УДК 621.396.6.001.57(08)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

А.Н. Блохин

Кафедра «Информационные процессы и управление», ГОУ ВПО «ТГТУ»; vbl@tmb.ru

Представлена членом редколлегии профессором С.И. Дворецким

Ключевые слова и фразы: динамическая система; классификация моделей; методика анализа системы; показатели систем; траектории изменения состояний функционирования; управленческие решения.

Аннотация: Рассматриваются особенности введения множеств состояний функционирования для развивающихся систем. Даются определения моделей систем различных классов. Приводятся методики моделирования развивающихся систем, для которых множества состояний функционирования имеют динамичную природу.

Введение

Экономические, промышленные, социальные, природные и другие сложные системы в зависимости от эволюции изменения их выходных показателей в пределах определенного временного интервала могут быть разделены на три класса – развивающиеся, деградирующие и нейтральные. Характерными признаками развивающихся систем являются: рост основных количественных показателей, которые востребованы для устойчивого развития общества; увеличение конкурентоспособности и инновационности. Для деградирующих сложных систем имеет место преобладание необратимых негативных тенденций в изменении экономических, социальных и экологических показателей. Нейтральные системы занимают промежуточное положение между развивающимися и деградирующими системами. В зависимости от воздействия внешних и внутренних факторов нейтральные системы могут стать развивающимися или деградирующими.

В качестве примера сложной системы рассмотрим ОАО «Тамбовоблгаз». Основной задачей организации является обеспечение надежности и бесперебойной подачи газа потребителям. Изменение ряда показателей за последние годы, приведенное в табл. 1, а также краткосрочный прогноз объемов работ показывают, что данная организация может рассматриваться как развивающаяся система (табл. 2).

Для развивающихся систем (**РС**) наряду с задачами, характерными для всех сложных систем (моделирование, принятие проектных и управленческих решений, управление рисками и т.д.), имеют место специфические тактические и стратегические задачи, определяемые принадлежностью к определенной отрасли. Кроме того могут изменяться приоритеты решаемых традиционных задач.

Важное значение для обеспечения устойчивого развития сложных систем имеют следующие задачи.

Таблица 1

Динамика роста показателей за последние годы

Выходные показатели	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Эксплуатируемые наружные газопроводы, тыс. км	8,26	8,87	9,69	10,47
Шкафные регуляторные пункты (**ШРП**), шт.	1134	1325	1484	1683
Отопительные аппараты, тыс. шт.	108	121	124,5	131,9
Строительство новых газопроводов, км	432	606	817	785
в том числе полиэтиленовых, км	192	282	541	539
Прибыль от продаж за счет транспортировки природного газа, млн руб.	–	99,6	111,79	154,47
Чистая прибыль, млн руб.	–	32,97	52,31	88,2

Таблица 2

Прогноз изменения показателей

Показатели, характеризующие прогнозируемые объемы работ	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Строительство газопроводов, км	959	1023	1054	1062
Газификация квартир (домовладений), тыс.	16,6	16,8	17,5	18
Объемы финансирования мероприятий целевой программы по газификации, млрд руб.	1,92	2,31	2,75	2,79

1. Определение ключевых показателей, отражающих процесс развития, и их значений в среднесрочном и долгосрочном прогнозах, при которых система не перейдет в категорию нейтральных.

2. Оценка значений ключевых показателей у основных конкурентов. Оценка риска появления новых конкурентов и управление рисками.

3. Построение «динамичных» множеств состояний функционирования (**МСФ**) системы и разработка моделей ее функционирования для новых значений состояний функционирования.

4. Разработка концептуальных моделей системы применительно к среднесрочным и долгосрочным периодам функционирования.

5. Управление инновациями, необходимыми для устойчивого развития системы.

Достаточно полно возможные состояния функционирования при длительной эксплуатации системы отражает МСФ, в котором наряду с состояниями работоспособности (безаварийности) учитываются производственные ситуации, то есть смены режимов работы, связанные с новыми производственными заданиями, изменения постановок задач управления, появление интенсивных внешних воздействий и т.д. [1, 2].

Вместе с тем, такое МСФ не позволяет учитывать меняющуюся обстановку внешнего окружения. Это может быть связано, например, с обострением конкурентной борьбы, изменением запросов потребителей, цен на энергоносители, сырье, а также других факторов, для которых нет достаточного статистического материала, и они могут быть описаны лишь на качественном уровне. Для описания такого рода ситуаций при оперативном принятии решений используются нечеткие множества (**НМ**) [3, 4]. Математический аппарат анализа НМ существенно отличается от методов, используемых для анализа МСФ. Поэтому для комплексного учета всех факторов требуется введение обобщенного или расширенного множества состояний функционирования (**РМСФ**) развивающейся системы, которое интегрированно учитывает все возможные ситуации как самой системы, так и ее окружения при реальной эксплуатации [5]. Вводимое РМСФ, обозначим его $\mathbf{H}$, должно обладать следующими свойствами: комплексно учитывать факторы надежности (безаварийности) внутренней среды и внешнего окружения системы; каждое состояние РМСФ, то есть значение переменной $h \in \mathbf{H}$, должно характеризоваться одним показателем, который имеет вероятностную природу и удовлетворяет условию нормировки. Состав РМСФ и вероятности состояний развивающихся систем со временем изменяются. Изменение значений переменной h происходит, как правило, в случайные моменты времени и задается оператором

$$\gamma: \mathbf{T} \times \mathbf{H} \to \mathbf{H}, \tag{1}$$

где $\mathbf{T}$ – множество моментов времени t.

При рассмотрении РС как динамической системы на МСФ каждому значению $h \in \mathbf{H}$ соответствует пара операторов: переходная функция φ_h и выходное отражение ψ_h, при этом $\varphi_h \in \Phi$, $\psi_h \in \Psi$, и оператор η изменения φ_h, ψ_h в зависимости от h, то есть имеют место отображения

$$\varphi_h : \mathbf{Z} \times \mathbf{X}_{(\cdot)} \times \mathbf{T} \times \mathbf{T} \to \mathbf{Z}, \tag{2}$$

$$\psi_h : \mathbf{Z} \times \mathbf{T} \to \mathbf{Y}, \tag{3}$$

$$\eta: \mathbf{T} \times \mathbf{H} \to (\Phi, \Psi), \tag{4}$$

здесь $\mathbf{Z}, \mathbf{Y}$ – множества значений векторов фазовых координат z и выхода y соответственно; $\mathbf{X}_{(\cdot)}$ – множество возможных траекторий $x(\cdot) = (x(t), t \in [t_0, t_к])$ входа x на рассматриваемом интервале $[t_0, t_к]$.

Модель функционирования РС, учитывающую изменение переменной h, будем называть расширенной (обобщенной), или моделью на РМСФ, и обозначать $\mathbf{M}$. Модель $\mathbf{M}$ задается в виде

$$\mathbf{M} = (\mathbf{Z}, \mathbf{X}_{(\cdot)}, \mathbf{Y}, \mathbf{H}; \Phi, \Psi, \gamma, \eta). \tag{5}$$

Следует заметить, что в общем случае в модели (5) при изменении h могут меняться размерности и состав векторов z, x и y. Таким образом, в модели РС на множестве $\mathbf{H}$ учитываются два рода процессов. Процессы первого рода связаны с изменением переменных, характеризующих производственные операции, выполняемые работы, измеряемые значения показателей производительности, качества и т.п. Состояние РС относительно этих процессов в каждый момент времени определяется вектором z, а требуемые значения выходной переменной y обеспечиваются вектором управления, входящим в состав x. Процессы второго рода отражают изменения параметров, структуры и условий функционирования РС. Совместное рассмотрение процессов первого и второго рода в РС позволяет более полно исследовать свойства систем, решать задачи повышения их эффективности и устойчивого развития.

Важной особенностью РМСФ развивающихся систем является то, что состав множества $\mathbf{H}$ претерпевает изменения во времени, то есть множество $\mathbf{H}$ следует рассматривать как функцию $\mathbf{H}(t)$. Такое множество $\mathbf{H}(t)$ будем называть «динамичным» или «нестационарным». Изменение состава $\mathbf{H}(t)$ может вызываться следующими причинами: добавление новых частей сложной системы или числа выполняемых функций, расширение сферы условий эксплуатации, появление новых сегментов рынка и т.д. При эволюции множества $\mathbf{H}$ соответственно изменяются и значения вероятностей состояний функционирования как за счет появления новых значений h, так и вследствие перераспределения ролей (степеней влияния) отдельных состояний.

В зависимости от особенностей РМСФ возможны разные классы моделей, используемых при решении задач управления развивающимися системами. Наиболее часто востребованные модели приведены в табл. 3. Состав и формирование множеств $\mathbf{H}$, $\mathbf{H}_p$, $\mathbf{H}_{(\cdot)}$ описаны в [1, 2]. Для систем $\mathbf{M}_{\mathbf{H}(\cdot)}$ понятие «неизвестности» траектории $h(\cdot)$ следует понимать в том смысле, что либо новые состояния h не идентифицируются, либо изменения h не могут быть использованы для коррекции принятого в момент времени t_0 решения.

Множества $\mathbf{H}(t)$ и $\mathbf{H}_p(t)$ ранее в научной литературе не рассматривались, эти множества имеют более сложную структуру, которая претерпевает изменения во времени. В основе «нестационарного» множества $\mathbf{H}(t)$ лежит множество $\mathbf{H}_0 = \mathbf{H}(t_0)$ для начального момента времени t_0. Учитывая планируемые изменения архитектуры развивающейся системы, возможные проявления новых воздействий внешнего окружения, множество $\mathbf{H}(t_0)$ дополняется новыми состояниями (множество $\Delta\mathbf{H}(t)$). Введение новых состояний может быть связано с экономическими, техническими и социальными факторами. Определение вероятностей $p(h),\ h \in \mathbf{H}(t)$ для множества $\mathbf{H}_p(t)$ производится при каждом изменении состава $\mathbf{H}(t)$ традиционными методами [6, 7].

Следует заметить, что в отдельных случаях состав множества $\mathbf{H}(t)$ может сохраняться во времени $\mathbf{H}(t) = \mathbf{H}$, однако вероятности состояний $p(h) \in \mathbf{H}$ изменяются. Это может быть связано, например, с возрастанием вероятности нарушений технического характера вследствие увеличения общей длины газопроводов и числа абонентов (см. табл. 2).

Таким образом, в соответствии с классификацией, приведенной в табл. 3, при управлении РС могут использоваться шесть классов моделей на множестве $\mathbf{H}$: $\mathbf{M}_{\hat{h}}$, $\mathbf{M}_{\mathbf{H}}$, $\mathbf{M}_{\hat{h}(\cdot)}$, $\mathbf{M}_{\mathbf{H}(\cdot)}$, $\mathbf{M}_{\hat{h}_t(\cdot)}$, $\mathbf{M}_{\mathbf{H}_t(\cdot)}$.

Определение 1. Модель РС принадлежит к первому классу на множестве $\mathbf{H}$, если для каждого рассматриваемого интервала времени T значение h постоянно и известно. На интервале T модель первого класса $\mathbf{M}_h$ описывается парой операторов φ_h, ψ_h, а в общем случае (для всех интервалов времени) модель представляет собой множество пар операторов $\{(\varphi_h, \psi_h),\ h \in \mathbf{H}\}$. Таким образом,

$$\mathbf{M}_h : \forall T \in \mathbf{T} \times \mathbf{T},\ \forall t \in T \quad h(t) = \hat{h} = \text{const},\ (\varphi_h, \psi_h) = \eta(\hat{h}). \tag{6}$$

Модели $\mathbf{M}_h$ используются для исследования систем в различных критических ситуациях. Изменения h в этих объектах происходят редко, и отрезки времени между моментами смены значений h можно рассматривать как интервалы T.

Определение 2. Модель РС относится ко второму классу на РМСФ, если значение h на интервале времени T постоянно, однако оно неизвестно, а известны вероятности $p(h/T),\ h \in \mathbf{H}$ возможных значений h. Для модели системы второго класса имеет место

Таблица 3

Классификация моделей развивающихся систем на множестве состояний функционирования

№ классов моделей	Условные обозначения модели	Характеристика РМСФ	Особенность использования модели для рассматриваемого временного интервала	Решаемые задачи
1	2	3	4	5
1	$\mathbf{M}_{\hat{h}}$	$\mathbf{H} = \{\hat{h}_i, i = \overline{1, n}\}$, дискретное конечное множество, все состояния известны. Значения востребованные состояния функционирования (**ВСФ**) могут быть неизвестны	Для решаемой задачи используется модель применительно к одному известному состоянию $\hat{h}$	Анализ системы в критических ситуациях
2	$\mathbf{M}_{\mathbf{H}}$	$\mathbf{H}_p = \{h_i, p(h_i);\ i = \overline{1, n}\}$, дискретное конечное множество с известными ВСФ	Задача решается в предположении, что на рассматриваемом временном интервале имеет место одно из возможных значений h (заранее неизвестно какое)	Принятие управленческих решений в условиях неопределенности для коротких временных интервалов, при краткосрочном прогнозе
3	$\mathbf{M}_{\hat{h}(\cdot)}$	$\mathbf{H} = \{\hat{h}_i, i = \overline{1, n}\}$, на основе множества $\mathbf{H}$ формируются траектории $\hat{h}(\cdot) = (h(t) = \hat{h}_{(1)},\ t \in [t_0,\ t_1)$; $h(t) = \hat{h}_{(2)}, t \in [t_0, t_2), \ldots,$; $h(t) = \hat{h}_{(k)}, t \in [t_{k-1}, t_k))$	При решении задачи в случайные моменты времени могут изменяться значения переменной h, новое значение сразу становится известным	Задачи управления среднесрочными проектами, принятие управленческих решений тактического характера
1	2	3	4	5
4	$\mathbf{M}_{\mathbf{H}(\cdot)}$	$(\mathbf{H}_p, \gamma, \mathbf{H}_{(\cdot)})$, $\mathbf{H}_{(\cdot)} = \{h_j(\cdot), j = 1, 2, \ldots\}$ –	На рассматриваемом временном интервале значения h могут изменяться, необходимо учитывать возможные траектории $h_j(\cdot)$, ко-	Принятие управленческих решений тактического характера в условиях неопределенности

		множество траекторий $h_j(\cdot)$, получаемых на основе множеств $\mathbf{H}_p$ с использованием операторов γ	торые заранее неизвестны	
5	$\mathbf{M}_{\hat{h}_t(\cdot)}$	$\mathbf{H}(t)=\mathbf{H}(t_0)\cup\Delta\mathbf{H}(t)$ – на основе нестационарного множества $\mathbf{H}(t)$ формируются траектории $\hat{h}_t(\cdot)$	На длительном временном интервале исследования меняется состав РМСФ и состояния *h*, значения которых идентифицируются	Принятие стратегических решений. Управление долгосрочными проектами
6	$\mathbf{M}_{\mathbf{H}_t(\cdot)}$	$\mathbf{H}_p(t)=\mathbf{H}_p(t_0)\cup\Delta\mathbf{H}_p(t)$, $\left(\mathbf{H}_p(t),\gamma^t,\mathbf{H}_{t(\cdot)}(t)\right)$, $\mathbf{H}_{t(\cdot)}=\{h_j(\cdot), j=1,2,...\}$ – множество траекторий $h_j(\cdot)$, получаемых на основе нестационарного множества $\mathbf{H}_p(t)$ с использование оператора γ^t	На длительном временном интервале исследования меняется состав множества $\mathbf{H}$, вероятности $p(h)$, оператор γ и состояния *h*, которые не идентифицируются	Принятие управленческих решений стратегического характера в условиях неопределенности

$$\forall T \in \mathbf{T} \times \mathbf{T},\ \forall t \in T \quad h(t) = h = \text{const},$$
$$\mathbf{M}_{\mathbf{H}} = \{\varphi_h, \psi_h, p(h/T), h \in \mathbf{H}\}. \qquad (7)$$

Значение вектора $z(t), t \in (t_0, t_к]$ при использовании модели $\mathbf{M}_{\mathbf{H}}$ есть случайная величина с распределением $\mathbf{P}(\mathbf{H}/\mathbf{T}) = \{p(h/T), h \in \mathbf{H}\}$. Свойства моделей $\mathbf{M}_{\mathrm{H}}$ аналогичны моделям стохастических систем и систем, описываемых дифференциальными включениями [8, 9] .

Определение 3. Модель РС принадлежит к третьему классу на множестве $\mathbf{H}$, если для нее в пределах временного интервала $T = [t_0, t_к]$ переменная h может изменяться, при этом значение h в текущий момент времени $t \in T$ идентифицируется (известно). Модель третьего класса, обозначим ее $\mathbf{M}_{h(\cdot)}$, представляет собой кусочно-постоянную траекторию изменения пары операторов (φ_h, ψ_h), моменты переключения $t_j \in T,\ j = \overline{1, \nu}$ (их число ν) в общем случае случайны и соответствуют сменам значений h в траектории

$$\hat{h}(\cdot) = \left\{h(t) = \hat{h}_{(0)}, t \in [t_0, t_1);\ h(t) = \hat{h}_{(1)}, t \in [t_1, t_2); \ldots;\ h(t) = \hat{h}_{(\nu)}, t \in [t_\nu, t_к]\right\}. \qquad (8)$$

Для модели $\mathbf{M}_{h(\cdot)}$ имеет место

$$\forall T \in \mathbf{T} \times \mathbf{T},\ \forall t \in T,\ \forall s \in [t_0, t] \quad h(s) = \hat{h}(s),$$
$$\mathbf{M}_{\hat{h}(\cdot)} = \left\{\left(\varphi_{h(0)}, \psi_{h(0)}\right), t \in [t_0, t_1);\ \left(\varphi_{h(1)}, \psi_{h(1)}\right), t \in [t_1, t_2);\ \ldots; \qquad (9)$$
$$\left(\varphi_{h(\nu)}, \psi_{h(\nu)}\right), t \in [t_\nu, t_к]\right\},$$

где $\hat{h}(s)$ – идентифицированное значение $h(s)$.

Модели $\mathbf{M}_{\hat{h}(\cdot)}$ могут быть представлены дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью (уравнения Каратеодори), в том числе, при задаваемых (программируемых) моментах переключений $t_j, j = \overline{1, \nu}$, и другими видами [10, 11].

Определение 4. Модель РС относится к четвертому классу на РМСФ, если в пределах интервала T переменная h может изменять свои значения, но, в отличие от модели $\mathbf{M}_{\hat{h}(\cdot)}$, траектория $h(\cdot)$ (см. (8)) неизвестна. При моделировании систем четвертого класса на интервале T рассматривается множество различных траекторий $h(\cdot)$, начинающихся при начальном состоянии $h(t_0) = \hat{h}_{(0)}$ в соответствии с оператором γ. В качестве γ может рассматриваться граф G изменения состояний функционирования [7] .

Модель системы четвертого класса обозначим $\mathbf{M}_{\mathbf{H}(\cdot)}$, для нее имеет место

$$\mathbf{M}_{\mathbf{H}(\cdot)} = \left\{\varphi_{h(\cdot)}, \psi_{h(\cdot)},\ h(\cdot) \in \mathbf{H}_{(\cdot)}/G, h_{(0)}, T\right\}, \qquad (10)$$

где $\mathbf{H}_{(\cdot)}/G, h_{(0)}, T$ – множество траекторий $h(\cdot)$, порождаемых графом G на интервале времени T с начальным состоянием $h_{(0)}$. Используя модель $\mathbf{M}_{\mathbf{H}(\cdot)}$, получается воронка возможных траекторий $z(\cdot) = [z(t), t \in T]$, значение вектора $z(t),\ t > t_0$, как и при модели $\mathbf{M}_{\mathbf{H}}$, представляет собой случайную величину.

Определение 5. Модель РС относится к пятому классу на РМСФ, если в пределах интервала T множество $\mathbf{H}$ претерпевает изменения, в нем добавляются новые состояния, переменная h также изменяет свои значения, при этом значения h в текущие моменты времени $t \in T$ считаются известными. Данную модель обозначим $\mathbf{M}_{\mathbf{H}(t)}$, для нее имеет место:

$$\forall T \in \mathbf{T} \times \mathbf{T},\ \forall t \in T,\ \forall s \in [t_0, t],\quad h(s) = \hat{h}(s),$$
$$h(s) \in \mathbf{H}(t),\quad \mathbf{H}(t) = \mathbf{H}(t_0) \cup \Delta\mathbf{H}(t);$$
$$\mathbf{M}_{\hat{h}_t(\cdot)} = \left\{\left(\varphi_{h(0)}, \psi_{h(0)}\right), t \in [t_0, t_1);\ \left(\varphi_{h(1)}, \psi_{h(1)}\right), t \in [t_1, t_2);\ \ldots; \qquad (11)$$
$$\left(\varphi_{h(\nu)}, \psi_{h(\nu)}\right), t \in [t_\nu, t_к]\right\}.$$

Модели $\mathbf{M}_{\mathbf{H}(t)}$ во многом аналогичны моделям $\mathbf{M}_{\hat{h}(\cdot)}$, то есть могут быть представлены дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью. Однако на временном интервале T могут возникать новые состояния h, которые отсутствуют в $\mathbf{H}(t_0)$, что характерно при долгосрочных исследованиях.

Определение 6. Модель РС относится к шестому классу на МСФ, если на временном интервале T множество $\mathbf{H}$ и переменная h, как и для моделей пятого класса, изменяются, но при этом новые значения h не известны или не могут быть учтены (как в моделях четвертого класса). Модель шестого класса обозначим $\mathbf{M}_{\mathbf{H}_t(\cdot)}$, для генерирования различных траекторий $h(\cdot)$ здесь используется нестационарный оператор $\gamma(t)$, позволяющий рассчитывать вероятности $p(h, t), h \in \mathbf{H}_p(t)$. Для модели $\mathbf{M}_{\mathbf{H}_t(\cdot)}$ имеет место

$$\mathbf{M}_{\mathbf{H}_t(\cdot)} = \left\{\left(\varphi_{h_t(\cdot)}, \psi_{h_t(\cdot)}\right), h_t(\cdot) \in \mathbf{H}_t(\cdot)/\gamma(t), T, h(0)\right\}, \tag{12}$$

здесь $\mathbf{H}_t(\cdot)/\gamma(t), T, h(0)$ – множество траекторий $h(\cdot)$, порождаемых оператором $\gamma(t)$ на временном интервале T с начальным состоянием $h(0)$.

В общем случае модели РС при решении одних задач (или при одних ситуациях) могут иметь свойства одного класса, а при решении других задач – другого.

Наиболее важными для исследования РС являются модели пятого и шестого классов. Исследование этих моделей имеет существенные особенности.

Методика анализа РС с помощью моделей $\mathbf{M}_{\hat{h}(\cdot)}$ содержит следующие этапы.

1. Временнóй интервал исследования $T = [t_0, t_к]$ разбивается на m частей продолжительностью Δt, то есть

$$(t_0,\ t_0 + \Delta t), (t_0 + \Delta t, t_0 + 2\Delta t), ..., (t_0 + (m-1)\Delta t,\ t_0 + m\Delta t = t_к). \tag{13}$$

В качестве Δt выбирается временнóй промежуток, в конце которого обобщается информация об изменениях в системе. Для долгосрочных проектов такими промежутками могут быть квартал, полгода или год.

2. По результатам полученной информации об изменениях в системе за время Δt производится последовательная коррекция множества $\mathbf{H}$, то есть

$$\mathbf{H}(t_0) \to \mathbf{H}(t_0 + \Delta t);\ \ \mathbf{H}(t_0 + \Delta t) \to \mathbf{H}(t_0 + 2\Delta t); \ldots$$

3. С учетом эволюции множеств $\mathbf{H}(t_0), \mathbf{H}(t_0 + \Delta t),\ \mathbf{H}(t_0 + 2\Delta t), ...$ множества Φ и Ψ дополняются новыми операторами φ_h, ψ_h.

4. На временных интервалах (13) производится отслеживание изменения переменной h с учетом множества $\mathbf{H}(t)$, в результате формируется траектория

$$\hat{h}_t(\cdot) = \left(h(t) = \hat{h}_{(1)}, t \in [t_0, t_1); h(t) = \hat{h}_{(2)}, t \in [t_1, t_2); ...; h(t) = \hat{h}_{(\nu)}, t \in [t_{\nu-1},\ t_к)\right),$$

для которой

$$\hat{h}_{(1)} \in \mathbf{H}(t_0),$$

$$\hat{h}_{(2)} \in \begin{cases} \mathbf{H}(t_0), \text{ если } t_1 \in [t_0, t_0 + \Delta t), \\ \mathbf{H}(t_0 + \Delta t), \text{ если } t_1 \in [t_0 + \Delta t, t_0 + 2\Delta t), \\ \quad ... \end{cases}$$

и т.д.

5. В моменты времени $t_1, t_2, ...$ соответствующие «переключению» значений h производится коррекция ранее выработанного решения с учетом нового состояния функционирования.

Примером добавления новых значений переменной h для ОАО «Тамбовоблгаз», то есть увеличения числа элементов множества $\mathbf{H}(t)$ со временем, является возникновение ситуаций с одновременным нарушением двух и более ШРП.

В случае использования моделей класса $\mathbf{M}_{\mathbf{H}_t(\cdot)}$ методика анализа РС заключается в следующем.

1. Временнóй интервал T, как и в предыдущем случае разбивается на m частей (см. (13)).

2. Разрабатывается «модель развития» системы, позволяющая прогнозировать изменение ключевых показателей для моментов времени (13).

3. С помощью «модели развития» рассчитываются приближенные значения выходных показателей, используя которые прогнозируются множества

$$\widetilde{\mathbf{H}}(t_0+\Delta t),\quad \widetilde{\mathbf{H}}(t_0+2\Delta t),... \qquad (14)$$

и т.д.

4. Для множеств (14) разрабатываются операторы

$$\gamma(t_0),\gamma(t_0+\Delta t),\gamma(t_0+2\Delta t),... \qquad (15)$$

расчета вероятностей $p(h)$ для состояний функционирования множеств (14). В результате формируются множества с известными ВСФ

$$H_p(t_0)=\{h_i, p(h_i);\ i=\overline{1,n}\}, H_p(t_0+\Delta t)=\{h_i, p(h_i);\ i=\overline{1,n_i}\},... . \qquad (16)$$

5. На временных интервалах (13) с использованием (15), (16) имитируется множество траекторий $\widetilde{h}_j^t(\cdot),\ j=1,2,...$.

6. Производится оценка эффективности выработанных при $t=t_0$ решений с учетом возможных траекторий $\widetilde{h}_j^t(\cdot),\ j=1,\ 2,\ ...$.

Данная методика используется при решении стратегических задач развития ОАО «Тамбовоблгаз», связанных с долгосрочным прогнозированием.

Список литературы

1. Теоретические основы исследования сложных систем с учетом надежности : учеб. пособие / Ю.Л. Муромцев [и др.]. – М. : Изд-во Моск. ин-та хим. машиностроения, 1987. – 116 с.
2. Моделирование систем : учебник / С.И. Дворецкий [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 320 с.
3. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к решению приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
4. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. – СПб. : БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.
5. Муромцев, Д.Ю. Расширение понятия состояний работоспособности сложных технических систем в задачах управления проектами и рисками / Д.Ю. Муромцев, С.А. Блохин // Надежность. – 2003. – Вып. 11. – С. 141–144.
6. Муромцев, Ю.Л. Определение границ эффективности и работоспособности сложных систем / Ю.Л. Муромцев // Автоматика и телемеханика. – 1988. – № 4. – С. 164–176.
7. Муромцев, Ю.Л. Моделирование и оптимизация систем при изменении состояний функционирования / Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин, О.В. Попова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1992. – 164 с.
8. Аоки, М. Оптимизация стохастических систем / М. Аоки. – М. : Наука, 1971. – 424 с.
9. Благодатских, В.И. Некоторые результаты по теории дифференциальных включений / В.И. Благодатских // Summer school on ordinary Differential Equation. Brno, 1974. Part II. P. 29–67.
10. Филиппов, А.Ф. Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью / А.Ф. Филиппов. – М. : Наука, 1985. – 224 с.

Evolutionary System Modeling on State Set of Functioning

A.N. Blokhin

"Information Processes and Control", TSTU; vbl@tmb.ru

Key words and phrases: dynamic system; managerial decisions; model classification; system analysis technique; system indexes; trajectories of functioning state fluctuations.

Abstract: The paper studies the peculiarities of introduction of state set of functioning for evolutionary systems. The definitions for models of various type models are given. The modeling techniques of evolutionary systems with dynamic state sets of functioning are presented.

References

1. Theoretical grounds for complex system investigation with regard for reliability: ucheb. posobie / Yu.L. Muromtsev [et al.]. – M. : Izd-vo Mosk. in-та him. mashinostroeniya, 1987. – 116 p.
2. System modeling : uchebnik / C.I. Dvoretsky [et al.]. – Tambov : Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2006. – 320 p.
3. Zade, L. Linguistic variable and its application to average solutions / L. Zade. – M. : Mir, 1976. – 165 p.
4. Leonenkov, A.V. Fuzzy modeling in MatLab media and fuzzy TECH / A.V. Leonenkov. – CPb. : BHV – Peterburg, 2003. – 736 p.
5. Muromtsev, D.Yu. Notion enlargement of efficiency state for complex technical systems in project and risk management / D.Yu. Muromtsev, C.A. Blokhin // Nadezhnoct. – 2003. – Vip. 11. – P. 141–144.
6. Muromtsev, Yu.L. Complex systems effectiveness and efficiency limits / Yu.L. Muromtsev // Avtomatika and telemehanika. – 1988. – № 4. – P. 164–176.
7. Muromtsev, Yu.L. System modeling and optimization under functioning state alteration / Yu.L. Muromtsev, L.N. Lyapin, O.V. Popova. – Voronezh : Isd-vo Voronezh. gos. un-ta, 1992. – 164 p.
8. Aoki, M. Stochastic system / M. Aoki. – M. : Nauka, 1971. – 424 p.
9. Blagodatskih, V.I. New data on differential inclusions / V.I. Blagodatskih // Summer school on ordinary Differential Equation. – Brno, 1974. – Part II. – P. 29–67.
10. Filippov, A.F. Differential equations with broken right side / A.F. Filippov. – M. : Nauka, 1985. – 224 p.

Modellierung der entwickelnden Systeme auf der Menge des Funktionierenszustandes

Zusammenfassung: Es werden die Besonderheiten der Einführung der Menge des Funktionierenszustandes für die entwickelnden Systeme betrachtet. Es werden die Definitionen der Modelle der Systeme der verschiedenen Klassen angegeben. Es werden die Methodiken der Modellierung des entwickelnden Systeme, für die die Menge des Funktionierenszustandes die dynamische Natur haben, angeführt.

Modélage des systèmes qui se dévéloppent sur une multitude d'états du fonctionnement

Résumé: Sont examinées les particularités de l'introduction de la multitude d'états du fonctionnement pour les systèmes qui se dévéloppent. Sont données les définitions des modèles des systèmes de différentes classes. Sont citées les méthodes du modélage des systèmes qui se dévéloppent pour lesquels les multitudes d'états du fonctionnement ont la nature dynamique.

Автор ***Блохин Анатолий Николаевич*** – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Тамбовоблгаз», соискатель кафедры «Информационные процессы и управление» ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент ***Муромцев Юрий Леонидович*** – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ГОУ ВПО «ТГТУ».