

УДК 681.3

Б.Н. Тишуков
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ СО СТРУКТУРНОВАРИАТИВНОЙ ФОРМОЙ
УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Россия*

В статье рассматриваются характерные особенности объектов со структурновариативной формой управления. Определяются свойства объектов рассматриваемого типа. Проводится анализ особенностей процесса управления такими объектами, на основе результатов которого выделяются проблемы, возникающие при их функционировании. Исследуются методы повышения эффективности их использования на основе результатов оптимизационного моделирования. Описывается процедура формирования оптимизационной модели объекта со структурновариативной формой управления для поставленной задачи, а также обобщенная схема поиска ее решения. Обобщенную схему можно представить в следующем виде: формирование параметров оптимизационной модели объекта; определение степени значимости критериев оптимальности; формализованное представление оптимизационной модели решаемой задачи; выбор численных методов и алгоритмов для поиска оптимального решения; проверка полученного(ых) в ходе решения значения(й) на оптимальность. На основе предложенной обобщенной схемы и свойств исследуемого типа объектов осуществляется разработка адаптивных алгоритмов численной оптимизации для повышения эффективности функционирования рассматриваемого класса объектов. Отличительной особенностью предлагаемого алгоритма является необходимость решения поставленной задачи в два этапа: сначала рассматривается статический, а затем динамический режимы функционирования объектов со структурновариативным управлением.

Ключевые слова: объект со структурновариативным управлением, оптимизационное моделирование, повышение эффективности, алгоритмизация.

Введение. В окружающем нас мире ежегодно появляются новые типы объектов. Для инновационных объектов характерно использование новых методов управления, основанных на принципах адаптации и эволюции существующих методов и алгоритмов. При этом адаптивные и эволюционные процедуры должны строиться на основе свойств объекта нового типа.

В данной работе рассматриваются особенности свойств объекта со структурновариативной формой управления, влияющие на принципы управления. Приводятся результаты построения оптимизационной модели объекта нового типа. Описываются результаты разработки адаптивных алгоритмов оптимизации на основе алгоритма поведения обезьян, основной целью которых является повышение эффективности

функционирования объектов со структурновариативной формой управления.

Особенности объектов со структурновариативной формой управления. Одним из примеров объектов инновационного типа является объект со структурновариативным управлением. Сформулируем определение для данного типа объекта, а затем рассмотрим его свойства. Для этого дадим понятие структурной и вариативной формам управления.

Структурная форма управления – это такая форма управления, особенностью которой является то, что структура объекта исследования создаётся до начала процесса управления, при этом её архитектура и элементная база не изменяются в его ходе. Большое внимание описанию и характеристике структурной формы управления объектами уделено в работах [3, 4, 5].

Структурное управление (структурная оптимизация) – это поиск такой структуры объекта исследования, которая будет являться наиболее рациональной и эффективной в рамках существующих условий.

Вариативная форма управления – это такая форма, при которой решение, позволяющее повысить эффективность процесса управления выбранным объектом, определяется путем выбора из множества допустимых вариантов, наиболее подходящего для конкретного условия.

На основании вышеизложенного сформулируем определение для структурновариативной формы управления.

Структурновариативная форма управления – это такая форма, при которой эффективность процесса управления достигается при помощи поиска структуры объекта исследования, которая будет являться наиболее рациональной и эффективной в рамках существующих условий путем выбора из множества допустимых вариантов, наиболее подходящего для конкретного условия. В качестве объекта со структурновариативной формой управления будем рассматривать некоторую организационно целую систему, достижение заданных целей которой осуществляется за счет варьирования компонентами структуры, представляющими собой совокупность элементов, объединенных различного рода связями.

На основе проведенного анализа оптимизационных объектов различного типа [1,2,4] сформулируем свойства, которыми обладают объекты со структурновариативной формой управления:

1. Варьируемые структурные компоненты $s = \overline{1, S}$ в формализованном виде представляются вектором X , включающем три подмножества X^1 , X^2 , X^3 переменных:

$X^1 = (x_1^1, \dots, x_j^1, \dots, x_j^1)$ - подмножество альтернативных переменных (1), при этом

$$x_j^1 = \begin{cases} 1, & \text{если некоторый } j\text{-й элемент или связь} \\ & \text{включаются в структуру объекта,} \\ 0, & \text{в противном случае, } j = \overline{1, J}; \end{cases} \quad (1)$$

$X^2 = (x_1^2, \dots, x_l^2, \dots, x_L^2)$ - подмножество переменных, принимающих дискретные значения (2);

$$x_l^2 = (x_{l_1}^2, \dots, x_{l_m}^2, \dots, x_{l_M}^2), x_{l_m}^2 \geq 0, m = \overline{1, M}; \quad (2)$$

$X^3 = (x_1^3, \dots, x_n^3, \dots, x_N^3)$ - подмножество непрерывных переменных, изменение которых ограничено некоторым интервалом $x_n^{3_{MIN}} \leq x_n^3 \leq x_n^{3_{MAX}}, x_n^{3_{MIN}} \geq 0, n = \overline{1, N}$, и характеризует параметры структурных компонентов.

2. Следует рассматривать динамический, зависящий от момента времени $\tau \in [\tau_0; \tau_g]$ и статический режимы функционирования объекта со структурновариативным управлением.

3. Адекватное отражение зависимости показателей натурального объекта $y = (y_1, \dots, y_i, \dots, y_I)$ (3), характеризующих заданные цели, от варьируемых структурных компонентов идентифицируется некоторой вычислительной средой, позволяющей определять значения составляющей вектора y при зафиксированном варианте структуры s^0 и соответствующем значении вектора X^0 :

$$Y = f_{ec}(X^0) \sim f_n(s^0), \quad (3)$$

где знаком \sim обозначаем подобие.

Далее в качестве базовой вычислительной среды f_{ec} будем рассматривать имитационную модель.

4. Достижение заданных целей определяется набором экспериментальных (4)

$$y_{i1} = f_{i1}(x) \rightarrow \max(\min), i_1 = \overline{1, I_1} \quad (4)$$

и граничных (5)

$$y_{i2} = f_{i2}(x) \rightarrow b_{i2}, i_2 = \overline{1, I_2} \quad (5)$$

требований, где b_{i2} – допустимый уровень показателя y_{i2} .

5. В качестве основных групп натуральных объектов со структурновариативным управлением будем рассматривать сетевые инфокоммуникационные, технологические и транспортные системы.

После того, как мы провели формализованное описание класса объектов со структурно вариативной формой управления в виде $f_{sc}(X)$, перейдем к задачам оптимизации таких объектов.

Построение оптимизационной модели объекта со структурновариативным управлением. Оптимальность структуры объекта будет определяться по какому-либо из критериев, в наибольшей степени влияющих на нее. Именно этот критерий и будет являться критерием оптимальности структуры объекта и будет выражаться целевой функцией в математической модели задачи [6].

Схематически цикл работы с оптимизационной задачей для объекта со структурновариативной формой управления можно представить в виде схемы на Рисунке 1.

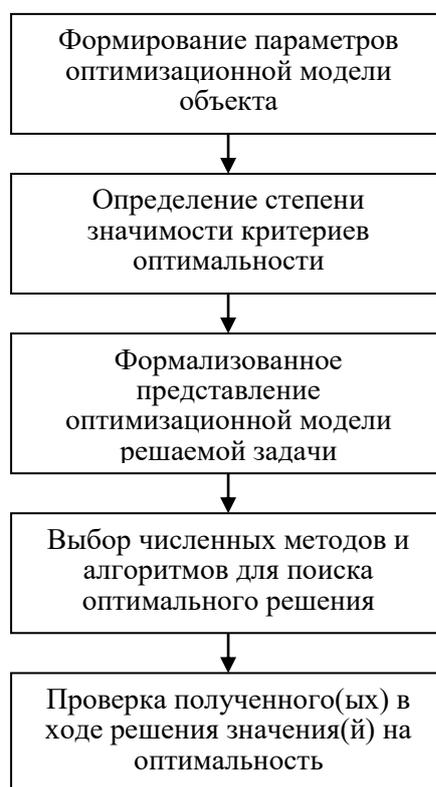


Рисунок 1 – Схема цикла формирования модели для оптимизационной задачи и поиска ее решения

Исходя из рассмотренных свойств 1 и 4, объект со структурированным управлением задачу выбора оптимизационного решения предлагает в общем случае представить следующей инвариантной моделью (μ_1) (6):

$$\begin{aligned}
 f_{i1} &= (x^1, x^2, x^3) \rightarrow \max, i_1 = \overline{1, I_1}, \\
 f_{i2} &= (x^1, x^2, x^3) \leq b_{i2}, i_2 = \overline{1, I_2}, \\
 x_j^1 &= \begin{cases} 1, & j = \overline{1, 7}, \\ 0, & \end{cases} \\
 x_l^2 &= (x_{l1}^2, \dots, x_{lm}^2, \dots, x_{lm}^2), l = \overline{1, L}, x_{lm}^2 \geq 0, m = \overline{1, M}, \\
 x_n^{3\min} &\leq x_n^3 \leq x_n^{3\max}, n = \overline{1, N}, x_n^{3\min} \geq 0, n = \overline{1, N}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

- однокритериальная оптимизационная модель (μ_2) (7):

$$\begin{aligned}
 f_{i1} &= (x^1, x^2, x^3) \rightarrow \max, i_1 = \overline{1, I_1}, \\
 x_j^1 &= \begin{cases} 1, & j = \overline{1, 7}, \\ 0, & \end{cases} \\
 x_l^2 &= (x_{l1}^2, \dots, x_{lm}^2, \dots, x_{lm}^2), l = \overline{1, L}, x_{lm}^2 \geq 0, m = \overline{1, M}, \\
 x_n^{3\min} &\leq x_n^3 \leq x_n^{3\max}, n = \overline{1, N}, x_n^3 \geq 0, n = \overline{1, N}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

- многокритериальная без ограничений (μ_3) (8):

$$\begin{aligned}
 \psi_{i2} &= (x^1, x^2, x^3) \rightarrow \max \\
 f_{i2} &= (x^1, x^2, x^3) \leq b_{i2}, i_2 = \overline{1, I_2}, \\
 x_j^2 &= \begin{cases} 1, & j = \overline{1, 7}, \\ 0, & \end{cases} \\
 x_l^2 &= (x_{l1}^2, \dots, x_{lm}^2, \dots, x_{lm}^2), l = \overline{1, L}, x_{lm}^2 \geq 0, m = \overline{1, M}, \\
 x_n^{3\min} &\leq x_n^3 \leq x_n^{3\max}, n = \overline{1, N}, x_n^{3\min} \geq 0, n = \overline{1, N}.
 \end{aligned} \tag{8}$$

- включающая альтернативные и дискретные переменные (μ_4) (9):

$$\begin{aligned}
 f_{ij}(x^1, x^2) &\rightarrow \min, \quad i_1 = \overline{1, I_1} \\
 f_{i2}(x^1, x^2) &\leq b_{i2}, \quad i_2 = \overline{1, I_2} \\
 x_j^1 &= \begin{cases} 1, & j = \overline{1, 7} \\ 0, & \end{cases} \\
 x_l^2 &= (x_{l1}^2, \dots, x_{lm}^2, \dots, x_{lm}^2), \quad l = \overline{1, L}, x_{lm}^2 \geq 0, m = \overline{1, M}
 \end{aligned} \tag{9}$$

- однокритериальная без ограничений, включающая только дискретные переменные (μ_5) (10):

$$\begin{cases}
 f(x_k, x_l, \dots, x_m) \rightarrow \max, \\
 x_k = \{x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^K\}, x_k \in K', \\
 x_l = \{x_l^1, x_l^2, \dots, x_l^L\}, x_l \in L', \\
 \dots \\
 x_m = \{x_m^1, x_m^2, \dots, x_m^M\}, x_m \in M', \\
 x_k > 0, x_l > 0, \dots, x_m > 0.
 \end{cases} \quad (10)$$

где K', L', \dots, M' - множества допустимых вариантов параметров исследуемого объекта (множество вариантов решений).

Из этого имеем, что целевая функция, выраженная в виде $f(x_k, x_l, \dots, x_m)$, будет отображать зависимость критерия оптимальности от основных параметров объекта.

Ограничения на переменные в построенной оптимизационной модели будут задаваться в дискретном виде, при этом их значения будут выбираться из конечных множеств K', L', \dots, M' соответственно и могут принимать значения строго больше 0.

Решение поставленной задачи будем искать в виде вектора X (11):

$$X = \begin{cases} x_k^{n1} \\ x_l^{n2} \\ \dots \\ x_m^{nN} \end{cases} \quad (11)$$

После этого необходимо провести предварительные преобразования исходных задач μ_1, μ_n и входящих в них переменных.

Процесс решения поставленной задачи классическими оптимизационными методами является трудоемким, а в некоторых случаях и невозможным. Это обусловлено рядом факторов: нелинейность, многоэкстремальность, высокая вычислительная сложность оптимизируемой функции, большая размерность области поиска решений и др.

Алгоритмизация решения задачи повышения эффективности функционирования объектов со структурновариативным управлением. Для повышения эффективности функционирования объектов со структурновариативным управлением необходимо рассматривать решение этой задачи в совокупности двух режимов управления (статическом и динамическом) (12). Для каждого из этих режимов модель будет иметь вид, рассмотренный ранее. Алгоритм решения задачи для каждого из режимов подробно описан в работах [6, 7].

$$\begin{cases}
 f(x_k(\tau), \dots, x_v(\tau), x_{v+1}, x_{v+2}, \dots, x_m, \tau) \rightarrow \max, \\
 x_k(\tau) = \{x_k^1(\tau), x_k^2(\tau), \dots, x_k^K(\tau)\}, x_k(\tau) \in K', \\
 x_l(\tau) = \{x_l^1(\tau), x_l^2(\tau), \dots, x_l^L(\tau)\}, x_l(\tau) \in L', \\
 \dots \\
 x_v(\tau) = \{x_v^1(\tau), x_v^2(\tau), \dots, x_v^V(\tau)\}, x_v(\tau) \in V', \\
 x_{v+1} = x_{v+1}^{opt}, x_{v+2} = x_{v+2}^{opt}, \dots, x_m = x_m^{opt}; \\
 x_k(\tau) > 0, x_l(\tau) > 0, \dots, x_m(\tau) > 0.
 \end{cases} \quad (12)$$

Для статического режима структурная схема алгоритма будет иметь вид, представленный на Рисунке 2, для динамического – на Рисунке 3.

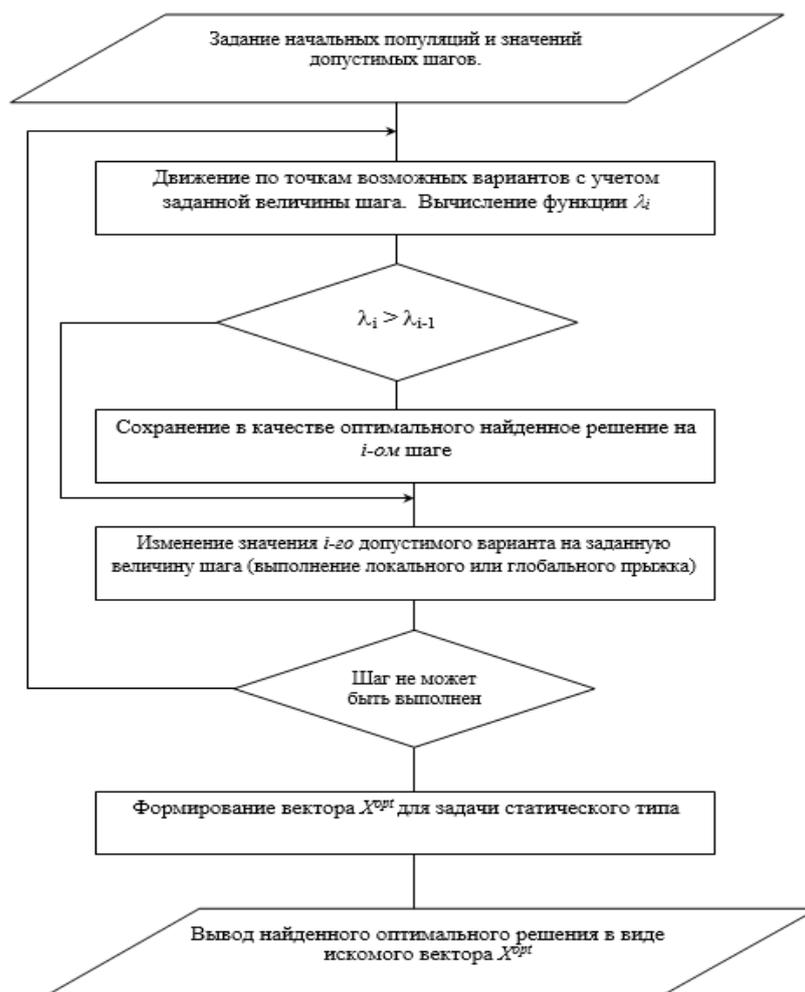


Рисунок 2 - Структурная схема численной процедуры для задачи статического типа на основе адаптивного алгоритма поведения обезьян

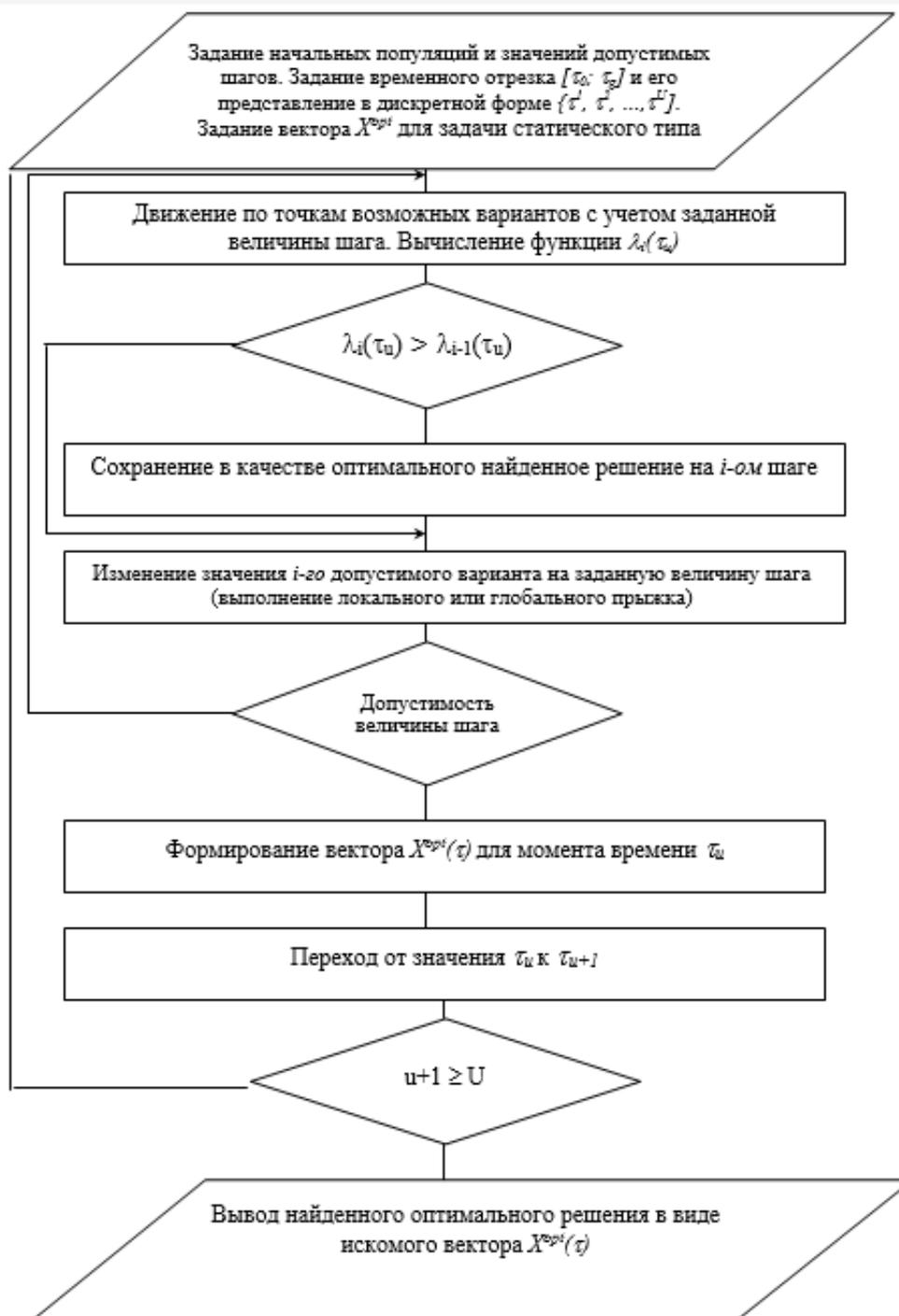


Рисунок 3 – Структурная схема численной процедуры для задачи динамического типа на основе адаптивного алгоритма поведения обезьян

Заключение. Таким образом, с целью повышения функционирования объектов со структурновариативной формой управления целесообразно учитывать статический и динамический режимы функционирования. Исходя из полученных в рамках представленного исследования результатов, можно сделать вывод о том,

что предложенные для этого адаптивные формы алгоритмов, в основе которых лежит алгоритм обезьяньего поиска, являются эффективными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев М.Г. Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы / М.Г. Зайцев, С.Е. Варюхин. - М.: Дело АНХ, 2015. - 640 с.
2. Кочегурова Е.А. Теория и методы оптимизации.: Учебное пособие для академического бакалавриата / Е.А. Кочегурова. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 133 с.
3. Львович И.Я. Имитационное моделирование процесса выбора структуры и параметров технологических систем / И.Я. Львович, В.Н. Фролов // Математическое моделирование: Тез. докл. Всесоюз. конф. Воронеж, 1992. С. 61.
4. Львович И.Я. Структурно-параметрическая оптимизация технологических систем на основе имитационных моделей / И.Я. Львович, В.Н. Фролов // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: Сб. науч. тр. Воронеж: ВПИ, 1991. С. 100-104.
5. Львович Я.Е. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде: монография / Я.Е. Львович. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2010. – 140 с.
6. Тишуков Б.Н. Адаптивный подход к алгоритму обезьяньего поиска для решения задач оптимизации объектов со структурновариативной формой управления в динамическом режиме / Б.Н. Тишуков, Я.Е. Львович // Журнал «Известия Юго-Западного государственного университета». – Курск, Изд-во ЮЗГУ, № 5 (68), 2016. – С. 51-57.
7. Тишуков Б.Н. Разработка процедур численной оптимизации объектов со структурно-вариативным управлением на основе использования популяционных алгоритмов / Б.Н. Тишуков, Я.Е. Львович // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, ФГБОУ ВО «ВГТУ», т.12 № 3, 2016. - С.12-16.
8. Michalewicz Z. Genetic algorithms, numerical optimization and constraints // Proc. of the Sixth Int. Conf. on Genetic Algorithms and their Applications, Pittsburgh, PA, 1995.
9. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1989.

B.N. Tishukov

**IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING
OF OBJECTS WITH STRUCTURALLY-DRIVEN FORM OF CONTROL
BASED ON OPTIMIZATION MODELING**

*Voronezh state technical University,
Voronezh, Russia*

In the article, characteristic features of objects from the structure of the innovative form of control are considered. The properties of objects of this type are determined. An analysis is made of the features of the management of such objects, based on results that can be highlighted by problems arising from their institution. Investigated methods of increasing the efficiency of their use on the basis of the results of optimization modeling. The procedure for the formation of an optimization model for an object for structural problems for a given problem is described, as well as a generalized scheme for finding its solutions. The generalized scheme can be represented in the following form: formation of parameters of the optimization model of the object; Determination of the degree of significance of the optimality criteria; formalized representation of the optimization model of the problem being solved; choice of numerical methods and algorithms for finding the optimal solution; quality control (s) in the course of solving the value (s) for optimality. On the basis of the proposed generalized scheme and properties of the type being studied, the development of adaptive algorithms is being implemented to increase the efficiency of using the class of objects under consideration. A distinctive feature of the proposed algorithm is to solve the tasks of the task in two stages: first consider the static, and then the dynamic modes of operation of objects with structurally-controlled control.

Keywords: object with structurally-driven control, optimization modeling, increasing efficiency, algorithmization.

REFERENCES

1. Zaitsev M.G. Methods of optimization of management and decision-making: examples, tasks, cases / M.G. Zaytsev, S.E. Varyukhin. - Moscow: The ANH, 2015. - 640 c.
2. Kochegurova E.A. Theory and optimization methods .: A manual for academic baccalaureate / E.A. Kochegurova. - Lyubertsy: Yurayt, 2016. - 133 c.
3. Lvovich I.Ya. Simulation modeling of the process of selecting the structure and parameters of technological systems / I.Ya. Lvovich, V.N. Frolov // Matematicheskoe Modelirovanie: Tez. doc. All-Union. Conf. Voronezh, 1992. With. 61.
4. Lvovich I.Ya. Structurally-parametrical optimization of technological systems on the basis of imitation models / I.Ya. Lvovich, V.N. Frolov // Optimization and modeling in automated systems: Sat. sci. tr. Voronezh: VPI, 1991. S. 100-104.

5. Lvovich Ya.E. Decision-making in an expert-virtual environment: a monograph / Ya.E. Lvovich. - Voronezh: CPI "Scientific Book", 2010. - 140 p.
6. Tishukov B.N. Adaptive approach to the monkey search algorithm for solving optimization problems for objects with a structurally-innovative form of control in a dynamic mode / BN. Tishukov, Ya.E. Lvovich // Journal of "News of the South-Western State University". - Kursk, Izd-vo YuSGU, No. 5 (68), 2016. - P. 51-57.
7. Tishukov B.N. Development of procedures for numerical optimization of objects with structurally variable control based on the use of population algorithms / B.N. Tishukov, Ya.E. Lvovich // Bulletin of the Voronezh State Technical University. - Voronezh, FGBOU V "VSTU", t.12 № 3, 2016. - P.12-16.
8. Michalewicz Z. Genetic algorithms, numerical optimization and constraints // Proc. of the Sixth Int. Conf. on Genetic Algorithms and their Applications, Pittsburgh, PA, 1995.
9. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1989.