *Информационные технологии. Приложения*. 2012;7:32.

REFERENCES

1. 1.T.K. Rutkauskas. *Investments and investment activities of the organization*. Yekaterinburg: Ural Publishing House. Ural University. 2019. (In Russ)
2. Birman G., Schmidt S. *Economic analysis of investment* (translated from English under the editorship of LP Belykh). - М.: Banks and stock exchanges, UNITI. 2017. (In Russ)
3. Ivanov D.V. A multi-alternative decision-making system for socio-technical objects based on game-theoretic methods and multi-agent technologies in conditions of risk. *Voronezh State Technical University Bulletin*. 2016;12(1):8-14. (In Russ)
4. Ivanov D.V. Algorithmization of decision-making procedures for socio-technical objects based on game-theoretic methods and *Bulletin of the Southwest State University. Series: Management, computer technology, informatics. Medical instrumentation* multi-agent technologies in conditions of risk.. 2016; 4 (21):11-18. (In Russ)
5. Borzova A.S., Zheleznaya I.P. Key performance indicators of airlines. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. 2012;181:35-38. (In Russ)
6. Borzova A.S., Zheleznaya I.P. Analysis of the state of the infrastructure of the airports of the Moscow aviation hub. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. 2013;197:107-110. (In Russ)
7. Borzova A.S., Zheleznaya I.P. On the development of regional airport infrastructure. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. 2015;217(7):23-26. (In Russ)
8. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Frolov V.N. *Information technology modeling and optimization: a brief theory and applications*. Voronezh: IPC Scientific book. 2016:444.

(In Russ)

9. Chernov V.G. *Decision support models in investment activities based on the apparatus of fuzzy sets*. М.: Hot Book-Telecom. 2007:312. (In Russ)
10. Batishchev D.I., Lvovich Ya.E., Frolov V.N. *Optimization in CAD*. Voronezh: Voronezh State University Publishing House. 1977. (In Russ)
11. Lvovich Ya.E., Lvovich I. Ya. *Making decisions in an expert-virtual environment*. Voronezh: IPC Scientific book. 2010. (In Russ)
12. Volkova S.S., Semenkin E.S. Investigation of effective adaptive mutation in genetic algorithms. *Actual problems of aviation and astronautics*. 2012;1.8:291-293. (In Russ)
13. Trakhtengerts E.A. Computer support for making coordinated group decisions. *Information technology: applications*. 2002;7:42. (In Russ)
14. Kashirina I.L., Lvovich Ya.E., Sorokin S.O. Integral evaluation of the efficiency of network systems with a cluster structure. *Economics and management of control systems*. 2015;1.3(15):330-337. (In Russ)
15. Karpenko A.P. Population algorithms for global search engine optimization. Review of new and little-known algorithms. *Information Technology. Applications*. 2012;7:32. (In Russ)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Борзова Анжела Сергеевна, доктор технических наук, доцент, проректор Московского государственного технического университета гражданской авиации, Москва, Российская Федерация
Angela Sergeevna Borzova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation
e-mail: a.borzova@mstuca.aero

Иванов Денис Вячеславович, старший преподаватель, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация
Denis Vyacheslavovich Ivanov, Senior Lecturer, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation
e-mail: ivanov.sapris@mail.ru