

Саратовский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского

Компьютерные науки и информационные технологии
Международная научная конференция памяти

А. М. Богомолова

**Новые подходы в решении проблемы
предупреждения опасных комбинаций событий
при управлении человеко-машинными
и организационно-техническими системами**

**Богомолов Алексей Сергеевич, с.н.с. ИШТМУ РАН,
доцент кафедры МК и КН СГУ**

alexbogomolov@ya.ru

Саратов – 2018

Исследуемая проблема заключается в необходимости разработки и развития моделей и методов системного анализа опасных комбинаций разнородных событий, приводящих к авариям при управлении человеко-машинными и организационно-техническими системами, позволяющих определять управляющие воздействия по предотвращению этих опасных комбинаций

Целью исследования является разработка моделей и методов системного анализа для своевременного предотвращения комбинаций событий, приводящих к авариям при управлении человеко-машинными и организационно-техническими системами

Постановка задачи управления предотвращением опасных комбинаций событий

3

Пусть $\bar{A} = \{A_1, \dots, A_n\}$ – множество аварий, вызываемых опасными комбинациями событий на отрезке времени $[t_n, t_k]$, $P(A, t)$ – вероятность аварии $A \in \bar{A}$, $s(t)$, $x(t)$ – состояние системы и среды, $u(t)$ – управляющие воздействия. Определить такие управляющие воздействия $u(t) \in U(t)$, что при любых $x(t) \in X(t)$

$$\forall t \in [t_n, t_k] P(A_i, t) \leq \varepsilon \text{ при } i = 1, \dots, n$$

и выполняются условие

$$\int_{t_n}^{t_k} F(s(t), x(t), u(t), t) dt \rightarrow \min,$$

с граничными и начальными условиями

$$F_0(s(t_0), x(t_0), u(t_0), t_0) = 0,$$

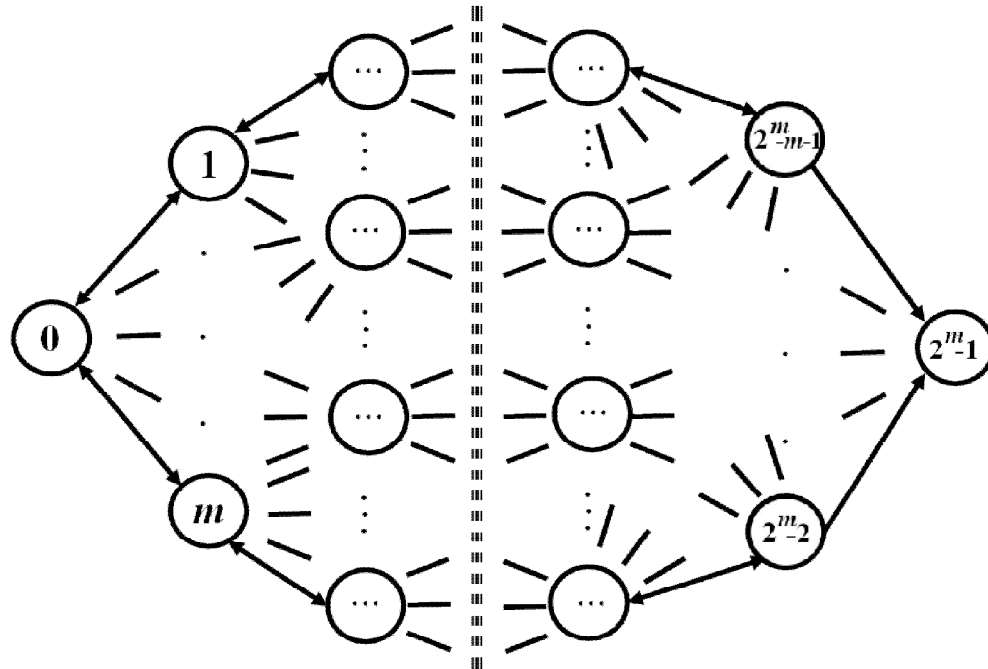
$$F_1(s(t_1), x(t_1), u(t_1), t_1) = 0,$$

$$C(t) \leq F_p(s(t), x(t), t) \leq D(t),$$

определяющие затраты на предотвращение опасных комбинаций событий и связанные с функционированием соответственно целям и нормативам работы систем человеко-машинных и организационных систем.

Математические модели для решения задачи предупреждения опасных комбинаций событий

4



Граф событий – модель процесса развития опасной комбинации

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = \sum_{j=1}^m (\mu_j P_j(t) - \lambda_j P_0(t)) \\ \dots \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=0}^{2^m-1} \pi_{i,j}^+ P_j(t) - P_i(t) \pi_i^- \\ \dots \\ \frac{dP_{2^m-1}(t)}{dt} = \sum_{j=1}^m \lambda_j P_{2^m-m+j-2}(t) \end{array} \right.$$

Система дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена – модель динамики вероятности опасных комбинаций событий

где $\pi_{i,j}^+$ – элемент $\{\lambda_1, \dots, \lambda_m\} \cup \{\mu_1, \dots, \mu_m\}$, помечающий дугу из состояния i в j , если такая существует в графе, и $\pi_{i,j}^+ = 0$, если такой дуги нет; π_i^- – сумма пометок дуг, выходящих из вершины i в другие вершины графа, $i, j \in \{0, \dots, 2^m - 1\}$.

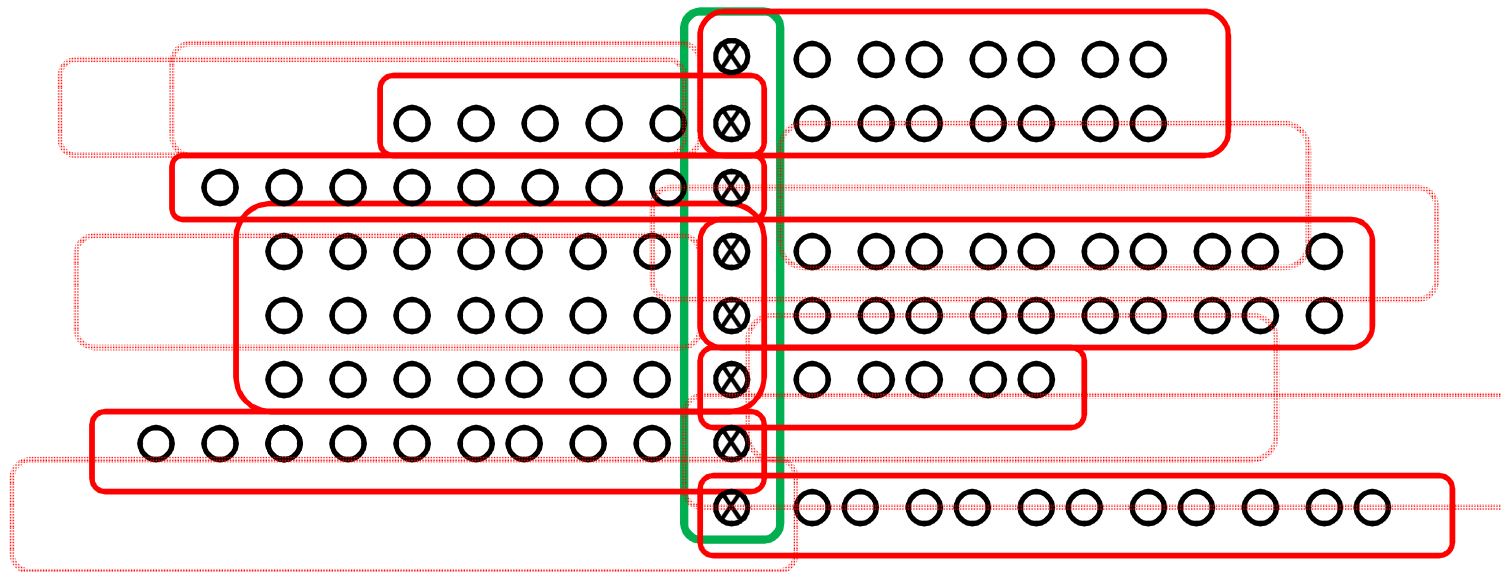
Ограничения разработанных ранее методов анализа критических сочетаний событий

5

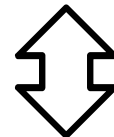
- Множество аварий дает много сечений и надо делать оптимизацию одновременно по всем условиям**
- Не разработаны методы выбора управляющих воздействий, определяется только вероятность критического сочетания событий**
- Не проработаны другие методы определения вероятности критических сочетаний**
- Не учитывается порядок событий**

Использование путей успешного функционирования для решения задачи предупреждения опасных комбинаций событий

Каждый ПУФ пересекается со всеми минимальными сечениями



$$\forall t \in [t_h, t_k] \quad \forall x(t) \in X(t) \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad p(A_i, t) \leq \varepsilon$$



$$\forall t \in [t_h, t_k] \quad \forall x(t) \in X(t) \quad p(E', t) \geq 1 - \varepsilon$$

Использование путей успешного функционирования для решения задачи предупреждения опасных комбинаций событий

7

- Один ПУФ закрывает все минимальные сечения
- Можно использовать с различными методами определения вероятностей, включая гарантированную блокировку минимальных сечений
- ПУФ не единственен и можно выбрать из множества
- Некоторые ПУФ могут быть нереализуемы с имеющимися ресурсами
- При реализации ПУФ не учитывается порядок в опасных комбинациях

Агрегирование событий

8

при определении вероятности опасных комбинаций

Задача. Определить вероятность опасной комбинации $\langle e_1, \dots, e_m \rangle$, если события $e_1, \dots, e_{m'}$ происходят до событий $e_{m'+1}, \dots, e_m$, $m' < m$.

Решение без агрегирования: 2^m уравнений

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = \sum_{j=1}^m (\mu_j P_j(t) - \lambda_j P_0(t)) \\ \dots \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=0}^{2^m-1} \pi_{i,j}^+ P_j(t) - P_i(t) \pi_i^- \\ \dots \\ \frac{dP_{2^m-1}(t)}{dt} = \sum_{j=1}^m \lambda_j P_{2^m-m+j-2}(t) \end{cases}$$

Решение с агрегированием: отдельно

найти вероятности $\overline{e_1}, \overline{e_2}$, затем $\langle \overline{e_1}, \overline{e_2} \rangle$,

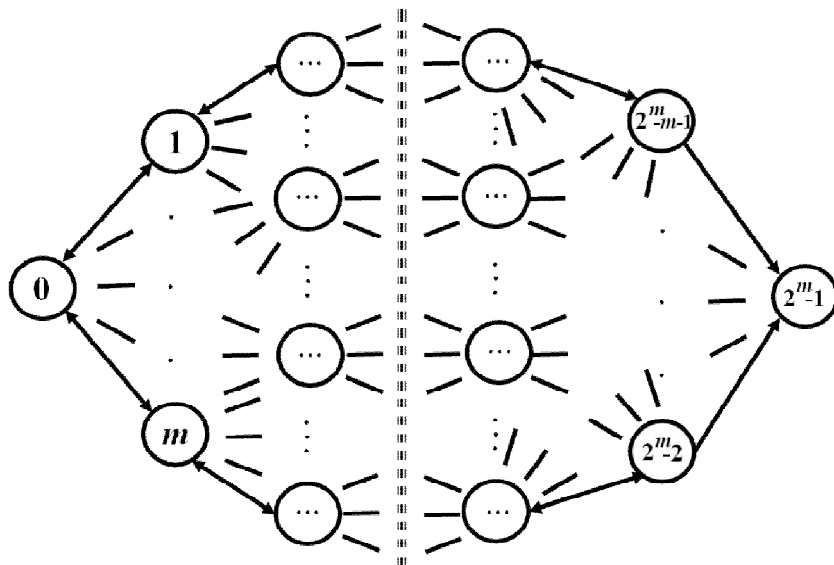
где $\overline{e_1} = e_1, \dots, e_{m'}$, $\overline{e_2} = e_{m'+1}, \dots, e_m$

$2^{m'} + 2^{m-m'} + 4 \ll 2^m$ уравнений

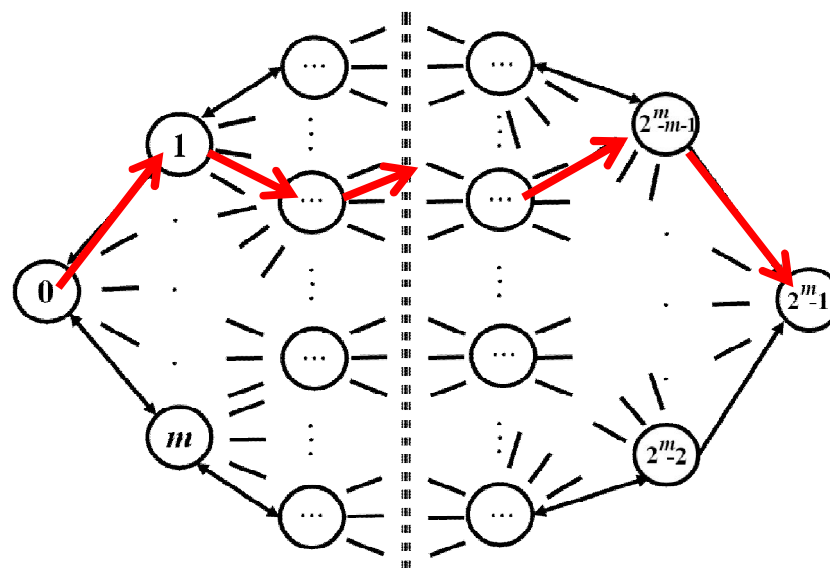
Ограничения: условие преимущества части событий, необходимо определение $\lambda_{\overline{e_1}}, \lambda_{\overline{e_2}}, \mu_{\overline{e_1}}, \mu_{\overline{e_2}}$ и начальных условия для $\langle \overline{e_1}, \overline{e_2} \rangle$.

Вырезание подграфа событий

9



2^m уравнений



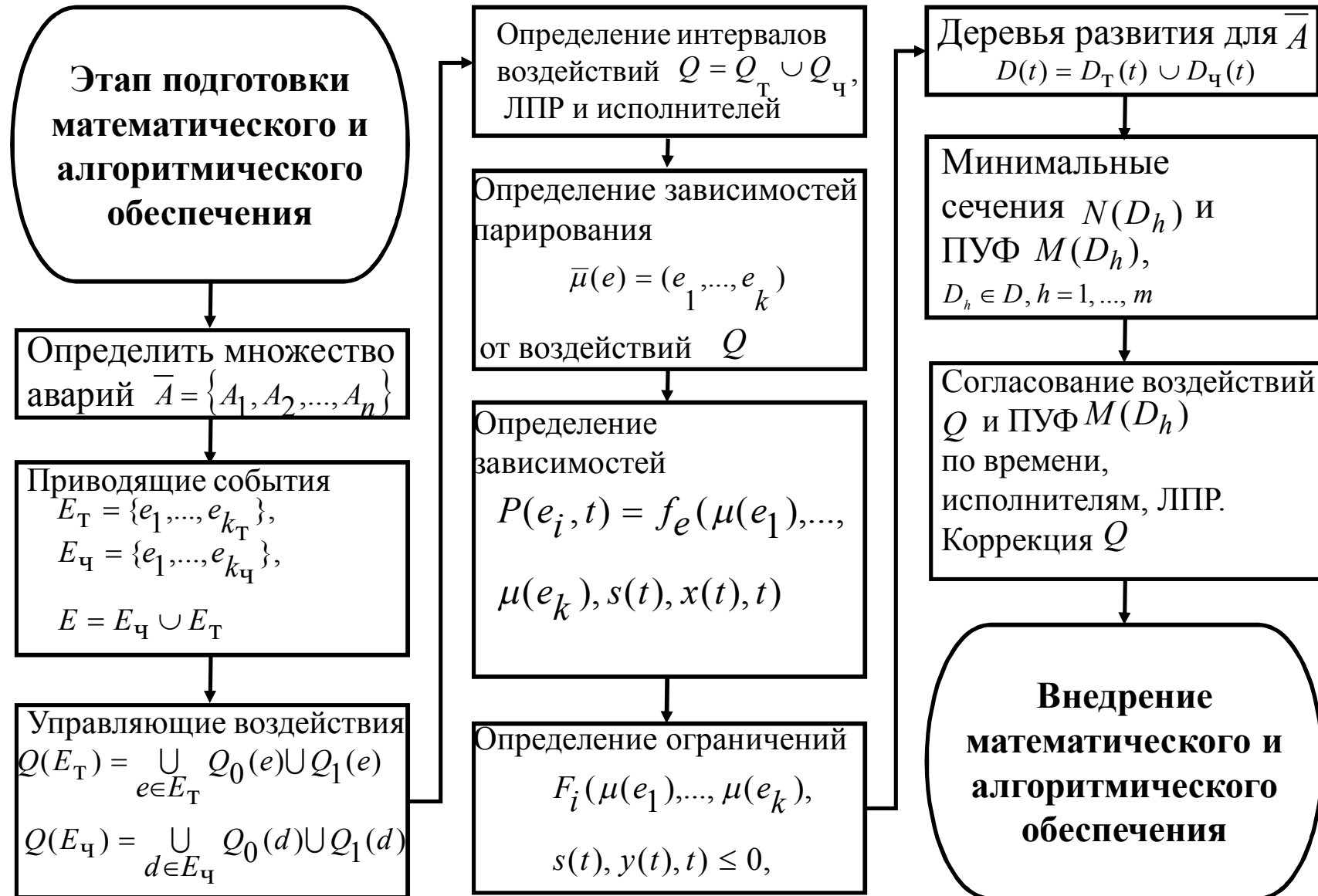
$t + 1$ уравнение

Условие: каждое из событий e_1, \dots, e_{m-1} может парироваться только до наступления следующего по этому списку события

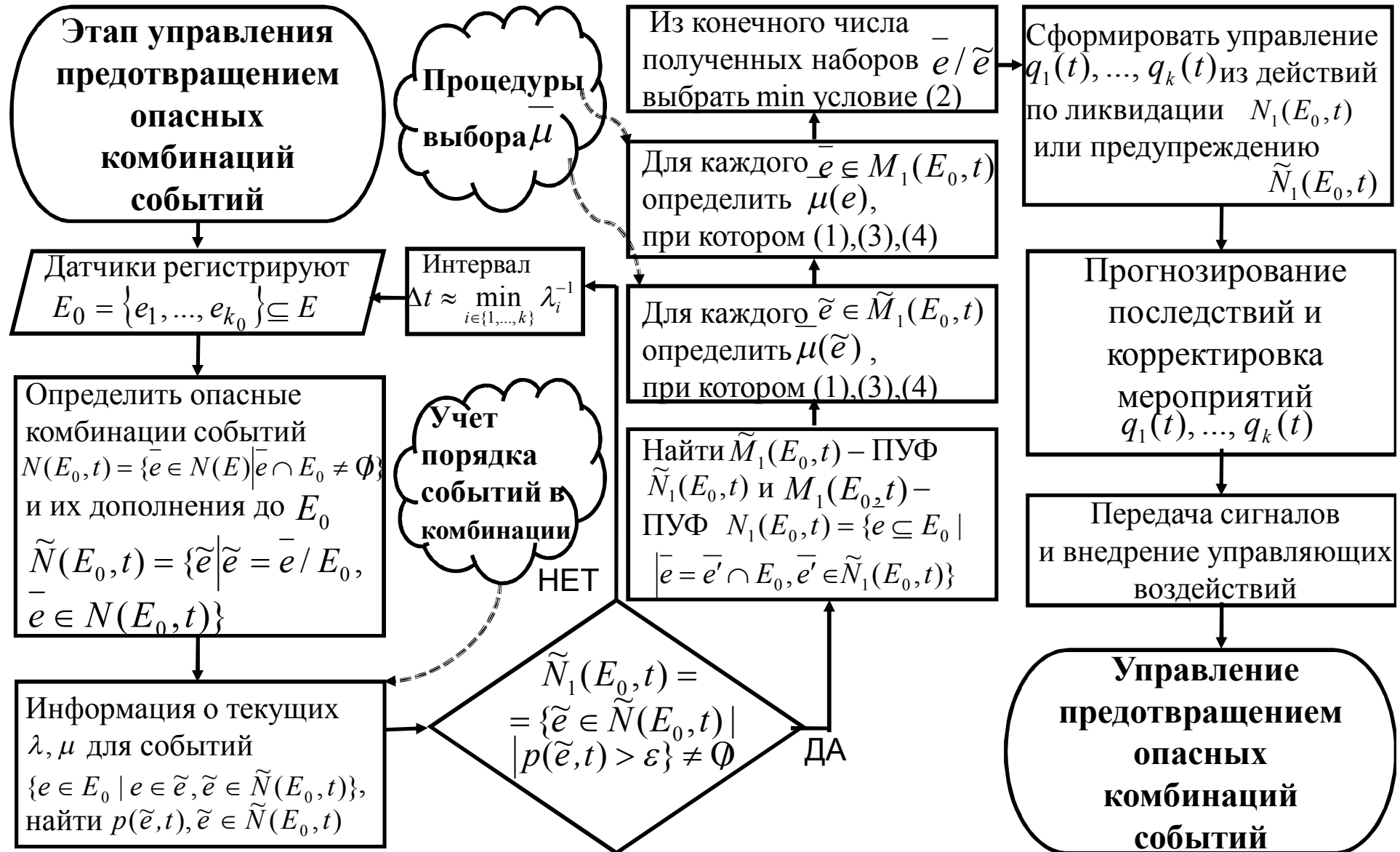
Подход к решению задачи

10

предотвращения опасных комбинаций событий в человеко-машинных и организационных системах

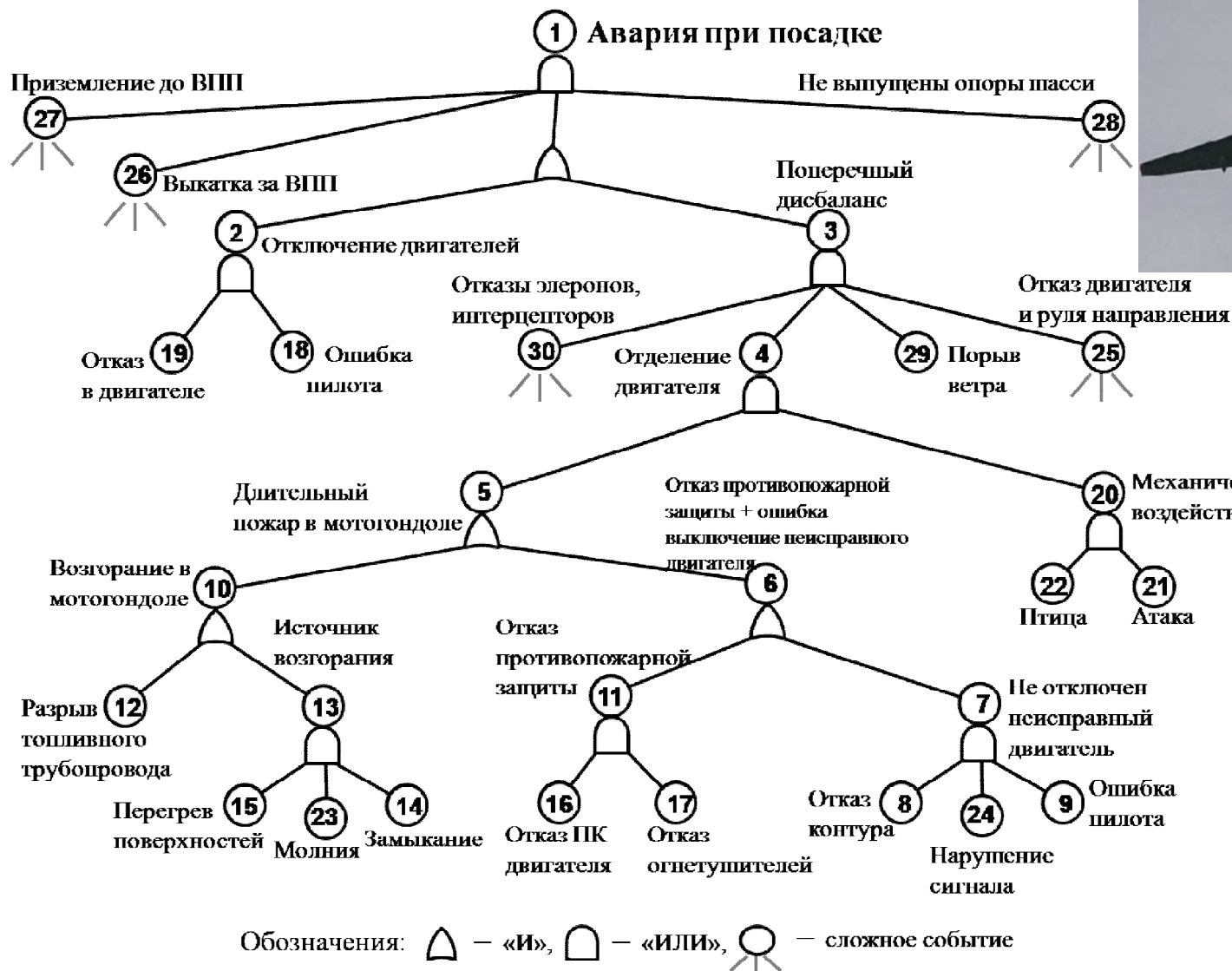


предотвращения опасных комбинаций событий в человеко-машинных и организационных системах



Пример. Разработанная* модель развития пожара в двигателе двухмоторного судна типа А320 при посадке

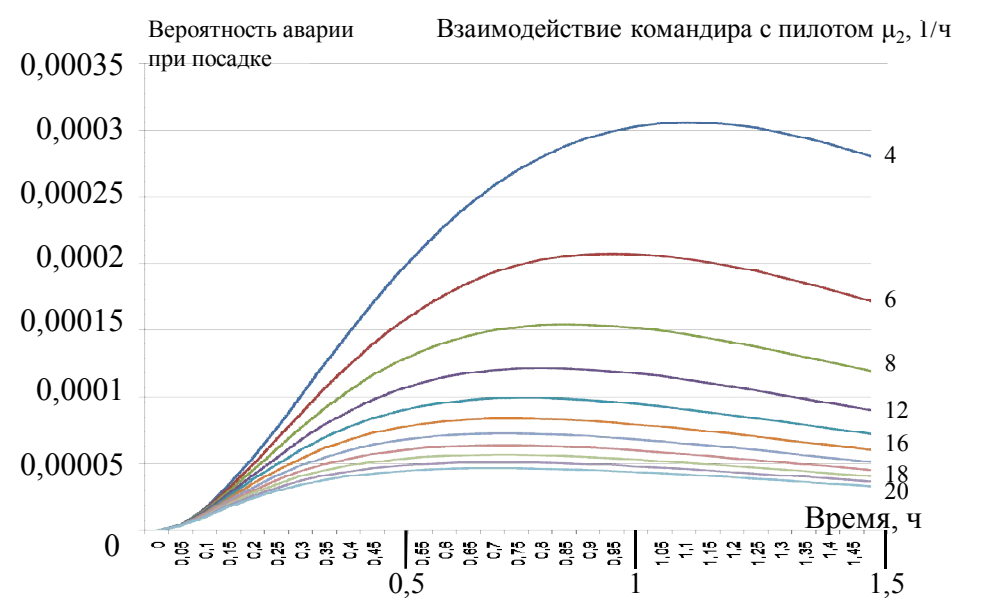
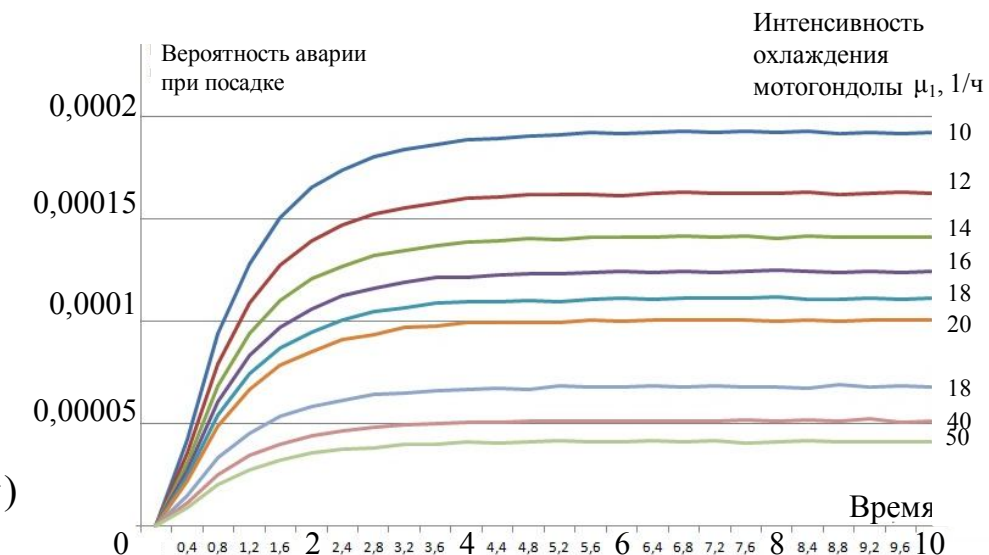
*На основе данных ПАО «ИЛ» и Международного авиационного комитета



Мероприятия для $P(A) < 1/100000$:
 охлаждение поверхности мотогондолы:
 40 1/ч
 Мероприятия: взаимодействие с ПИЛОТОМ:
 40 1/ч

Модель для определения вероятности опасных комбинаций событий при развитии пожара в двигателе самолета и воздействий по их предотвращению

$$\begin{cases}
 P_0'(t) = -4P_0(t) + \mu_2 P_2(t) + 2P_4(t) \\
 P_1'(t) = P_0(t) - 3P_1(t) + \mu_2 P_5(t) + 2P_7(t) \\
 P_2'(t) = P_0(t) - (3 + \mu_2)P_2(t) + 2P_9(t) \\
 P_3'(t) = P_0(t) - 3P_3(t) + \mu_2 P_8(t) + 2P_{10}(t) \\
 P_4'(t) = P_0(t) - 5P_4(t) + \mu_2 P_9(t) \\
 P_5'(t) = P_1(t) + P_2(t) - (2 + \mu_2)P_5(t) + 2P_{12}(t) \\
 P_6'(t) = P_1(t) + P_3(t) - 2P_6(t) + \mu_2 P_{11}(t) + 2P_{13}(t) \\
 P_7'(t) = P_1(t) + P_4(t) - 4P_7(t) + \mu_2 P_{12}(t) \\
 P_8'(t) = P_2(t) + P_3(t) - (2 + \mu_2)P_8(t) + 2P_{14}(t) \\
 P_9'(t) = P_2(t) + P_4(t) - (4 + \mu_2)P_9(t) \\
 P_{10}'(t) = P_3(t) + P_4(t) - 4P_{10}(t) + \mu_2 P_{14}(t) \\
 P_{11}'(t) = P_5(t) + P_6(t) + P_8(t) - (\mu_2 + 1)P_{11}(t) \\
 P_{12}'(t) = P_5(t) + P_7(t) + P_8(t) - (\mu_2 + 3)P_{12}(t) \\
 P_{13}'(t) = P_6(t) + P_7(t) + P_{10}(t) - 3P_{13}(t) \\
 P_{14}'(t) = P_8(t) + P_9(t) + P_{10}(t) - (\mu_2 + 3)P_{14}(t) \\
 P_{15}'(t) = P_{11}(t) + P_{12}(t) + P_{13}(t) + P_{14}(t)
 \end{cases}$$



Спасибо за внимание!