

УДК 519.86

**УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПО ВЕРОЯТНОСТНОМУ КРИТЕРИЮ***В.Г. Кучмиев, канд. техн. наук, В.М. Момот, канд. техн. наук**Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"*

Предложен метод выбора параметров стратегии управления организационно-производственными системами в условиях неопределенности на основе использования вероятностных требований к нормативным параметрам состояния системы.

\* \* \*

Запропоновано метод вибору параметрів стратегії керування організаційно-виробничими системами в умовах невизначеності на основі використання імовірнісних вимог до нормативних параметрів стану системи.

\* \* \*

The method of a choice of the control strategy parameters of the organization-industrial systems in conditions of uncertainty on the basis of the probability criterion for systems normative condition parameters utilization is offered.

Состояние всех организационно-производственных систем характеризуется совокупностью значительных их динамических параметров – определенной группы количественных и качественных характеристик, которые в совокупности определяют организационно- производственную систему как объект исследования. В процессе управления происходит смена значений параметров организации в соответствии с поставленной целью.

Основные управляющие воздействия, направленные на достижение организацией поставленной цели, являются откликом на текущее состояние внешней среды организации. Вследствие неопределенности будущих состояний внешней среды организационно-производственной системы имеет место неопределенность и будущих состояний организации. Поэтому при управлении организацией следует учитывать фактор как неопределенности параметров внешней среды, так и организации самой среды, а в качестве модели неопределенности следует использовать их представление в виде случайных параметров. При этом решение задачи оптимизации параметров управления должно быть осуществлено по целевой функции, содержащей в качестве аргументов случайные параметры. Однако оптимизация классическими методами по параметру, входящему

в целевую функцию, и множество ограничений, которыми представляется задача оптимизации, в условиях ее неопределенности, не представляется вполне корректной.

Прогноз значений исследуемых параметров состояния и показателей функционирования организации в условиях их неопределенности в будущих периодах времени могут быть получены с применением математических методов прогнозирования или экспертных оценок [1]. Широко распространены также подходы, основанные на использовании методов стохастического программирования [2], заключающихся на сведениях исходной задачи к виду, который может быть решен известными методами классического анализа и нелинейного программирования, целевые функции которой могут быть вычислены. Однако данные методики ввиду сложности неприменимы для задач высокой размерности, а также в случаях, когда целевая функция имеет негладкий вид.

Поэтому актуальна задача разработки методики, позволяющей выполнять оптимизацию параметров стратегии управления организационно-производственной системой в условиях представления неопределенности внешней и внутренней среды организации в виде случайных параметров.

Рассмотрим метод, оценки состояния и выбора параметров стратегии управления организаций в условиях неопределенности на основе использования аппарата теории вероятностей и математической статистики. При этом исходную задачу рассмотрим в следующей постановке.

Для всех организационно-производственных систем имеются нормативные ограничения по величине целого ряда параметров, характеризующих ее финансовое и экономическое состояние в виде ограничений сверху или снизу:

$$x_1 \leq C_1, \dots, x_j \leq C_j, \dots, x_l \geq C_l, \dots, x_m \geq C_m,$$

где  $x_i (i = 1, m)$  – анализируемые параметры состояния производственной системы;

$C_i (i = 1, m)$  – величина ограничения параметров;

$m$  – количество параметров состояния.

Имеется некоторая выбранная стратегия управления организацией

$$\Theta = f(u_1, u_2, \dots, u_l),$$

где  $u_1, u_2, \dots, u_l$  – изменяемые параметры стратегии. Необходимо выбрать их значения такими, чтобы в рамках заданной стратегии обеспечивалось гарантированное выполнение ограничений нормативных параметров состояния организацией с учетом возможных отклонений параметров внешней среды.

Учет случайной природы параметров внешней среды и параметров самой организации приводит задачу оценки состояния организационно-производственных систем к оценке комплексных вероятностных требований к параметрам состояния организации вида

$$P\{x_1 \leq C_1, \dots, x_j \leq C_j, \dots, x_m \leq C_m\}$$

либо к оценке вероятностных требований по отдельным параметрам состояния [3]:

$$\begin{cases} P\{x_1 \leq C_1\}; \\ \dots \\ P\{x_j \leq C_j\}; \\ P\{x_m \leq C_m\} \end{cases}$$

и сравнения с требуемым уровнем выполнения вероятности.

Рассмотрим процедуру оценки уровня выполнения вероятностных требований.

Очевидно, прежде всего, необходимо восстановить основные причинно-следственные связи между элементами организации, взаимодействиями, структурой, другими параметрами организации и целевой функцией управления организацией, т.е. представить критерий оптимальности как функцию от параметров организации. Нужно представлять себе имеющиеся в распоряжении ресурсы управления организацией и ограничения на их величину и с учетом этого далее исследовать влияние выбранных управляемых параметров на критерий оптимальности. Для этого необходимо разработать простейшую модель функционирования организации относительно поставленной перед ней цели с учетом параметров организации и среды, имеющих случайную природу, и задать их законы распределения с указанием конкретных значений параметров этих законов.

В ходе дальнейшего моделирования случайных параметров организации и среды устанавливается формальная связь между событиями, численными показателями возможности их осуществления и введенным вероятностным критерием. Оценка вероятности невыхода нормального случайного дифференцируемого процесса  $x_i(t)$  за фиксированный уровень  $C$  на некотором интервале времени может быть получена с использованием теории выбросов по приведенным в [3,4] формулам. Вероятности того, что на интервале времени  $[t_0, t_0 + T]$  не будет ни одного пересечения уровня  $C$ , могут быть определены следующим образом:

$$P\{x_i(t) \geq C\} = \lim P\{n^-(T) = 0\} = \exp[-N_1^-(C)T];$$

$$P\{x_i(t) \leq C\} = \lim P\{n^+(T) = 0\} = \exp[-N_1^+(C)T],$$

где  $n^+(T)$  и  $n^-(T)$  - число положительных и отрицательных пересечений уровня  $C$  на рассматриваемом интервале времени  $[t_0, t_0 + T]$ ;

$N_1^+(C)$  и  $N_1^-(C)$  - среднее число положительных и отрицательных пересечений уровня  $C$  в единицу времени, определяемых по формулам:

$$N_1^+(C, T) = \int_{t_0}^{t_0+T} J^+(C, t) dt;$$

$$N_1^-(C, T) = \int_{t_0}^{t_0+T} J^-(C, t) dt,$$

где  $J^-(C, t) = \frac{\sigma_1 \sqrt{1-R_1^2}}{2\pi\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{C-m}{\sigma}\right)^2\right] * \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}M^2\right) - \sqrt{2\pi}M\Phi(M) \right\};$

$$* \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}M^2\right) - \sqrt{2\pi}M\Phi(M) \right\};$$

$$J^+(C, t) = \frac{\sigma_1 \sqrt{1-R_1^2}}{2\pi\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{C-m}{\sigma}\right)^2\right] * \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}M^2\right) + \sqrt{2\pi}M\Phi(M) \right\};$$

$$* \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}M^2\right) + \sqrt{2\pi}M\Phi(M) \right\};$$

$$M = M(t) = \frac{1}{\sqrt{1-R_1^2}} \left( \frac{m_1}{\sigma_1} + R_1 \frac{C-m}{\sigma} \right);$$

$$m_1 = m_1(t) = \frac{dm(t)}{dt};$$

$$\sigma_1^2 = \sigma_1^2(t) = \frac{\partial^2 K(t_1, t_2)}{\partial t_2} \Big|_{t_1 = t_2 = t};$$

$$R1 = R1(t) = \frac{1}{\sigma\sigma_1} \frac{\partial K(t_1, t_2)}{\partial t_2} \Big|_{t_1 = t_2 = t};$$

$\Phi(Z)$  – табулированный интеграл вероятности;

$m(t), \sigma^2(t)$  – математическое ожидание и дисперсия процесса соответственно;

$K(t_1, t_2)$  – функция корреляции процесса.

Математически задача выбора оптимальных параметров управления организацией по вероятностному критерию может быть записана следующим образом.

Найти такой вектор изменяемых параметров стратегии управления организацией  $u_1^*, u_2^*, \dots, u_l^*$ , принадлежащих допустимой области  $U$ , который обеспечивает

$$P = \max_{u_i \in U} \left\{ P \left[ x_1 \leq C_1, \dots, x_j \leq C_j, x_m \geq C_m \right] \right\}$$

для всех моментов времени  $t \in [0, T]$ .

Очевидно, что в случае предъявления требований к совокупности параметров состояния оптимизация может быть проведена только по приведенному комплексному критерию первого вида. Оптимизация по отдельным вероятностным критериям даст множество несовместных решений, полученных для различных параметров состояния. Поэтому необходимо разработать процедуру определения оптимальных параметров стратегии управления на основе выполнения совместных вероятностных требований для нескольких параметров состояния организации.

Известно, что изменение одних параметров состояния организации влечет за собой изменение других параметров, обусловленное механизмом функционирования и взаимодействия организации с внешней средой. Вследствие этого эффективное управление уровнем вероятностных требований возможно путем изменения параметров организации в рамках выбранной стратегии в ограниченных пределах. Дальнейшее улучшение уровня целевой функции возможно только при переходе к иной стратегии управления из множества возможных.

В связи с этим задача поиска оптимальных управляемых параметров организации по совокупности отдельных вероятностных критериев при заданной стратегии управления может быть заменена задачей поиска управляемых параметров, позволяющих достичь требуемого минимального допустимого уровня выполнения вероятностных требований к отдельным параметрам состояния.

Данная задача математически может быть формализована в следующем виде: найти такие значения изменяемых параметров стратегии управления организацией  $u_1, u_2, \dots, u_l$ , при которых будет выполнено условие

$$P \{ x_j \leq C_j \} \geq P_j^t; t \in [0, T],$$

где  $P_j^t$  – заданный уровень выполнения требования к  $j$ -му параметру состояния.

В случае, если данное условие выполняется для множества наборов параметров стратегии управления, то, очевидно, все они принадлежат области решения. Если параметры управления, удовлетворяющие данному условию, не найдены, то в рамках данной стратегии решение задачи невозможно. Необходимо исследовать другие возможные стратегии управления.

Таким образом, задача поиска оптимального решения по вероятностному критерию для совокупности параметров состояния может быть заменена задачей нахождения совместной области выполнения заданных вероятностных требований ко всем параметрам состояния организации в плоскости ее управляемых параметров.

Данная задача математически записывается в следующем виде: найти такие значения параметров стратегии управления организации  $u_1, u_2, \dots, u_l$ , принадлежащих допустимой области  $U$ , при которых для всех моментов времени  $t \in [0, T]$

выполняется условие

$$\begin{cases} P\{x_1(t) \leq C_1\} \geq P_1^t, \\ \dots \\ P\{x_j(t) \leq C_j\} \geq P_j^t, \\ \dots \\ P\{x_m(t) \leq C_m\} \geq P_m^t, \end{cases}$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – случайные (возмущенные) параметры организации;

$u_1, u_2, \dots, u_l$  – изменяемые параметры стратегии управления организации;

$T$  – рассматриваемый отрезок времени функционирования организации;

$P_j^t$  ( $j = 1, \dots, m$ ) – заданный уровень вероятности.

Построение области выполнения заданных вероятностных требований к параметрам состояния организации проведем в координатах искомого изменяемых параметров стратегии управления. При этом семейство параметров стратегии управления, удовлетворяющее исходной системе ограничений, может

быть получено как пересечение «непустых» множеств, удовлетворяющих отдельным условиям.

Указанную задачу предлагается решать в такой последовательности:

- строятся области обеспечения заданного уровня вероятности нормативных требований к отдельным параметрам состояния системы, т.е. области заданных уровней вероятностных критериев;

- наложив область, обеспечивающую заданную вероятность выполнения условия по одному параметру состояния, на области выполнения вероятностного условия по другим параметрам, построенным в той же системе координат, находим область их пересечения.

Построение  $l$ -мерной области выполнения заданного уровня вероятностных нормативных требований к одному параметру состояния организации осуществляется построением  $l(l-1)/2$  плоских двумерных сечений по следующему алгоритму. На первом этапе в области допустимого изменения параметров осуществляется поиск первой точки, принадлежащей области с заданным уровнем вероятностного критерия с помощью методов случайного поиска [5]. Поиск осуществляется на основе использования псевдослучайной последовательности чисел с равномерным законом распределения, дающим возможность при сравнительно большой выборке обследовать значительную часть области. Если при исследовании этой выборки точка, удовлетворяющая условию принадлежности искомого области, не обнаружена, следовательно, подобласть является «пустой», заданные требования в рамках исследуемой стратегии выполнить невозможно и построение области прекращается.

В случае нахождения первой точки искомого области на втором этапе поиска определяется точка, принадлежащая границе искомого области. Для этого может быть использован метод движения по вертикальным или горизонтальным прямым с проверкой условия в узлах, образуемых координатной сеткой.

Очевидно, что если значение функционала в одной из точек  $(k_1 + nh_1; k_2 + nh_2)$  или

$$(k_1 + (n+1)h_1; k_2 + (n+1)h_2),$$

где  $n$  – номер шага по прямой, а  $h_1$  и  $h_2$  – соответственно величины приращения координат за один шаг, удовлетворяют условиям  $P_i \geq P_i'$ , а во второй  $P_i \leq P_i'$ , то существует точка с координатами  $(k_1 + \theta h_1; k_2 + \theta h_2)$ , где  $n < \theta < n+1$ , в которой выполняется строгое равенство  $P_i = P_i'$ . Величина  $\theta$  может быть определена путем прохождения отрезка между двумя найденными точками с более мелким шагом или более точно методом интерполяции вдоль прямой. На третьем этапе осуществляется собственно построение границы области с заданным уровнем выполнения вероятностного требования методом обхода вдоль границы [6].

Очевидно, при использовании комплексного критерия к совокупности параметров состояния организации первого вида необходимо построение области, в которой выполняется условие

$$P\{x_1(t) \leq C_1, \dots, x_j(t) \leq C_j, \dots, x_m(t) \geq C_m\} \geq P.$$

Выбор параметров внутри полученной области дает множество наборов изменяемых параметров стратегии управления организационно-производственной системы, обеспечивающих выполнение совокупности вероятностных нормативных условий к параметрам состояния.

### Заключение

Предложенная методика выбора параметров стратегии управления организационно-производственными системами в условиях неопределенности позволяет проводить выбор параметров стратегии, обеспечивающих заданную вероятность соблюдения уровня нормативных ограничений как к отдельным параметрам состояния системы, так и совокупности параметров состояния, а также позволяет осуществ-

лять последовательный анализ возможных стратегий управления по указанному критерию в целях выбора наилучшей. Предложенный подход выбора стратегии управления организацией в условиях неопределенности отличается наглядностью и применим для широкого класса производственных систем.

### Литература

1. Рабочая книга по прогнозированию. – М.: Мысль, 1982. – 430 с.
2. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 400 с.
3. Кучмиев В.Г., Момот В.М. Анализ функционирования организационно-производственных структур в условиях неопределенности // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х., 2002. – Вип. 34. – С. 233-236.
4. Кучмиев В.Г., Момот В.М. Метод оценки показателей функционирования экономических структур // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – Х., 2002. – Вип. 11. – С. 105-109.
5. Растринин Л.А. Случайный поиск в задачах оптимизации многопараметрических систем. – Рига.: Зинатне, 1965. – 211 с.
6. Чернецкий В.И., Дидук Г.А., Потапенко А.А. Математические методы и алгоритмы исследования автоматических систем. – Л.: Энергия, 1970. – 374 с.

*Поступила в редакцию 19.12.02*

**Рецензенты:** д-р техн. наук, доцент Чумаченко И.В., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков; д-р техн. наук, профессор Вартанян В.М., ОАО «Авиаконтроль», г. Харьков.