

УДК 681.518:004:912

В.Н. Бурцев, А.Л. Ерохин

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СЛОЖНООРГАНИЗОВАННЫХ СИСТЕМ И РАСПОЗНАВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ. СООБЩЕНИЕ 2

1. Введение

В работе [1] было введено понятие флуктуационной капсулы, представленной в виде «упругой» оболочки, натянутой на вершины многомерных многогранников, образованных векторами параметров сложно-организованных систем (СОС). Векторы задаются множеством линейных уравнений в трехмерном пространстве, а их скалярные переменные определяют изменение амплитуд их флуктуаций.

В [2] рассмотрен первый этап решения задачи построения способа отображения множества параметров сложно-организованной системы. Предложена модель взаимодействия метрических и нормированных параметров системы со стохастическими возмущениями. Проведен анализ проекций векторов параметров СОС на двумерном множестве. Показано, что объектом теоретических и экспериментальных исследований классификации внештатных и аварийных ситуаций в СОС является определение множества связей—отношений между метрическими и нормированными параметрами со стохастическими возмущениями и влиянием психофизиологических состояний лица, принимающего решения (ПФС ЛПР).

На основе формализованной модели флуктуационной капсулы векторы параметров СОС можно представить в виде множества проекций линейных зависимостей, проходящих через центр капсулы и отображаемых на ее сферической поверхности.

Цель исследования — разработка модели взаимодействий сложно-организованной системы со стохастическими возмущениями и создание на ее основе способа визуализации параметров режимов работы сложно-организованных канализированных систем при нештатных ситуациях. Продолжая начатые в [1] и [2] исследования, необходимо решить следующую задачу — разработать теоретическую модель визуализации стохастических возмущений, которую можно использовать для разработки критериев классификации предаварийных и аварийных ситуаций в СОС.

2. Разработка теоретической модели. Этап 2

Рассмотрим смещение векторов внутри флуктуационной капсулы в результате воздействия на них стохастических возмущений. Зададим подмножество векторов флуктуаций, например, технологических параметров

$$\vec{\varphi}_I = f(a_i, b_i, c_i, \Delta\varphi_i); \Delta\varphi_i \leq 1.0, \quad (1)$$

где a_i, b_i, c_i — упорядоченные по меридианам и широтам единичной сферы угловые коэффициенты векторов; $\Delta\varphi_i \leq 1.0$ — нормированные скалярные переменные векторов.

Введем упорядоченность векторов a_{ij}, b_{kl}, c_{rp} , где $(i, j), (l, m), (r, p) = 1, 2, 3, \dots$ определяют упорядоченное положение вектора по широте и долготе шара.

На основании выбранной упорядоченности составим систему линейных функций и зададим положение векторов в трехмерном метрическом пространстве в виде множества N -линейных зависимостей

$$\begin{aligned} \vec{\varphi}_1 &= a_{11}x + b_{12}y + c_{13}z = 0; \Delta\varphi_1 \leq 1.0, \\ &\dots \dots \\ \vec{\varphi}_j &= a_{j1}x + b_{j2}y + c_{j3}z = 0; \Delta\varphi_j \leq 1.0, \\ &\dots \dots \\ \vec{\varphi}_n &= a_{n1}x + b_{n2}y + c_{n3}z = 0; \Delta\varphi_n \leq 1.0 \end{aligned} \quad (2)$$

с общей точкой пересечения $(0, 0, 0)$.

Для штатных ситуаций угловые коэффициенты a_{ij}, b_{kl}, c_{rp} сохраняют свои значения. С учетом изоморфизма проективного отображения [2] отобразим подмножество векторов параметров (2) на сферической поверхности единичной сферы (на касательной плоскости), при этом проективные отображения $\vec{\varphi}_i$ векторов совместно со скалярными переменными параметров управления $\pm\Delta\zeta_j$ изоморфны $\vec{\varphi}_i$ и скалярной переменной $\pm\Delta\zeta_j^*$:

$$\vec{\varphi}_i(\varphi_I \pm \Delta\zeta_j) \leftrightarrow \vec{\varphi}_i^*(\varphi_I^* \pm \Delta\zeta_j^*). \quad (3)$$

Выражение (3) определяет возможность анализа изменений проекций векторов и их флуктуаций для распознавания предаварийных и аварийных ситуаций.

Считаем, что при взаимодействии метрических технологических параметров $\varphi_i \pm \Delta\zeta_j$ и параметров планирования $\theta_L \pm \Delta\mu_N$ со стохастическими воздействиями t_S возможны следующие ситуации: — скалярные переменные φ_i, θ_L векторов φ_i, θ_L и сами вектора не выходят за пределы единичного интервала;

— скалярные переменные φ_i, θ_L векторов $\vec{\varphi}_i, \vec{\theta}_L$ не выходят за пределы единичного интервала, а век-

торы изменяют свои направления внутри единичного шара;

– скалярные переменные φ_I, θ_L выходят за пределы единичного интервала, векторы $\vec{\varphi}_I, \vec{\theta}_L$ изменяют свое положение.

Ввиду того, что стохастические процессы являются фактором неопределенности, характер процесса их взаимодействия с параметрами является стохастическим. Следовательно, положения проекций векторов оказываются распределенными стохастическим образом внутри основания конуса $(\Phi^2) \leftrightarrow (\Phi^{2*})$, образованного вращением векторов с вершиной $(0,0,0)$, спроецированного на сферической поверхности флукуационной капсулы.

Для удобства изложения проекцию основания конуса на поверхности сферы (на касательную плоскости) используем понятие прецессии. Если в качестве двумерной области прецессии (Φ_n^2) выбрать эллипс (рис. 1), то его большой диаметр D_{\max} соответствует проекции открытого интервала изменений амплитуд флукуаций на линейном единичном интервале

$$\begin{aligned} (\varphi_I - \Delta_{\max}) &\leq \varphi_I \leq (\varphi_I + \Delta_{\max}), \\ (\theta_L - \Delta_{\max}) &\leq \theta_L \leq (\theta_L + \Delta_{\max}), \\ (\pm \Delta_{\max}) &\in D_{\max} \subset (\Phi_m^2). \end{aligned} \quad (4)$$

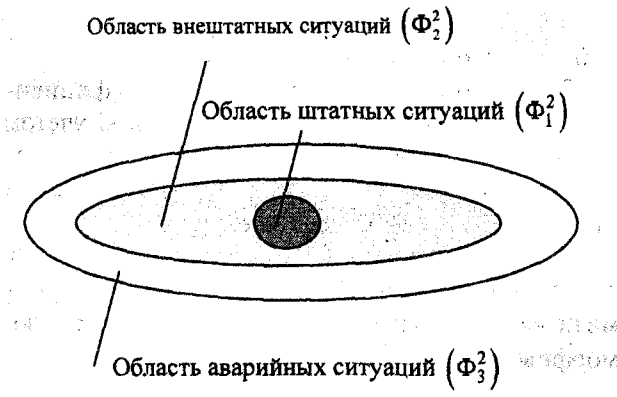


Рис. 1. Двумерная область прецессии

Тогда будем предполагать, что малый диаметр прецессии D_{\min} будет определять максимальное значение флукуаций векторов $\vec{\varphi}_I, \vec{\theta}_L$ в открытых интервалах

$$\begin{aligned} (\varphi_I - \Delta_{\min}) &\leq \varphi_I \leq (\varphi_I + \Delta_{\min}), \\ (\theta_L - \Delta_{\min}) &\leq \theta_L \leq (\theta_L + \Delta_{\min}), \\ (\Delta_{\min}) &\in D_{\min} \subset (\Phi_n^2). \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим полную область прецессии $V^2 = \bigcup_{I=1}^3 \Phi_I^2$. Так как область Φ_1^2 штатных режимов функционирования СОС является управляемой,

исключим ее из первичного анализа и рассмотрим двумерное множество

$$V^{2*} = V^2 / \overline{\Phi_1^2} = \Phi_2^2 \cup \Phi_3^2, \quad (6)$$

где $\overline{\Phi_1^2}$ — замыкание множества, характеризующего штатные ситуации.

Полученные три открытых подмножества

$$(\Phi_1^2) \subset (\Phi_2^2) \subset (\Phi_3^2) \quad (7)$$

могут быть принятыми в качестве базовых критериев для классификации внештатных ситуаций.

Для удобства дальнейшего рассмотрения модели предположим, что распределение вершин векторов параметров СОС внутри области V^{2*} при взаимодействии со стохастическими нагрузками — равномерное. Такое предположение базируется на двух посылах:

- 1) стохастические процессы являются факторами неопределенности и не описываются законами теории вероятности;
- 2) взаимодействия параметров СОС со стохастическими возмущениями носят стохастический характер.

Если исключить на время применение одного из базовых положений синергетики о резонансном хронотопе [3, 4], то правило равномерности распределения стохастических возмущений определяет одинаковую вероятность взаимодействия как с одним из параметров СОС, так и со всеми вместе. Результатом такого взаимодействия в принятой модели является «перемещение» проекции, по крайней мере, одного из векторов на поверхности флукуационной капсулы.

Естественно, что при исследованиях систем связей — отношений между параметрами СОС и стохастическими возмущениями могут быть установлены другие закономерности распределения возмущающих сил, отличные от равномерных, и может быть выделен ряд промежуточных критериев перехода СОС из мета устойчивого состояния в неустойчивое.

Однако в любом случае целью исследований является разработка критериев распознавания переходов параметров системы из одного состояния в другое при и после воздействия стохастических возмущений.

Наиболее простым вариантом является определение замыкания множества $\overline{\Phi_2^2}$ в качестве верхней границы перехода СОС из области предаварийных ситуаций в аварийные. Для этого возможно использование математического аппарата нечеткой логики [5, 6].

Рассмотрим поведение СОС в случае воздействия стохастических возмущений

$$t_i \Rightarrow \varphi_i \pm \Delta_{\max}, \quad (8)$$

когда скалярные переменные векторов параметров выходят за границы единичного интервала. При таком взаимодействии, как было предложено, вектор параметра изменяет свое положение.

При этом изменение амплитуды флуктуации (8) вызывает появление на оболочке единичного шара локального «выброса» с некоторым импульсом, как это представлено на рис. 2.

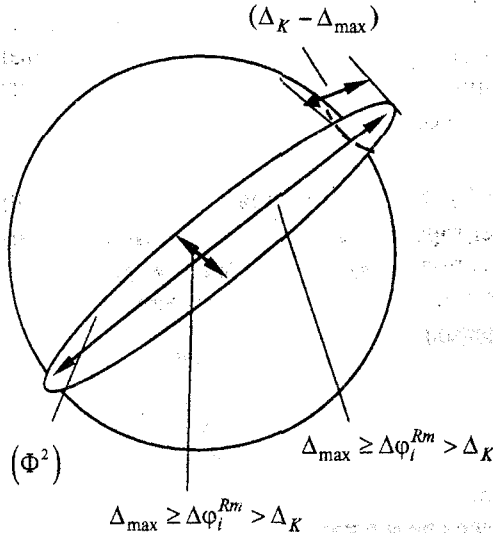


Рис. 2. Флуктуационная капсула с локальным выбросом

При «выбросе» амплитуды скалярной переменной за пределы интервала (8) возможны следующие варианты поведения системы:

- 1) флуктуация параметра имеет «большое» значение амплитуды, но время жизни флуктуации мало, и система, за счет параметров управления, быстро возвращается в метастабильное состояние;
- 2) флуктуация параметра имеет «малое» значение амплитуды с «большим» временем воздействия на флуктуационную капсулу, однако системы управления и поддержки принятия решения возвращают систему из предаварийного состояния в исходное;
- 3) флуктуация параметра имеет «большое» значения амплитуды и длительное время воздействия, приводящие систему к переходу из предаварийного в аварийное состояние.

Определения «большое» и «малые» значения амплитуд и времени воздействия являются относительными и заданы в терминах нечеткой логики. Для вариантов 1 и 2 величина «выброса» амплитуды $(\Delta_K - \Delta_{max})$ параметра φ_i не нарушает регулярности оболочки единичного шара и в дальнейшем это будет означать, что аварийная ситуация в СОС не возникает. Для варианта 3 — регулярность оболочки может быть нарушена, что означает вероятность выхода в аварийное состояние. В формальном виде три варианта поведения системы задаются в виде:

$$\begin{aligned} \forall(\varphi_I \leftrightarrow \varsigma_K), \vec{\varphi}_I \in (\Phi^2)_1; \quad (t_L), (p_{PS}) \simeq 0\ddot{x}, \\ \forall(\varphi_I \leftrightarrow \varsigma_K), \vec{\varphi}_I \in (\Phi^2)_2; \quad (t_L)_{\min}, (p_{PS})_{\min} \neq 0, \\ \dots\dots\dots \\ \forall(\varphi_I \leftrightarrow \varsigma_K) \in (\Phi^2)_3; \quad (t_L)_{\max}, (p_{PS})_{\max} \gg 0, \\ (I, K) = 0, 1, \dots, N, \end{aligned} \quad (9)$$

где $(\varphi_I \leftrightarrow \varsigma_K)$ — функционально связанные технологические параметры и параметры управления; $(t_L), (p_{PS})$ — интенсивности стохастических возмущений и выход ПФС ЛПР за доверительные интервалы их оптимальности.

Изоморфизм проективных отображений присущ всем метрическим и нормированным подмножествам параметров СОС, включая параметры планирования θ_L и корректировок $\Delta\mu_N$. Сформируем подмножество проекций параметров на поверхности единичного шара и, в силу изоморфности проективного отображения, имеем подмножества, изоморфные друг другу

$$\begin{aligned} \varphi_I \leftrightarrow \varphi_I^*, \varsigma_J \leftrightarrow \varsigma_J^*, \theta_K \leftrightarrow \theta_K^*, \mu_N \leftrightarrow \mu_N^* \\ \vec{\varphi}_I \leftrightarrow \vec{\varphi}_I^*, \vec{\varsigma}_J \leftrightarrow \vec{\varsigma}_J^*, \vec{\theta}_K \leftrightarrow \vec{\theta}_K^*, \vec{\mu}_N \leftrightarrow \vec{\mu}_N^* \end{aligned} \quad (10)$$

где $\varphi_I^*, \varsigma_J^*, \theta_K^*, \mu_N^*$ — проекции отображений скалярных переменных на сферической поверхности или на касательной плоскости; $\vec{\varphi}_I^*, \vec{\varsigma}_J^*, \vec{\theta}_K^*, \vec{\mu}_N^*$ — проекции проективных отображений векторов на сферической поверхности или касательной плоскости.

На рис. 3. показана графическая аналогия выражения 10, где Δ прец. обозначена прецессия параметра φ_K^* , находящегося под воздействием стохастического возмущения. Скалярные переменные соответствующих параметров отображаются на сферической поверхности 1 трехмерного шара или на поверхности касательной плоскости 2. При воздействии стохастической нагрузки происходит, например, смещение вектора $\vec{\varphi}_K$ на некоторый угол. Так как по условию построения формальной модели вектор проходит через начало координат, то в его первоначальное положение может быть представлено линейной зависимостью

$$a_K x + b_K y + c_K z = 0. \quad (11)$$

После смещения новое положение вектора $\vec{\varphi}_{K+1}$ также может быть представлено аналогичным выражением

$$a_{K+1} x + b_{K+1} y + c_{K+1} z = 0. \quad (12)$$

Две тройки значений угловых коэффициентов для линейных выражений могут быть приняты в качестве исходного материала для распознавания внештатной ситуации

$$(a_K, b_K, c_K), (a_{K+1}, b_{K+1}, c_{K+1}). \quad (13)$$

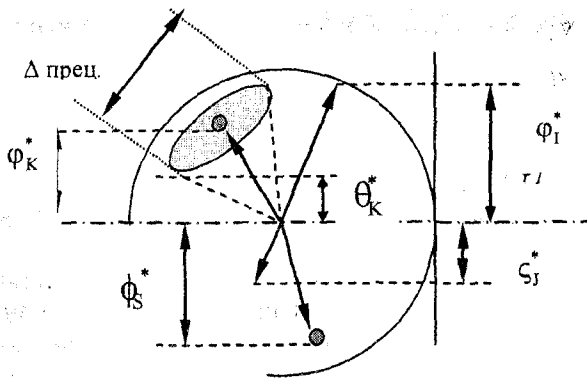


Рис. 3. Графическая аналогия подмножества проекций параметров на поверхности единичного шара

Так как при описании поведения системы предполагалось наличие неопределенности в локализации стохастического взаимодействия, то это приводит к необходимости анализа положения вектора внутри открытой двумерной области прецессии векторов взаимодействующих параметра, образованной проекцией основания конуса с вершиной в начале координат. Эта область окрашена в серый цвет.

Таким образом, выражения (9-13) могут быть приняты в качестве первоначальных условий для классификации предаварийных и аварийных ситуаций.

Для удобства дальнейшего рассмотрения формализованной модели присвоим каждому из множеств (техническое объяснение)

$$(\theta_j), (\varphi_i) \in N, (\zeta_L), (\mu_N) \in K, (p_{PS}) \in P \quad (14)$$

некоторый цвет, например, для параметров $(\varphi_i)^R, (\theta_j)^R \in N$ будет присвоен красный цвет, для параметров планирования и его корректировок $(\zeta_L)^G, (\mu_N)^G \in K$, – зеленый, параметрам ПФСЛПР $(p_{PS})^B \in P$ выберем синий, получив таким образом RGB-триаду основных цветов.

Тогда, с учетом цветовой параметризации и при наличии возмущающих сил, изменяющихся в пределах штатных ситуаций в СОС, выражение (3) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \Phi^R &\subseteq (\theta^R_j \leftrightarrow \varphi^R_i) \in N^R, \\ \Xi^G &\subseteq (\zeta^G_L \leftrightarrow \mu^G_N) \in K^G, \\ P^B &\subseteq (p^B_{PS}) \in P^B. \end{aligned} \quad (15)$$

В таком формальном представлении флуктуационная капсула может быть представлена в виде «единичного шара», у которого:

– в состоянии оптимального функционирования всей СОС или любой из ее подсистем в пределах штатных ситуаций шар «окрашен» в аддитивно «белый» цвет;

– при отсутствии стохастических возмущений $T^B \subseteq (t^B_i) \in R^B$;

– изменения параметров

$$\Phi^R \subseteq (\theta^R_j \leftrightarrow \varphi^R_i) \in N^R, \Xi^G \subseteq (\zeta^G_L \leftrightarrow \mu^G_N) \in K^G$$

будут приводить к увеличению или уменьшению интенсивностей красного и зеленого цветов, что приводит к увеличению желтого компонента при аддитивном смешивании;

– изменения ПФСЛПР $P^B \subseteq (p^B_{PS}) \in P^B$ приводят к увеличению или уменьшению интенсивности синего цвета, в результате чего цвет флуктуационной капсулы приобретает аддитивно «желтый» оттенок;

– при наличии стохастических возмущений $(t^B_i) \gg 0$ за счет появления областей прецессии векторов в окраске флуктуационной капсулы будут появляться разнообразные дополнительные оттенки, отличные от аддитивно белого.

3. Выводы

1. На основе анализа формализованной модели флуктуационной капсулы предложено представлять векторы параметров СОС в виде множества проекций линейных зависимостей, проходящих через центр капсулы и отображаемых на ее сферической поверхности.

2. В формальную модель введено понятие прецессии проекции вектора параметра СОС, находящегося во взаимодействии со стохастической возмущающей силой, представленной в виде открытого двумерного множества, гомеоморфного кругу.

3. Предложены базовые критерии распознавания предаварийных и аварийных ситуаций, в качестве критериев выбраны замыкания открытых множеств прецессий параметров, определяемых посредством математического аппарата нечеткой логики.

4. Для формальной модели введена цветровая параметризация, позволяющая при мониторинге СОС наглядно представить поведение СОС в динамическом режиме изменения параметров при и после воздействия стохастических возмущений, что стимулирует базовую функцию внимания ЛПР.

Список литературы: 1. Бондаренко М.В., Ерохин А.Л. Про моделі позаштатної поведінки інтелектуальних систем // Проблеми біоніки. 2004. Вип. 60. С. 7-16. 2. А.Л. Ерохин, В.Н. Бурцев. Формализация сложноорганизованных систем и распознавание аварийных ситуаций. Сообщение 1 // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. 2004. № 1. С. 74-77. 3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировоззрение. Диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии, 1992, №12. 4. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994. 343 с. 5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с фр. М.: Мир, 1976. 165 с. 6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с фр. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.

Поступила в редколлегию 16.05.2005