

Рис. 1. Представление процесса функционирования крупномасштабной системы

1. Изменяя отношение на оси I (Δ_1).
2. Изменяя отношение на оси II (Δ_2).
3. Изменяя связи значений на оси I со связями значений на оси II (Δ_3).

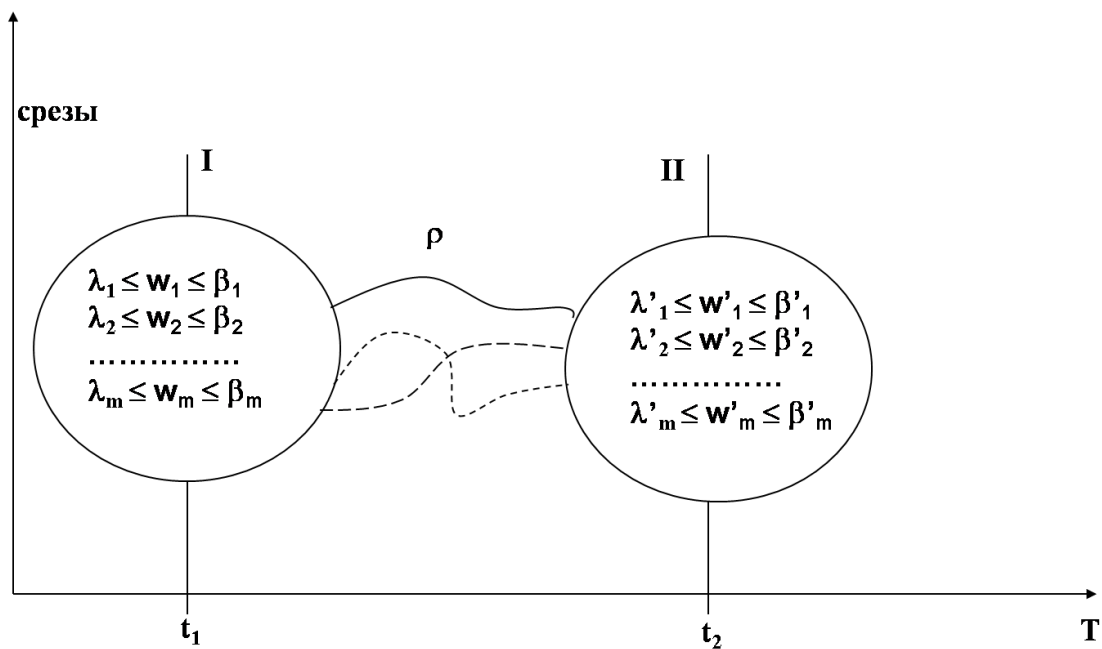


Рис. 2. Уточнение срезов процессов

На рис. 2. Представлено уточнение срезов процессов, которые определены в одной из форм отношений $\lambda \leq w_i \leq \beta$ $w_i \in F_i$.

Для построения связи срезов теоретически рассчитанных и фактически наблюдаемых разработаны фильтры [8]:

$$1. \rho \bullet \Delta_1. \tag{2}$$

$$2. \Delta_2 \bullet \rho. \tag{3}$$

$$3. \rho \cap \Delta_3. \quad (4)$$

$$4. \Delta_2 \bullet \rho \bullet \Delta_1. \quad (5)$$

$$5. (\Delta_2 \bullet \rho \bullet \Delta_1) \cap \Delta_3. \quad (6)$$

На рис. 3 представлена область возможных траекторий, включая штатные и дефектные.

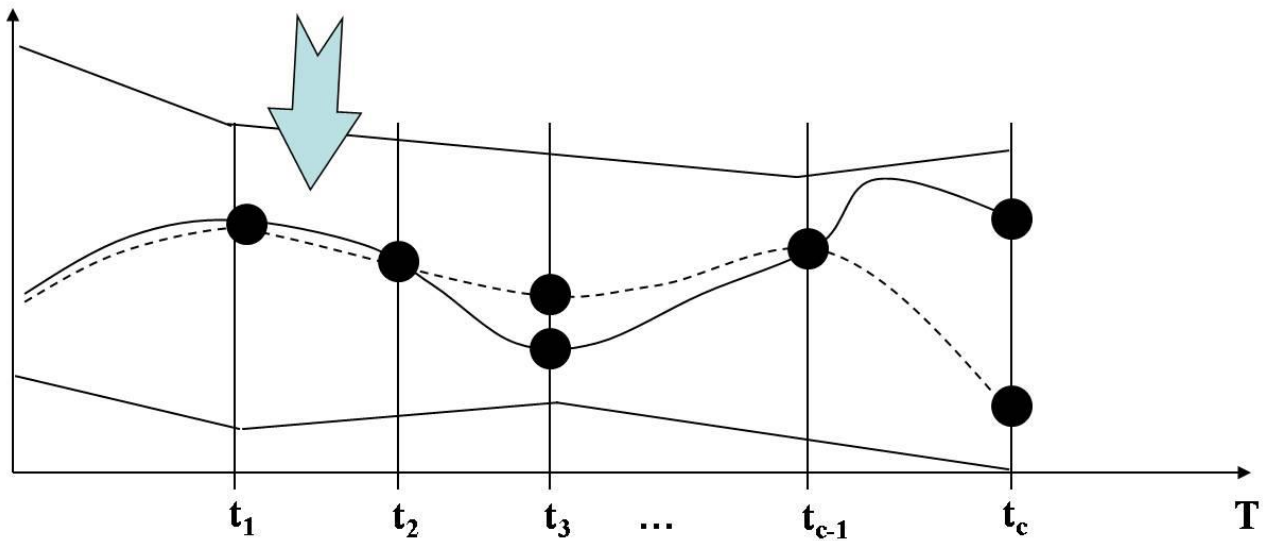


Рис. 3. Область возможных траекторий

Для отображения точек вида (время, срез) в первый квадрант декартовой системы координат предлагается выполнение условий включения или неравенства обозначать логической 1 (истина), а невыполнение – 0. Полученное таким образом двоичное число переведем в десятичное. Выбранные моменты наблюдений закодируем натуральными числами, начиная с t_1 и заканчивая t_c .

Полученные таким образом пары натуральных чисел поместим в первый квадрант декартовой системы координат.

Графическое отображение данного процесса представлено на рис. 4.

3 Результаты применения метода

В качестве примера применения указанных фильтров событий рассмотрим процесс уточнения нескольких характеристик авиационной системы, которые анализируются в рамках расследования причин аварии на этапе посадки воздушного судна.

3.1 Горизонтальная скорость.

Рассмотрим пример применения приведенных фильтров для уточнения причин аварии. Пусть задано для рассмотрения значение горизонтальной скорости V_x :

$$190 \text{ км/ч} \leq V_x \leq 400 \text{ км/ч}.$$

Пусть на начальном этапе расследования

$$\rho = \{(220, 270), (240, 290), (260, 290), (240, 310), (280, 370)\}.$$

На основе анализа характеристик типа воздушного судна имеем следующие математические модели фильтров событий:

$$\Delta_1 = (240);$$

$$\Delta_2 = (310);$$

$$\Delta_3 = \{(340, 280), (240, 310)\}.$$

Применяя в рамках расследования причин аварии указанные фильтры, получаем следующее уточнение характеристик воздушного судна, постепенно отбрасывая те события, которых не могло произойти при аварийной посадке.

$$\text{После первого фильтра } \rho = \{(240, 290), (240, 310)\}.$$

$$\text{После второго фильтра } \rho = \{(240, 310)\}.$$

$$\text{После пересечения с } \Delta_3 \quad \rho = \{(240, 310)\}.$$

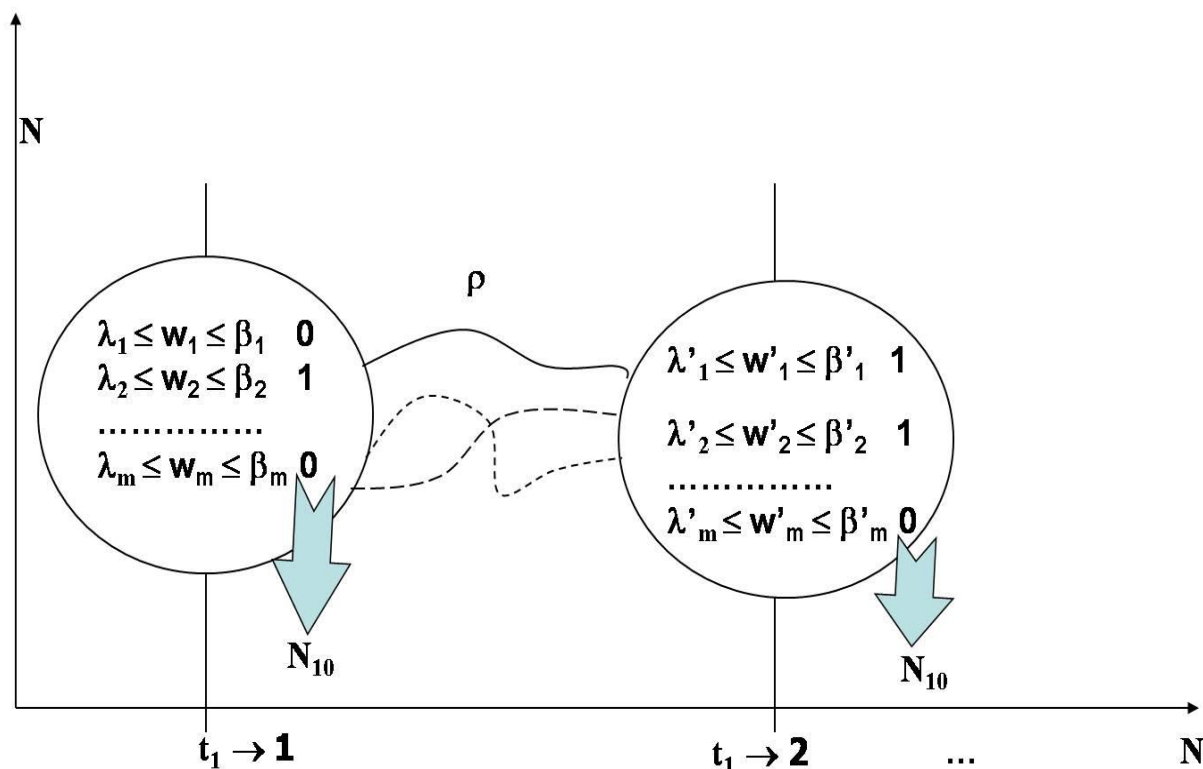


Рис. 4. Кодирование выбранных моментов наблюдений десятичными числами

3.2 Вертикальная скорость.

Рассмотрим второй пример применения приведенных фильтров для уточнения причин аварии. Пусть задано для рассмотрения значение вертикальной скорости V_y :

$$-15 \text{ м/с} \leq V_y \leq 15 \text{ м/с}.$$

На начальном этапе расследования имеем

$$\rho = \{(-12, 15), (-4, 2), (6, 9), (-12, 3), (-10, 0)\}.$$

На основе анализа характеристик авиационной системы имеем следующие математические модели фильтров событий:

$$\Delta_1 = (-12);$$

$$\Delta_2 = (3);$$

$$\Delta_3 = \{(3, 2), (-12, 3), (-7, -1)\}.$$

Применяя в ходе расследования данные фильтры, получаем следующее уточнение характеристик воздушного судна.

После первого фильтра $\rho = \{(-12, 15), (-12, 3)\}$.

После второго фильтра $\rho = \{(-12, 3)\}$.

После пересечения с Δ_3 $\rho = \{(-12, 3)\}$.

3.3 Угол тангажа.

Рассмотрим пример применения приведенных фильтров для уточнения причин аварии. Пусть задано для рассмотрения значение угла тангажа $\gamma_{\text{танг}}$:

$$-12^\circ \leq \gamma_{\text{танг}} \leq 12^\circ.$$

В начале расследования имеем

$$\rho = \{(-12, 5), (-14, 12), (-5, 2), (-2, 2), (-10, 0), (-5, -3), (-15, 12)\}.$$

Далее имеем следующие математические модели фильтров событий:

$$\Delta_1 = (-12), (-5);$$

$$\Delta_2 = (-3), (2);$$

$$\Delta_3 = \{(-5, 2), (-12, 3), (-7, -1)\}.$$

Применяя в рамках расследования причин аварии данные фильтры событий, постепенно отбрасываем те события, которых не могло произойти во время исследуемой посадки.

После первого фильтра $\rho = \{(-12, 5), (-5, 2), (-5, 3)\}$.

После второго фильтра $\rho = \{-5, 2\}$.

После пересечения с Δ_3 $\rho = \{-5, 2\}$.

Заключение

Разработан математический аппарат, создающий методологические основы для разработки специализированных информационных систем нового поколения для поддержки принятия решений при расследовании причин аварий и катастроф в сложных человеко-машинных системах.

Аппарат основан на математических моделях фильтров событий, а также методах, повышающих доказательность, объективность.

Приведены примеры использования данного математического обеспечения для анализа различных характеристик авиационной системы для уточнения причин аварий на этапе посадки воздушного судна.

При условии дальнейшего совершенствования данный подход может быть положен в основу информационной системы [9], упрощающей процедуру принятия решений при расследовании причин аварий и катастроф в крупномасштабных системах.

Литература

1. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1997. – 256 с.
2. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. – М.: Наука, 1993. – 320 с.
3. Иванов А.С., Лапковский Р.Ю., Уков Д.А. и др. Причинно-следственный подход к расследованию аварийных ситуаций в человеко-машинных системах // Мехатроника, автоматизация, управление, 2012. № 2. С. 38-43.
4. Кушникова Е.В., Резчиков А.Ф., Иващенко В.А. и др. Модели минимизации ущерба от атмосферных выбросов промышленных предприятий при неопределенности характеристик состояния окружающей среды // Экология промышленного производства, 2015. № 4 (92). С. 60-65.
5. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Иващенко В.А. и др. Минимизация ущерба от нарушения технологического процесса в сварочных роботизированных технологических комплексах // Мехатроника, автоматизация, управление, 2017. Т. 18. № 5. С. 328-332.
6. Иванов А.С., Лапковский Р.Ю., Уков Д.А. и др. Кибернетический подход к моделированию разнородных процессов в мехатронных системах // Мехатроника, автоматизация, управление, 2011. № 1. С. 16-20.
7. Неймарк М.С., Цесарский Л.Г., Филимонюк Л.Ю. Модель поддержки принятия решений при входе воздушных судов в зону ответственности аэропорта // Полет. Общероссийский научно-технический журнал, 2013. № 3. С. 31-37.
8. Твердохлебов В.А. Основная теорема о критериях эффективности фильтров для бинарных отношений // В сборнике: Компьютерные науки и информационные технологии. Материалы Международной научной конференции. 2012. С. 310-312.
9. Большаков А.А. Синтез интеллектуальных организационно-технических систем управления // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2004. Т. 10. № 4-1. С. 954-959.