

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**Отделение энергетики, машиностроения, механики
и процессов управления**

Саратовский научный центр Российской Академии Наук

Модели и методы повышения безопасности функционирования человеко-машинных систем



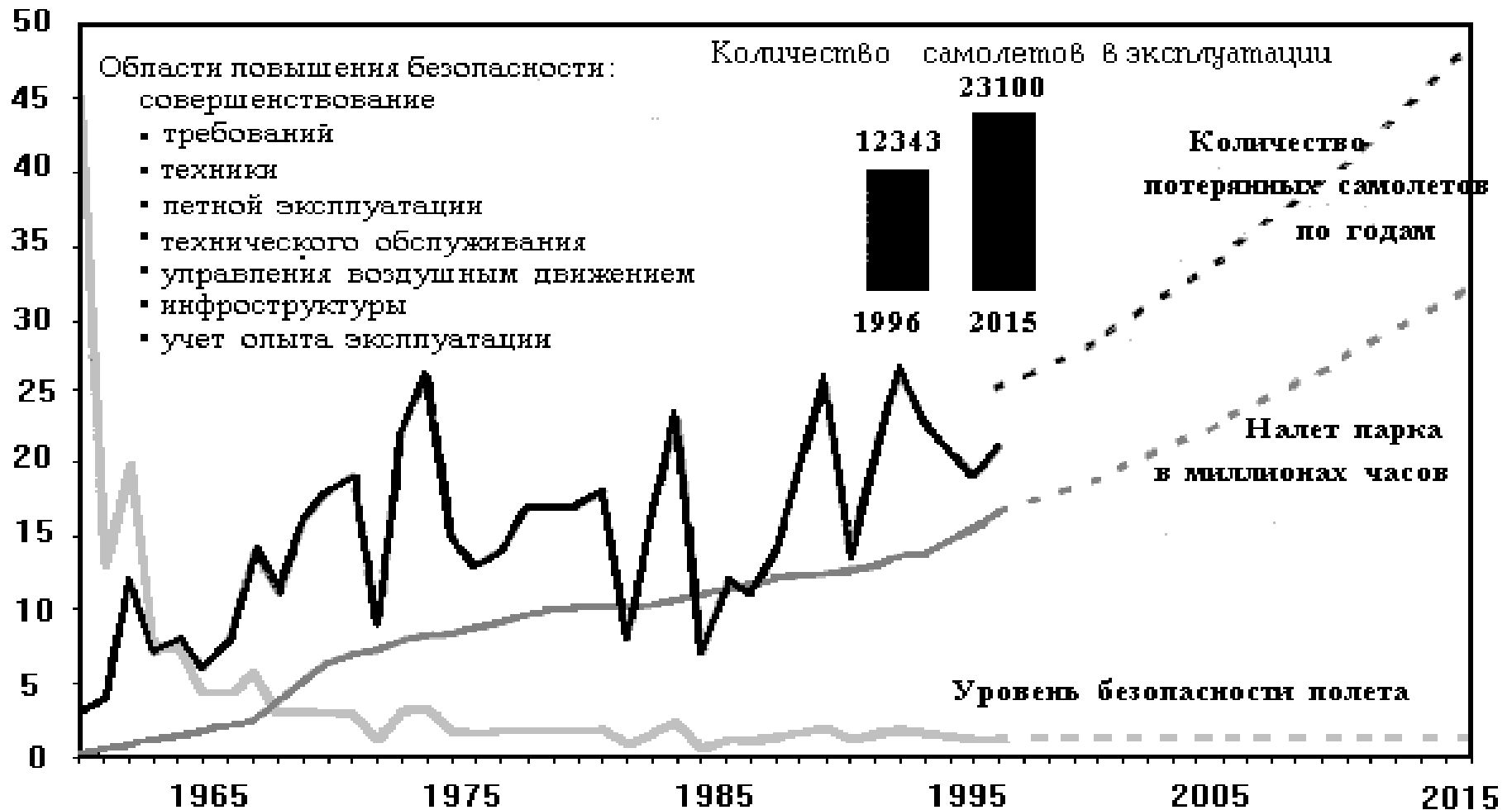
**Доклад врио Председателя СЦ РАН, д.т.н., профессора
Кушников Вадима Алексеевича**

2018

Процессы, объекты и критерии системы «человек-объект-среда»



Повышение безопасности функционирования АТС



Постоянное повышение уровня безопасности полетов в глобальном масштабе имеет основополагающее значение для обеспечения того, чтобы воздушный транспорт и впредь играл важную роль для устойчивого экономического и социального развития в России и во всем мире.

Основоположник концепции безопасности полета

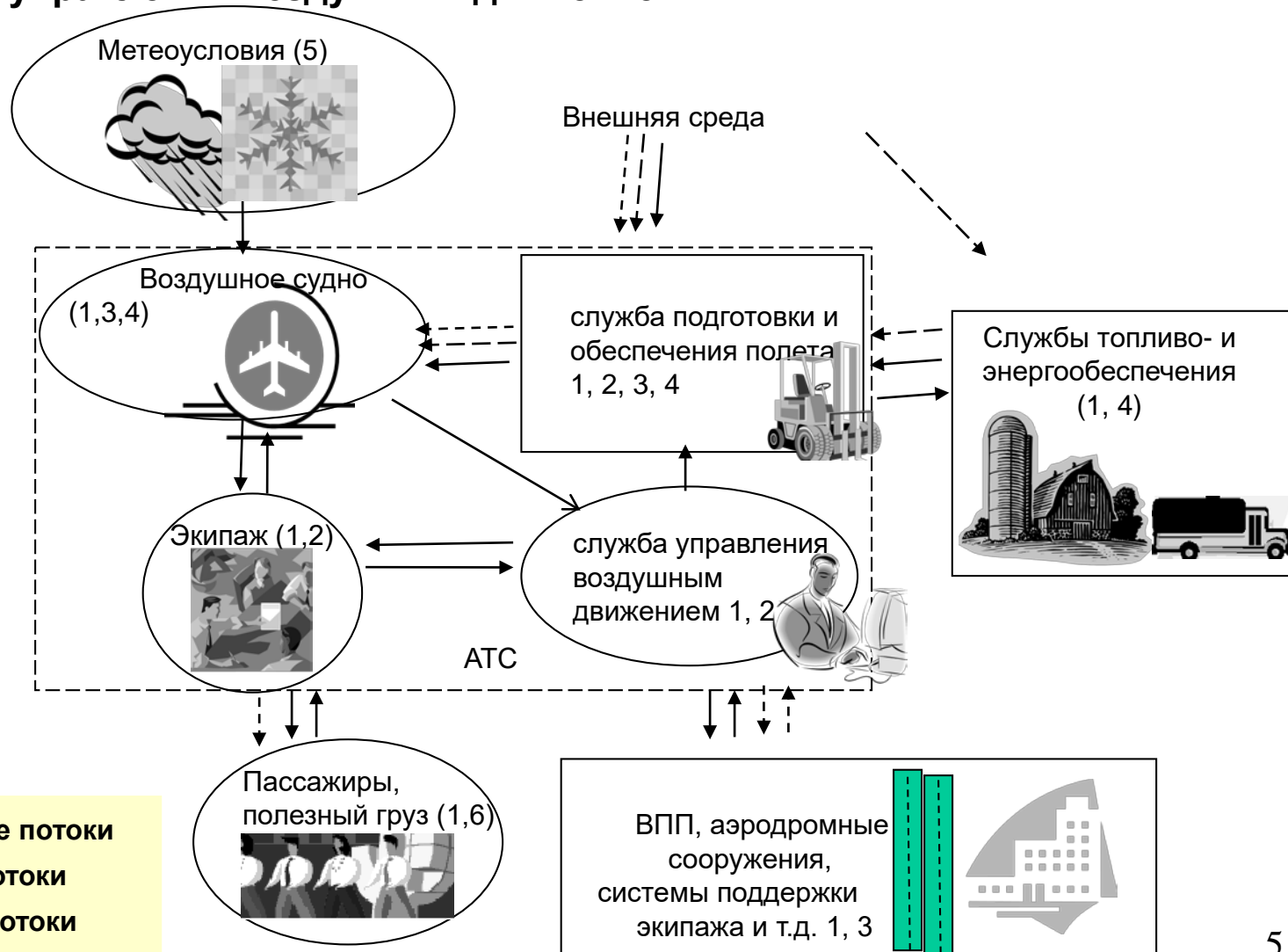


**Г.В. Новожилов –
академик РАН, генеральный
конструкторов КБ им.
С.В.Ильюшина**

Авиационно-транспортная система

Авиационно-транспортная система состоит из взаимосвязанных компонентов:

- воздушное судно (ВС),
- экипаж,
- служба подготовки и обеспечения полета,
- служба управления воздушным движением.



Базовые процессы:

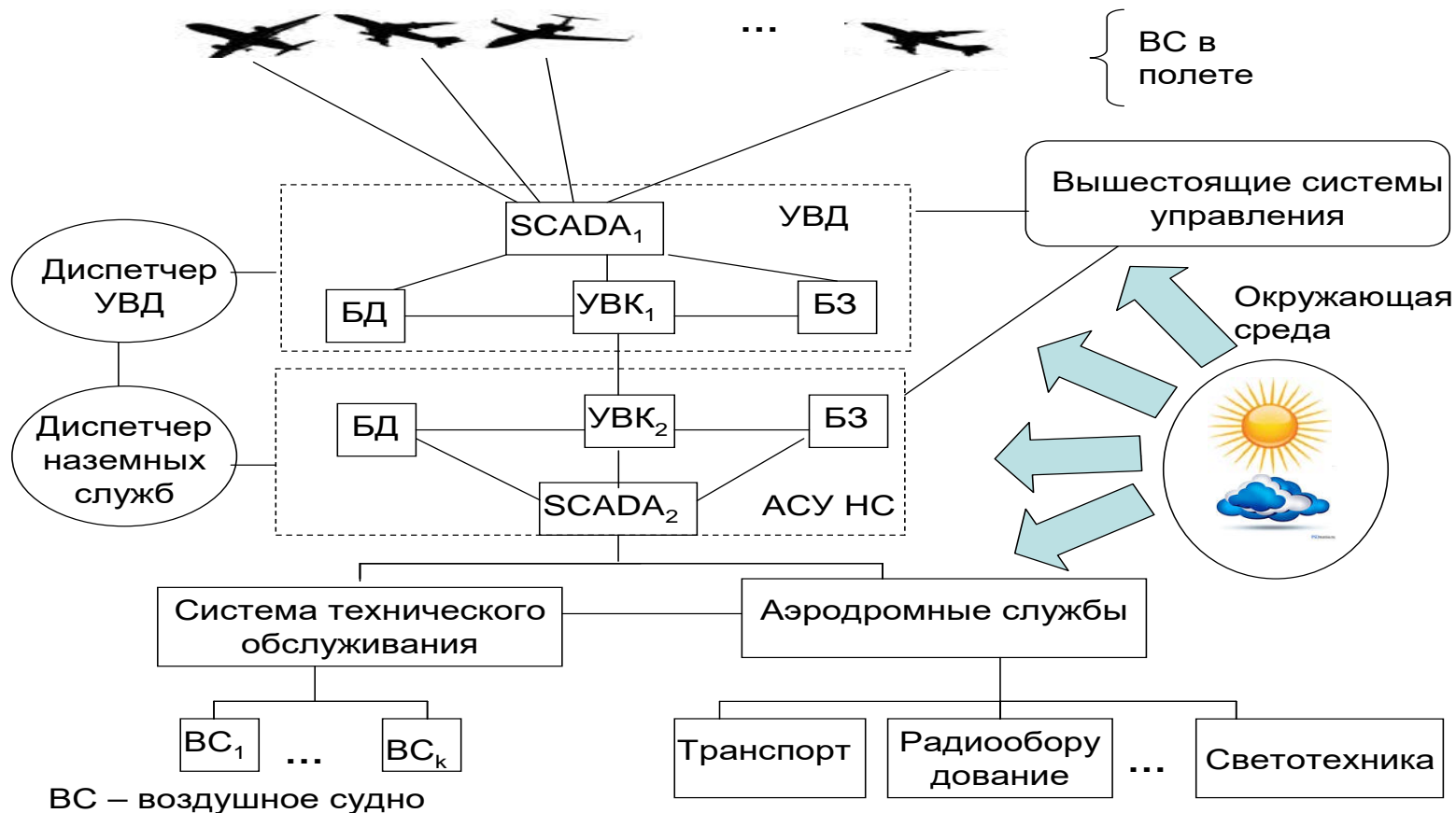
1 команды, информация
2 экипаж, диспетчеры
3 оборудование и агрегаты
4 энергоресурсы
5 метеоусловия
6 пассажиры, груз

информационные потоки

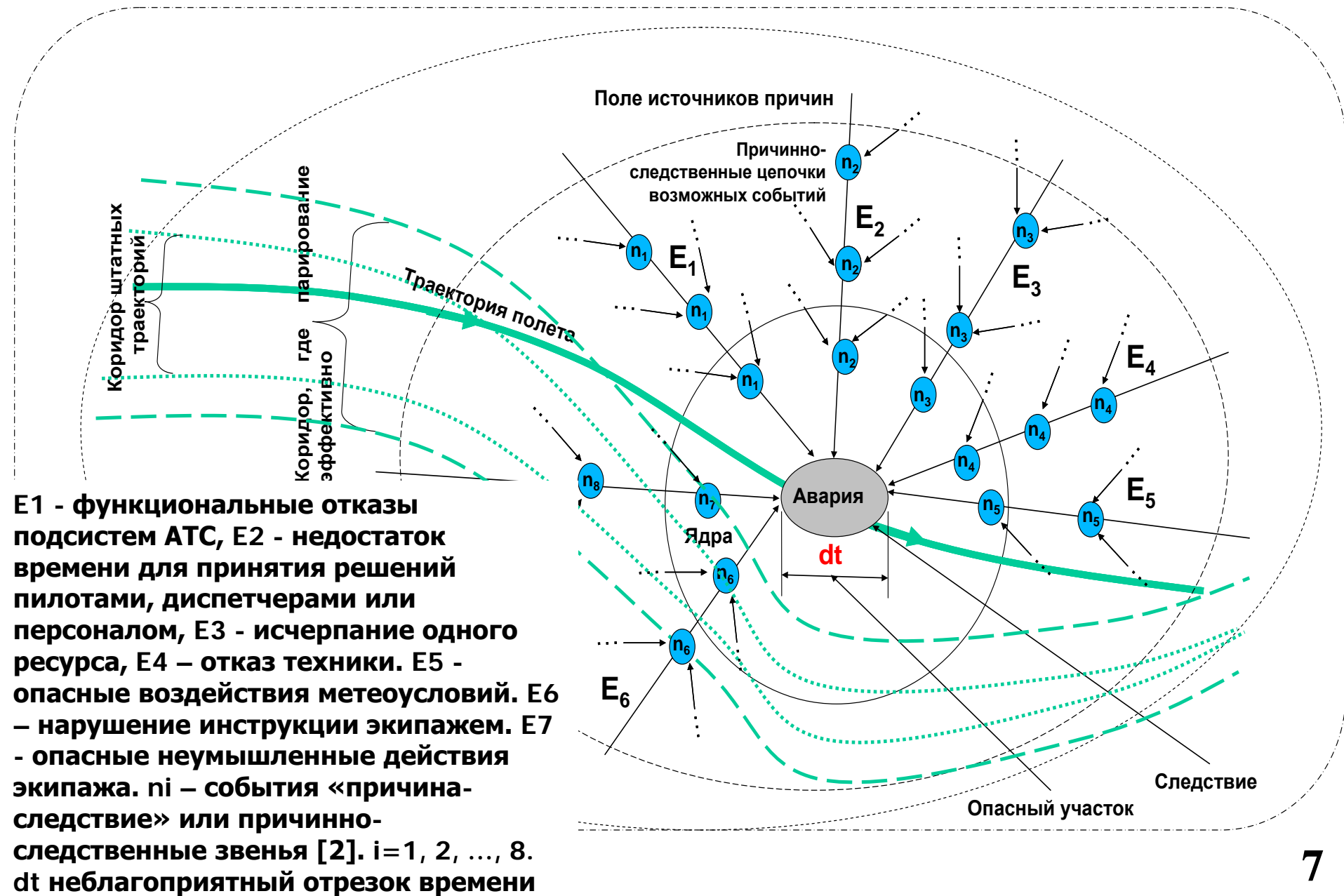
материальные потоки

энергетические потоки

Система автоматизированного управления АТС по критерию безопасности полета



Критические сочетания событий в авиационной транспортной системе



Классификация критических сочетаний событий в АТС

К1 - по времени возникновения t_0 относительно момента аварии.

К2 - по продолжительности временного промежутка сочетания событий δt .

К3 - по интенсивности проявления рассматриваемого сочетания событий.

К4 - по этапу развития отказа технической части системы: ситуация, возникшая вследствие данного стечения, может иметь вид отказа, инцидента, аварии, катастрофы.

К5 - по подсистемам: P^*1 – персонал управления АТС; P^*2 – программно-аппаратный комплекс управления; P^*3 – техническая часть АТС; P^*4 - энергетика; P^*5 – грузы и пассажиры; P^*6 – окружающая среда.

К6 - по составу и количеству разнородных процессов, участвующих в сочетании событий: P_1 - процессы действий персонала АТС; P_2 - командно-информационные, управляющие процессы; P_3 - процессы функционирования оборудования АТС; P_4 - процессы топливо- и энергообеспечения; P_5 - процессы действий пассажиров, перемещений грузов и т.д.; P_6 - взаимодействий с внешней средой.

К7 - по объектам и элементам в соответствии с их иерархическим представлением, определяемым технической документацией.

К8 - по видам ошибок экипажей, диспетчеров: организационные ошибки (халатность, недостаток руководства операторами, источников информации); ошибки при взаимодействии человека с технической подсистемой в соответствии с классификацией специалистов в области психологии и физиологии, преднамеренные и непреднамеренные.

К9 - по влиянию на достижение цели функционирования: сильное, слабое, способствующие достижению цели, предотвращающие аварийные ситуации.

К10 - по отношению к АТС: воздействия сочетания событий окружающей среды, сочетания отказов подсистем АТС и опасных воздействий окружающей среды, внутренних факторов.

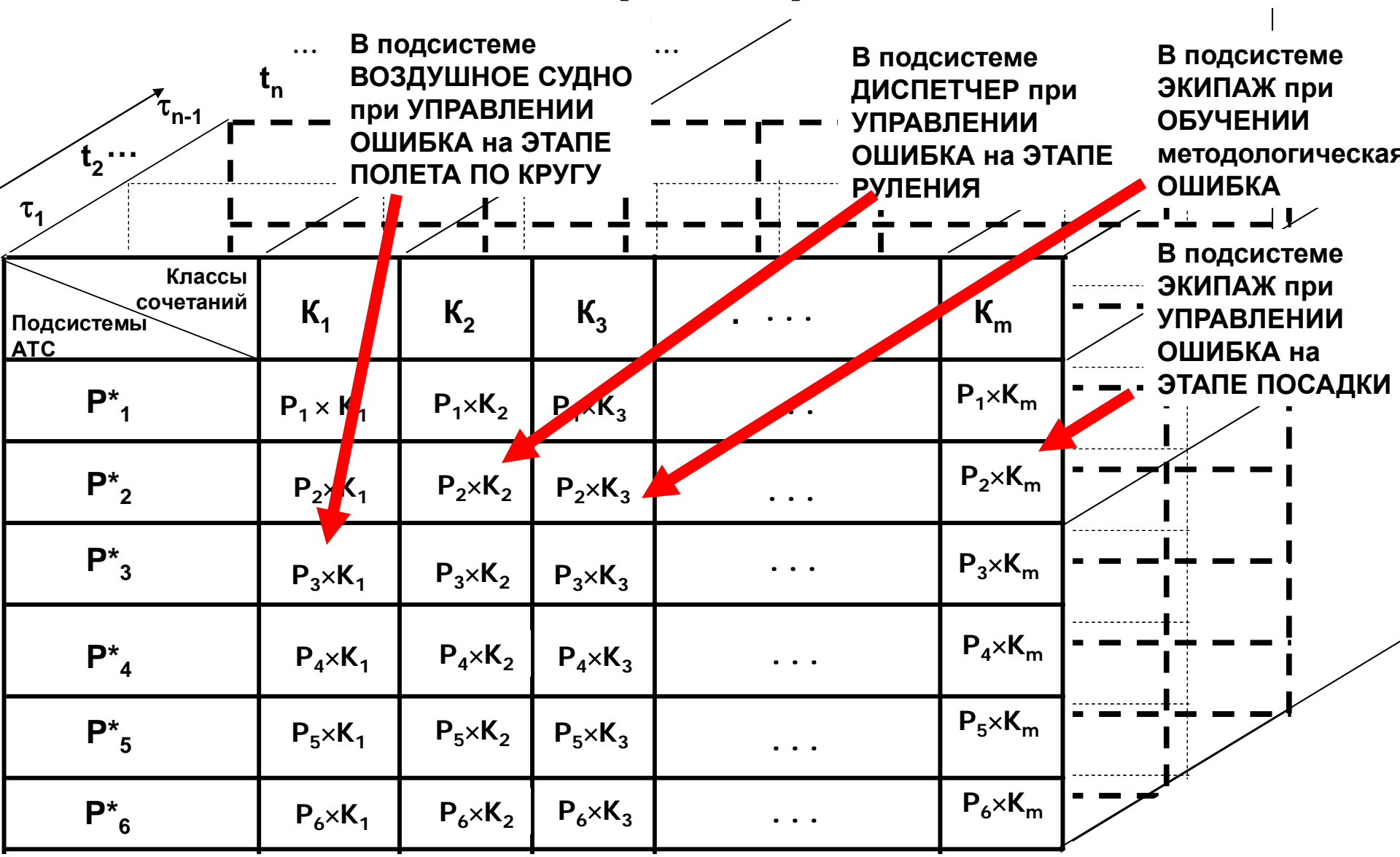
К11 – по степени опасности сочетания отказов: сочетания некритичных, сочетания критичных, сочетания критичных и некритичных отказов.

К12 – по сложности предотвращения и парирования на текущий момент.

К13 – по количеству элементарных событий в сочетании



Классификация критических сочетаний событий в авиационной транспортной системе



...

Аварийное стечение обстоятельств на неблагоприятной части траектории



Методология построения системы для обеспечения безопасности авиационных транспортных систем



Постановка задачи управления АТС по критерию безопасности функционирования

12

Требуется разработать алгоритм синтеза вектора управляющих

воздействий $\vec{\mu}^*(t) \in \left\{ \vec{M}(t) \right\}$, позволяющих при любых допустимых состояниях окружающей среды достигнуть максимума критерия безопасности функционирования авиационно-транспортной системы :

$$C_i f = \int_{t_K}^{t_H} \sum_{i=1}^m (\mu_i (1 - P_i(\lambda_1(t), \lambda_2(t), \lambda_3(t), \dots, \lambda_k(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \mu_3(t), \dots, \mu_k(t), \vec{x}(t), t))) dt \rightarrow \max$$

при известных ограничениях:

$$R_i(\vec{x}(t), \vec{\mu}(t), \vec{x}'(t), \vec{\mu}'(t)) \geq 0, \quad i = \overline{1, n_1}$$
$$R_i(\vec{x}(t), \vec{\mu}(t), \vec{x}'(t), \vec{\mu}'(t)) \geq 0, \quad i = \overline{1, n_1 + 1, n_2}$$

граничных условиях:

$$F_i^{(t_H)}(\vec{x}(t), \vec{\mu}(t), \vec{x}'(t), \vec{\mu}'(t)) = 0, \quad i = \overline{n_2 + 1, n_3}$$

$$F_i^{(t_K)}(\vec{x}(t), \vec{\mu}(t), \vec{x}'(t), \vec{\mu}'(t)) = 0, \quad i = \overline{n_2 + 1, n_3}$$

Основные этапы решения задачи

Допустим, что задан список аварийных и катастрофических ситуаций для данного типа АТС $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ и для каждого A_i построено одно или несколько деревьев событий $\{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ характеризующих процесс возникновения и развития этих ситуаций.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- разработать математические модели и алгоритмы формального синтеза деревьев событий АТС $\{D_1, D_2, \dots, D_m\}$;

- построить дерево событий D , объединяющее деревья $\{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ и позволяющее определить безусловные вероятности отказов элементов АТС;

- разработать алгоритм, позволяющий для различных минимальных сечений дерева событий D численно определить вероятности

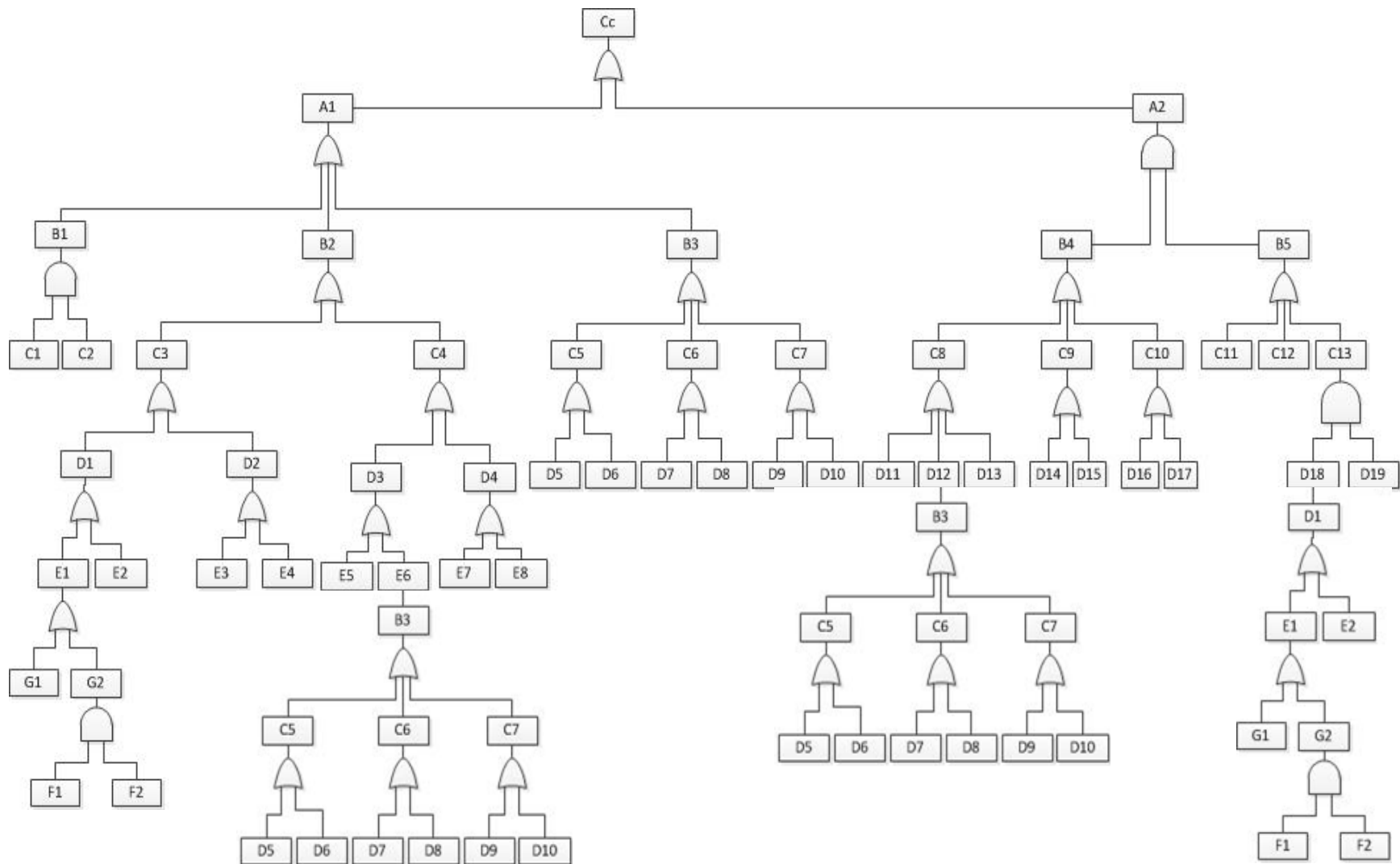
$$P_i(\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_k(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_k(t), \vec{x}(t), t), \quad i = \overline{1, n}$$

из решения систем уравнений Колмогорова-Чепмена;

- разработать алгоритм, позволяющий для трехэлементных минимальных сечений дерева событий D определить вероятности

$$P_i(\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_k(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_k(t), \vec{x}(t), t), \quad i = \overline{1, n}$$

Граф критических сочетаний событий и причинно-следственных связей показателей безопасности АТС пассажирской авиации на примере Ил-114 и Ил-96



Обозначения в дереве событий

СС – сложная ситуация при заходе на посадку самолета; А1 – ФО ВС, создающие сложную ситуацию при штурвальном заходе ВС на посадку; А2 – сочетания ФО ВС, ОДЭ и параметров ОУЭ, создающие сложную ситуацию при заходе ВС на посадку; В1 – потеря 1/2 потребной тяги силовой установки; В2 – уменьшение эффективности продольного или поперечного управления на 1/2; В3 – ФО пилотажного оборудования; В4 – ФО ВС; В5 – ОДЭ и параметры внешних условий; С1 – отказ одного из двигателей ВС; С2 – отказ второго двигателя (после отказа первого); С3 – заметное уменьшение эффективности управления по тангажу; С4 – заметное уменьшение эффективности управления по крену; С5 – потеря индикации пилотажных параметров у пилотирующего летчика; С6 – ложная индикация одного из пилотажных параметров у пилотирующего летчика; С7 – несигнализируемый отказ автопилота при директорном заходе; С8 – потеря эффективности РН; С9 – потеря индикации пилотажных параметров у второго пилота; С10 – ложная индикация одного из пилотажных параметров у второго пилота; С11 – ОДЭ; С12 – неблагоприятные внешние условия; С13 – сочетание неточностей в пилотировании и неблагоприятных погодных условий; D1 – отказы гидропитания; D2 – ФО в системе управления тангажом; D3 – ФО в системе управления креном; D4 – отказы гидропитания; D5 – потеря индикации параметров пространственного положения; D6 – потеря индикации высотно-скоростных параметров; D7 – ложная индикация одного из параметров пространственного положения; D8 – ложная индикация одного из высотно-скоростных параметров; D9 – ложная индикация директорных стрелок; D10 – пропадание директорных стрелок; D11 – отказы в системе управления РН; D12 – отказы гидропитания управления РН; D13 – отказ механизма Кш РН в положении min; D14 – потеря индикации параметров пространственного положения; D15 – потеря индикации высотно-скоростных параметров; D16 – ложная индикация одного из параметров пространственного положения; D17 – ложная индикация одного из высотно-скоростных параметров; D18 – неточный вход в глиссаду или неточное выдерживание глиссады; D19 – боковой ветер больше 8 м/с; Е1 – потеря давления в гидросистеме; Е2 – разгерметизация гидросистемы; Е3 – обрыв проводки управления одной секцией РВ; Е4 – заклинивание штока бустера секции РВ; Е5 – обрыв проводки управления одной секцией элерона; Е6 – заклинивание штока бустера секции элерона; Е7 – разгерметизация гидросистемы; Е8 – потеря давления в гидросистеме; G1 – разрушение гидробака; G2 – отказ источников давления; F1 – отказ гидронасоса; F2 – отказ насосной станции;

Система дифференциальных уравнений для определения вероятности критических сочетаний событий

$(dP_0/dt)(t) = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) P_0(t) + \mu_1 P_1(t) + \mu_2 P_2(t) + \mu_3 P_3(t) + \mu_4 P_4(t);$ -
функционирование системы при работоспособном состоянии всех элементов

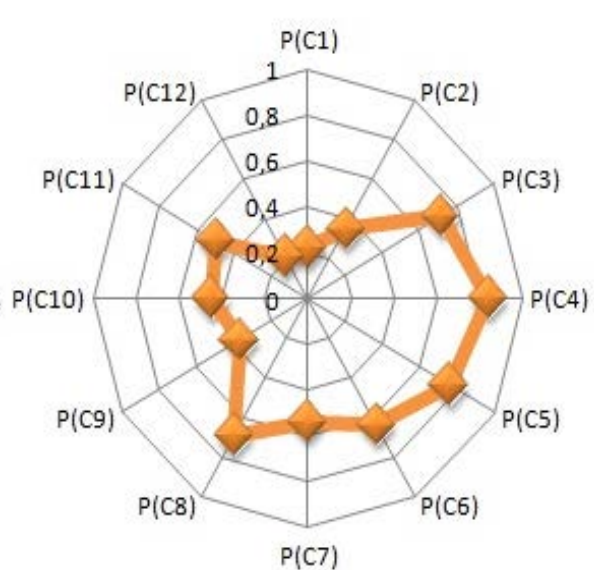
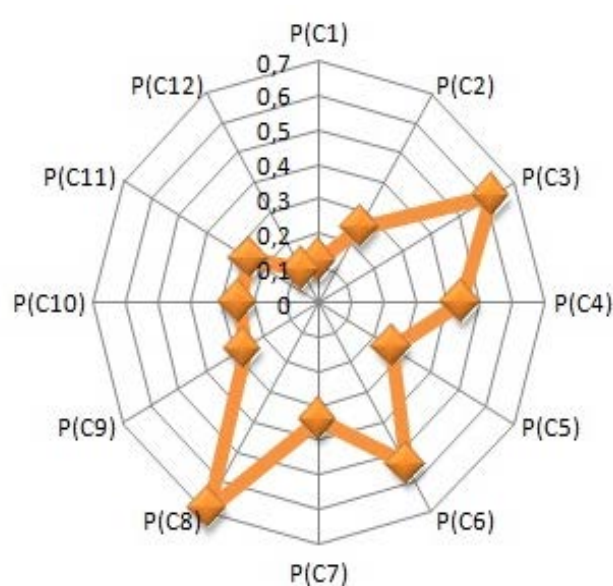
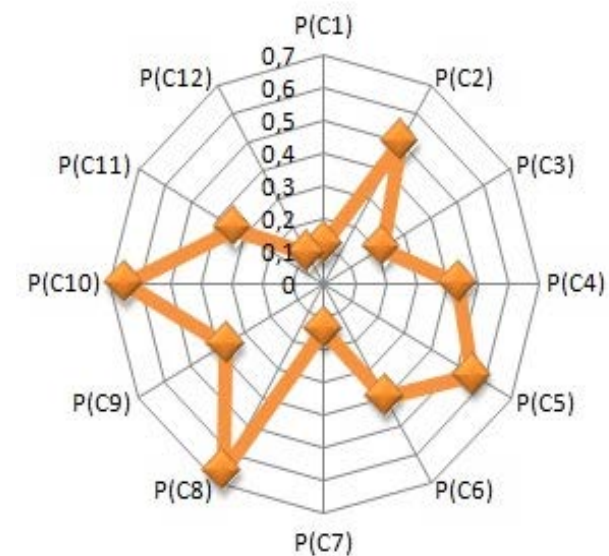
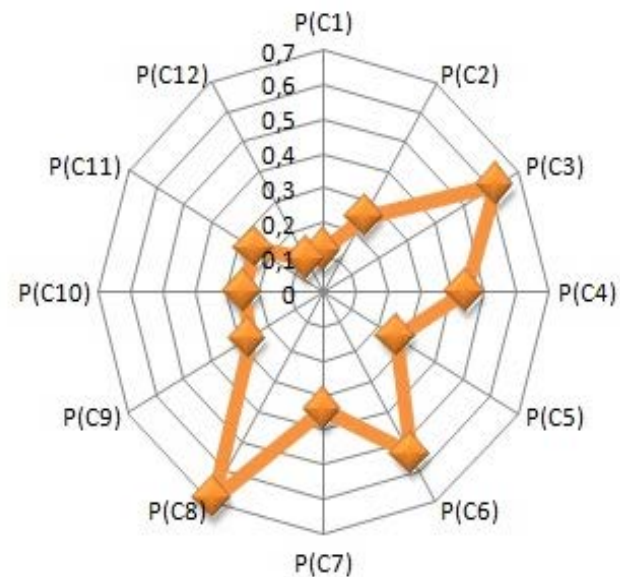
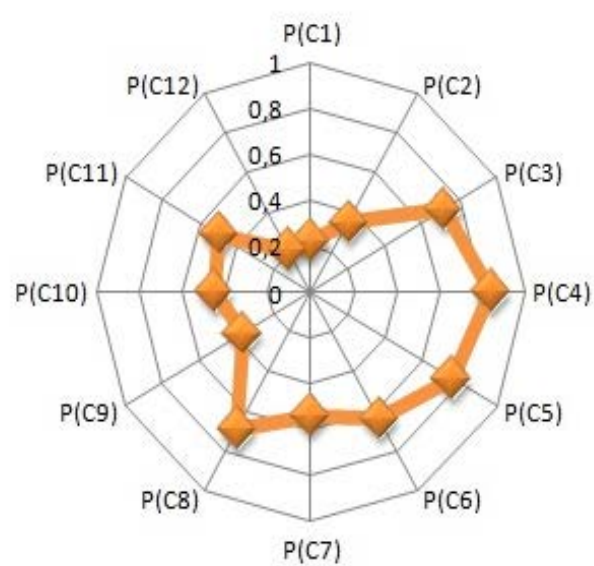
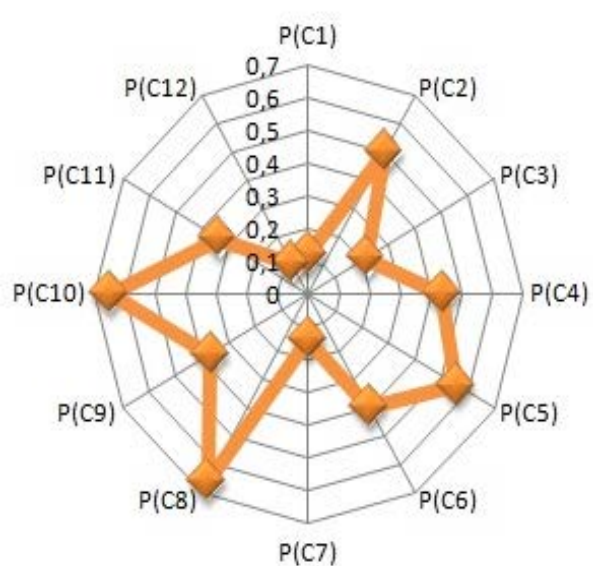
$(dP_1/dt)(t) = \lambda_1 P_0(t) - (\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_1) P_1(t) + \mu_2 P_5(t) + \mu_3 P_6(t) + \mu_4 P_7(t);$ -**функционирование**
 $(dP_2/dt)(t) = \lambda_2 P_0(t) - (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_2) P_2(t) + \mu_1 P_5(t) + \mu_3 P_8(t) + \mu_4 P_9(t);$ **системы**
 $(dP_3/dt)(t) = \lambda_3 P_0(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \mu_3) P_3(t) + \mu_1 P_6(t) + \mu_2 P_8(t) + \mu_4 P_{10}(t);$ **при отказе**
 $(dP_4/dt)(t) = \lambda_4 P_0(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_4) P_4(t) + \mu_1 P_7(t) + \mu_2 P_9(t) + \mu_3 P_{10}(t);$ **одного элемента**

$(dP_5/dt)(t) = \lambda_2 P_1(t) + \lambda_1 P_2(t) - (\lambda_3 + \lambda_4 + \mu_2 + \mu_1) P_5(t) + \mu_3 P_{11}(t) + \mu_4 P_{12}(t);$ - **функционирование**
 $(dP_6/dt)(t) = \lambda_3 P_1(t) + \lambda_1 P_3(t) - (\lambda_2 + \lambda_4 + \mu_3 + \mu_1) P_6(t) + \mu_2 P_{11}(t) + \mu_4 P_{13}(t);$ **системы при**
 $(dP_7/dt)(t) = \lambda_4 P_1(t) + \lambda_1 P_4(t) - (\lambda_2 + \lambda_3 + \mu_1 + \mu_4) P_7(t) + \mu_2 P_{12}(t) + \mu_3 P_{13}(t);$ **отказе**
 $(dP_8/dt)(t) = \lambda_3 P_2(t) + \lambda_2 P_3(t) - (\lambda_1 + \lambda_4 + \mu_2 + \mu_3) P_8(t) + \mu_1 P_{11}(t) + \mu_4 P_{14}(t);$ **двух**
 $(dP_9/dt)(t) = \lambda_4 P_2(t) + \lambda_2 P_4(t) - (\lambda_3 + \lambda_1 + \mu_2 + \mu_4) P_9(t) + \mu_1 P_{12}(t) + \mu_3 P_{14}(t);$ **элементов**
 $(dP_{10}/dt)(t) = \lambda_4 P_3(t) + \lambda_3 P_4(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \mu_4) P_{10}(t) + \mu_1 P_{13}(t) + \mu_2 P_{14}(t);$

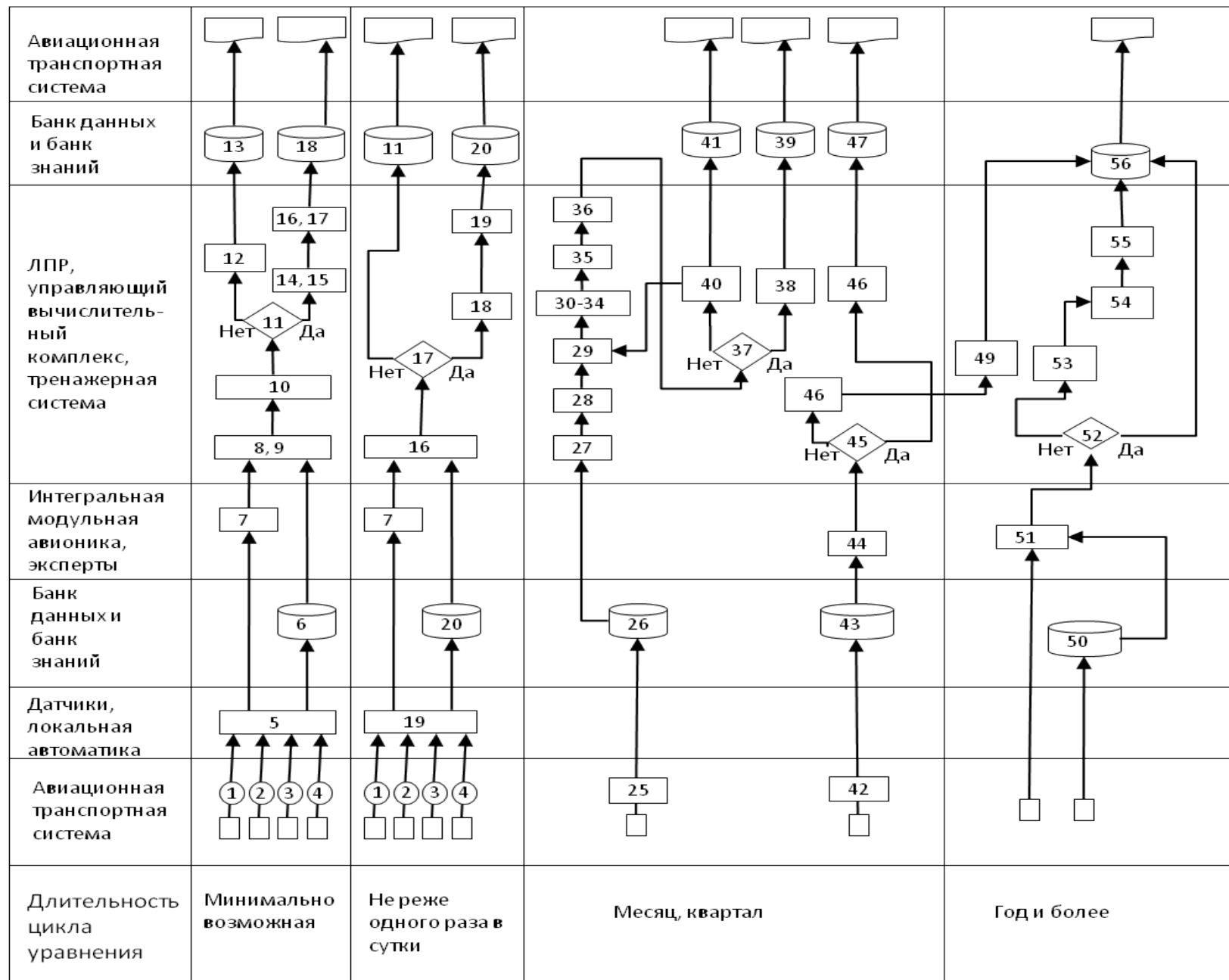
$(dP_{11}/dt)(t) = \lambda_3 P_5(t) + \lambda_2 P_6(t) + \lambda_1 P_8(t) - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \lambda_1) P_{11}(t);$ - **функционирование**
 $(dP_{12}/dt)(t) = \lambda_4 P_5(t) + \lambda_2 P_7(t) + \lambda_1 P_8(t) - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_4 + \lambda_2) P_{12}(t);$ **системы при**
 $(dP_{13}/dt)(t) = \lambda_4 P_6(t) + \lambda_3 P_7(t) + \lambda_1 P_{10}(t) - (\mu_1 + \mu_3 + \mu_4 + \lambda_3) P_{13}(t);$ **отказе трех**
 $(dP_{14}/dt)(t) = \lambda_4 P_8(t) + \lambda_3 P_9(t) + \lambda_2 P_{10}(t) - (\mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \lambda_4) P_{14}(t);$ **элементов**

$(dP_{15}/dt)(t) = \lambda_1 P_{11}(t) + \lambda_2 P_{12}(t) + \lambda_3 P_{13}(t) + \lambda_4 P_{14}(t).$ -**функционирование системы при отказе всех элементов**

Полярные диаграммы для поддержки принятия решений при управлении авиационными транспортными системами



Информационная структура специального математического обеспечения для повышения безопасности АТС



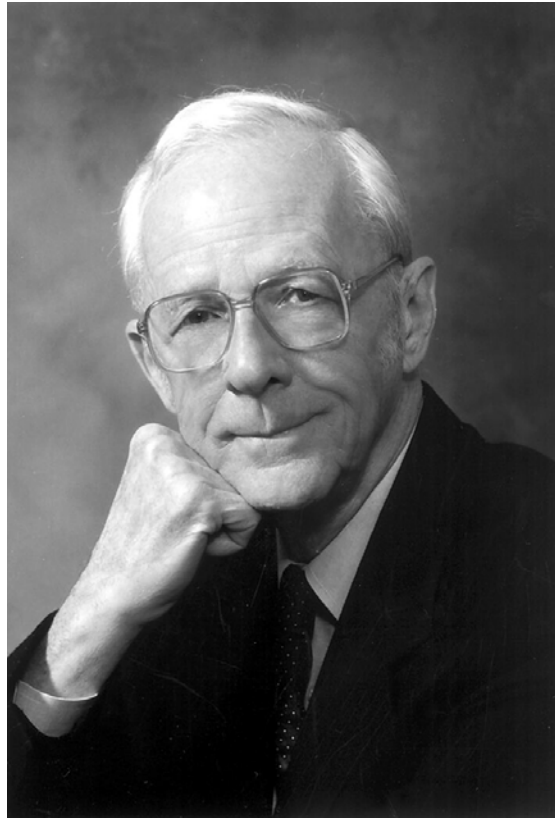
Прогнозирование аварийных ситуаций в АТС

Требуется определить значения моделируемых характеристик X_1, X_2, \dots, X_m исходя из решения системы нелинейных дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dX_i}{dt} = S_i^+ \Pi_i^+ - S_i^- \Pi_i^- + S_i^? \Pi_i^?$$

где S_i^+ и Π_i^+ – соответственно сумма внешних факторов и произведение переменных, положительно влияющих на рост переменной X_i , S_i^- и Π_i^- – соответственно сумма внешних факторов и произведение переменных, отрицательно влияющих на рост переменной X_i , “?” “= “+” или “-” в зависимости от условий.

Основоположники системной динамики



**Дж. Форрестер -
разработчик теории
системной динамики**

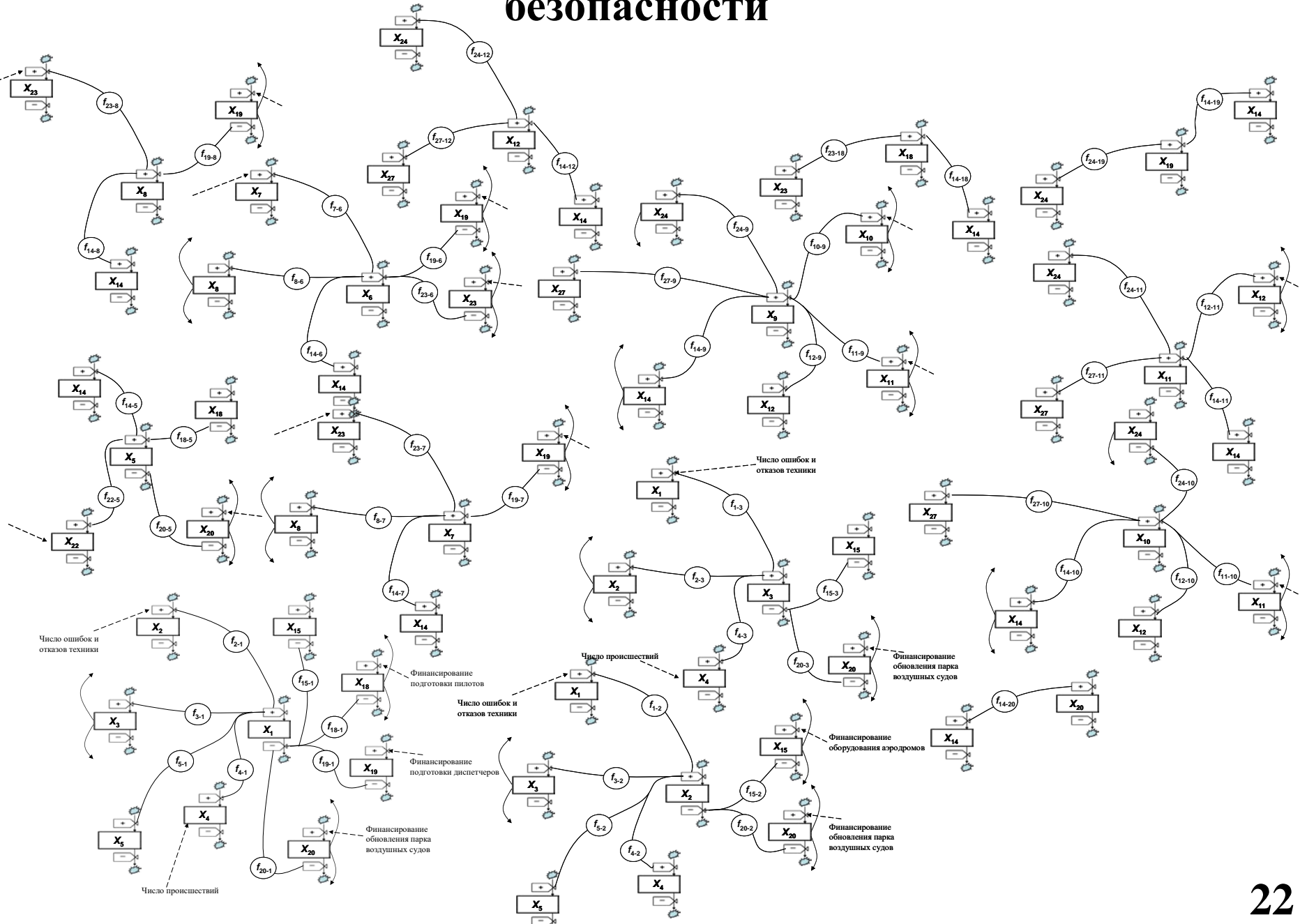


**Д. Медоуз -
заслуженный
профессор
системного
управления**

Список моделируемых переменных

- X_1 – количество авиационных происшествий на 1000000 часов полетов;
- X_2 – количество авиационных происшествий на 100000 операций;
- X_3 – количество авиационных происшествий с пострадавшими;
- X_4 – количество серьезных инцидентов на 100000 операций;
- X_5 – количество линейных пилотов;
- X_6 – количество диспетчеров УВД 1 класса;
- X_7 – количество диспетчеров УВД 2 класса;
- X_8 – количество диспетчеров УВД 3 класса;
- X_9 – количество специалистов по техническому обслуживанию и ремонту с квалификационной отметкой «А»;
- X_{10} – количество специалистов по техническому обслуживанию и ремонту с квалификационной отметкой «В1»;
- X_{11} – количество специалистов по техническому обслуживанию и ремонту с квалификационной отметкой «В2»;
- X_{12} – количество специалистов по техническому обслуживанию и ремонту с квалификационной отметкой «С»;
- X_{13} – количество бортпроводников;
- X_{14} – финансирование программ по повышению авиационной безопасности;
- X_{15} – количество аэродромов I категории;
- X_{16} – количество аэродромов II категории;
- X_{17} – количество аэродромов III категории;
- X_{18} – количество тренажеров для пилотов;

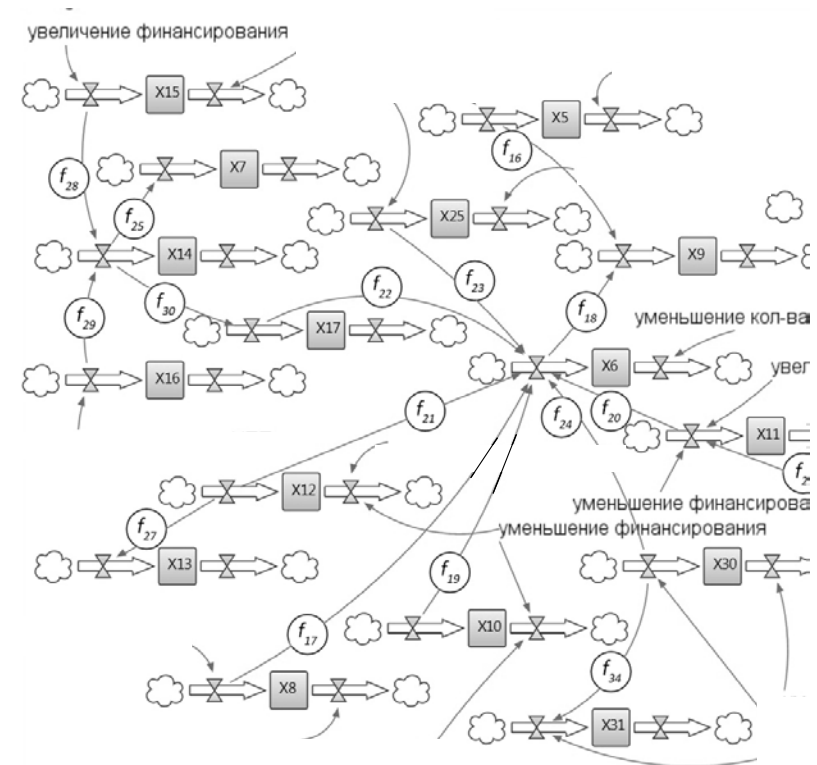
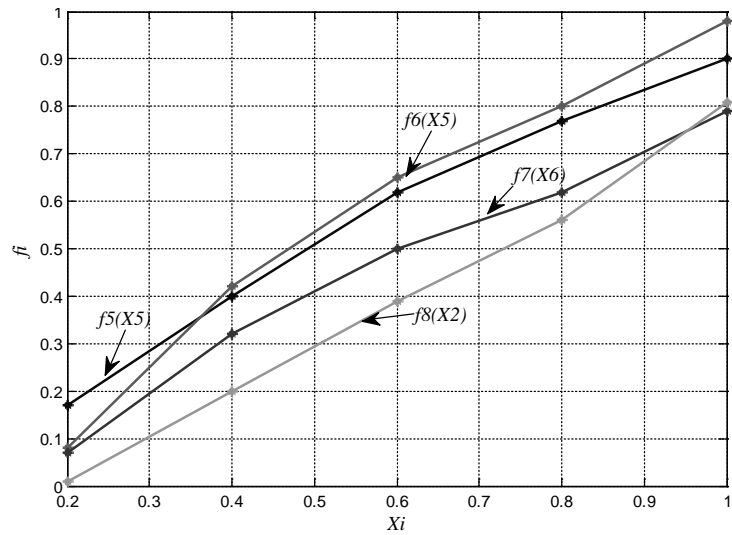
Граф причинно-следственных связей показателей авиационной безопасности



Математическая модель системной динамики для показателей безопасности АТС

$$\begin{cases}
 \frac{dX_1(t)}{dt} = (P + D + U + R)f_{2-1}(X_2) \cdot Tf_{3-1}(X_3) \cdot f_{4-1}(X_4) \cdot f_{5-1}(X_5) - (D - T)f_{15-1}(X_{15}) \cdot f_{18-1}(X_{18}) \cdot f_{19-1}(X_{19}) \cdot f_{20-1}(X_{20}) \\
 \frac{dX_2(t)}{dt} = f_{1-2}(X_1) \cdot (D + R)f_{3-2}(X_3) \cdot f_{4-2}(X_4) \cdot (Q - R)f_{5-2}(X_5) - f_{15-2}(X_{15}) \cdot f_{20-2}(X_{20}) \\
 \frac{dX_3(t)}{dt} = (S + R - U)f_{1-3}(X_1) \cdot f_{2-3}(X_2) \cdot f_{4-3}(X_4) - (D + R)f_{15-3}(X_{15}) \cdot f_{20-3}(X_{20}) \\
 \frac{dX_4(t)}{dt} = (K + G + M)f_{14-4}(X_{14}) \cdot f_{18-4}(X_{18}) \cdot f_{22-4}(X_{22}) - Df_{20-4}(X_{20}) \\
 \frac{dX_5(t)}{dt} = f_{14-5}(X_{14}) \cdot (M + R)f_{18-5}(X_{18}) \cdot f_{22-5}(X_{22}) - f_{20-5}(X_{20}) \\
 \frac{dX_6(t)}{dt} = (P + M)f_{7-6}(X_7) \cdot (P + D)f_{8-6}(X_8) \cdot (P - I)f_{14-6}(X_{14}) \cdot f_{19-6}(X_{19}) \cdot f_{23-6}(X_{23}) \\
 \frac{dX_7(t)}{dt} = f_{8-7}(X_8) \cdot (T + U)f_{14-7}(X_{14}) \cdot f_{19-7}(X_{19}) \cdot f_{23-7}(X_{23}) \\
 \frac{dX_8(t)}{dt} = (L + F + M)f_{14-8}(X_{14}) \cdot f_{19-8}(X_{19}) \cdot f_{23-8}(X_{23}) \\
 \frac{dX_9(t)}{dt} = (D + U)f_{10-9}(X_{10}) \cdot f_{11-9}(X_{11}) \cdot Pf_{12-9}(X_{12}) \cdot Bf_{14-9}(X_{14}) \cdot (F - S)f_{24-9}(X_{24}) \cdot f_{27-9}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{10}(t)}{dt} = (M + O)f_{11-10}(X_{11}) \cdot f_{12-10}(X_{12}) \cdot f_{14-10}(X_{14}) \cdot f_{24-10}(X_{24}) \cdot f_{27-10}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{11}(t)}{dt} = (R + Q)f_{12-11}(X_{12}) \cdot f_{14-11}(X_{14}) \cdot f_{24-11}(X_{24}) \cdot f_{27-11}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{12}(t)}{dt} = (P + D)f_{14-12}(X_{14}) \cdot f_{24-12}(X_{24}) \cdot f_{27-12}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{14}(t)}{dt} = (D + U)f_{10-9}(X_{10}) \cdot f_{11-9}(X_{11}) \\
 \frac{dX_{15}(t)}{dt} = (M + O)f_{11-10}(X_{11}) \cdot f_{24-10}(X_{24}) \cdot f_{27-10}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{16}(t)}{dt} = (R + Q)f_{12-11}(X_{12}) \cdot f_{14-11}(X_{14}) \cdot f_{24-11}(X_{24}) \\
 \frac{dX_{17}(t)}{dt} = (P + Q)f_{24-12}(X_{24}) \cdot f_{27-12}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{18}(t)}{dt} = f_{14-18}(X_{14}) \cdot f_{23-18}(X_{23}) \\
 \frac{dX_{19}(t)}{dt} = f_{14-19}(X_{14}) \cdot f_{24-19}(X_{24}) \\
 \frac{dX_{20}(t)}{dt} = f_{14-20}(X_{14}) \\
 \frac{dX_{21}(t)}{dt} = f_{5-21}(X_5) \cdot f_{6-21}(X_6) \cdot f_{7-21}(X_7) \cdot f_{8-21}(X_8) \cdot f_{9-21}(X_9) \cdot f_{10-21}(X_{10}) \\
 \frac{dX_{22}(t)}{dt} = f_{5-22}(X_5) \cdot f_{14-22}(X_{14}) \\
 \frac{dX_{23}(t)}{dt} = f_{6-23}(X_6) \cdot f_{7-23}(X_7) \cdot f_{8-23}(X_8) \cdot f_{14-23}(X_{14}) \\
 \frac{dX_{24}(t)}{dt} = f_{9-24}(X_9) \cdot f_{10-24}(X_{10}) \cdot f_{11-24}(X_{11}) \cdot f_{12-24}(X_{12}) \cdot f_{14-24}(X_{14}) \\
 \frac{dX_{25}(t)}{dt} = f_{14-25}(X_{14}) \cdot f_{20-25}(X_{20}) \cdot f_{26-25}(X_{26}) - f_{27-25}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{26}(t)}{dt} = f_{14-26}(X_{14}) \cdot f_{20-26}(X_{20}) \cdot f_{25-26}(X_{25}) - f_{27-26}(X_{27}) \\
 \frac{dX_{27}(t)}{dt} = f_{14-27}(X_{14}) - f_{20-27}(X_{20}) \cdot f_{25-27}(X_{25}) \cdot f_{26-27}(X_{26}) \\
 \frac{dX_{28}(t)}{dt} = -f_{20-28}(X_{20}) \cdot f_{25-28}(X_{25}) \cdot f_{26-28}(X_{26}) \\
 \frac{dX_{29}(t)}{dt} = -f_{20-29}(X_{20}) \cdot f_{25-29}(X_{25}) \cdot f_{26-29}(X_{26}) \\
 \frac{dX_{31}(t)}{dt} = f_{31}(X_{13}) \cdot f_{24}(X_{14}) - f_{14}(X_5) \\
 \frac{dX_{32}(t)}{dt} = f_{26}(X_3) \cdot f_{37}(X_4) \cdot f_{18}(X_5) \\
 \frac{dX_{33}(t)}{dt} = f_{21}(X_9) - f_{29}(X_5) \cdot f_{30}(X_4) \\
 \frac{dX_{34}(t)}{dt} = -f_{12}(X_{35}) \\
 \frac{dX_{35}(t)}{dt} = f_{36}(X_{48}) \\
 \frac{dX_{36}(t)}{dt} = -f_{34}(X_{42}) \\
 \frac{dX_{37}(t)}{dt} = f_{39}(X_{41}) \cdot f_{35}(X_{45}) \cdot f_{33}(X_{46}) \\
 \frac{dX_{38}(t)}{dt} = f_{40}(X_{45}) \cdot f_{42}(X_{46}) \\
 \frac{dX_{39}(t)}{dt} = f_{41}(X_{37}) - f_{44}(X_{23}) \cdot f_{45}(X_{35})
 \end{cases}$$

Граф причинно-следственных связей показателей авиационной безопасности



$$\frac{dX_6(t)}{dt} = (P + M)f_{7-6}(X_7) \cdot (P + D)f_{8-6}(X_8) \cdot (P - I)f_{14-6}(X_{14}) \cdot f_{19-6}(X_{19}) \cdot f_{23-6}(X_{23})$$

$$\frac{dX_7(t)}{dt} = f_{8-7}(X_8) \cdot (T + U)f_{14-7}(X_{14}) \cdot f_{19-7}(X_{19}) \cdot f_{23-7}(X_{23})$$

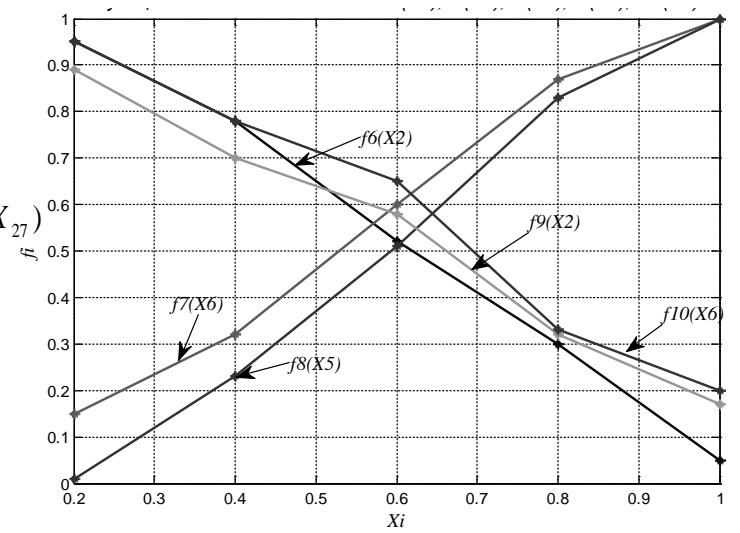
$$\frac{dX_8(t)}{dt} = (L + F + M)f_{14-8}(X_{14}) \cdot f_{19-8}(X_{19}) \cdot f_{23-8}(X_{23})$$

$$\frac{dX_9(t)}{dt} = (D + U)f_{10-9}(X_{10}) \cdot f_{11-9}(X_{11}) \cdot Pf_{12-9}(X_{12}) \cdot Bf_{14-9}(X_{14}) \cdot (F - S)f_{24-9}(X_{24}) \cdot f_{27-9}(X_{27})$$

$$\frac{dX_{10}(t)}{dt} = (M + O)f_{11-10}(X_{11}) \cdot f_{12-10}(X_{12}) \cdot f_{14-10}(X_{14}) \cdot f_{24-10}(X_{24}) \cdot f_{27-10}(X_{27})$$

$$\frac{dX_{11}(t)}{dt} = (R + Q)f_{12-11}(X_{12}) \cdot f_{14-11}(X_{14}) \cdot f_{24-11}(X_{24}) \cdot f_{27-11}(X_{27})$$

$$\frac{dX_{12}(t)}{dt} = (P + D)f_{14-12}(X_{14}) \cdot f_{24-12}(X_{24}) \cdot f_{27-12}(X_{27})$$



Аналитический вид функций для определения показателей авиационной безопасности

$$f_{2-1}(X_2) = 0,91 \cdot X_2^2 + 0,022 \cdot X_2 + 0,27$$

$$f_{3-1}(X_3) = 1,3 \cdot X_3^3 - 2,1 \cdot X_3^2 + 2,3 \cdot X_3 - 0,1$$

$$f_{4-1}(X_4) = 0,71 \cdot X_4^2 + 0,39 \cdot X_4 + 0,17$$

$$f_{5-1}(X_5) = 0,6 \cdot X_5^3 - 1,1 \cdot X_5^2 + 1,6 \cdot X_5 + 0,043$$

$$f_{15-1}(X_{15}) = 0,44 \cdot X_{15}^3 - 1,4 \cdot X_{15}^2 + 2,1 \cdot X_{15} - 0,19;$$

$$f_{18-1}(X_{18}) = -0,3 \cdot X_{18}^3 - 0,18 \cdot X_{18}^2 + 1,5 \cdot X_{18} - 0,076;$$

$$f_{19-1}(X_6^1) = -0,25 \cdot X_{19}^3 + 0,33 \cdot X_{19}^2 + 0,92 \cdot X_{19} - 0,12;$$

$$f_{20-1}(X_2^1) = -0,89 \cdot X_{20}^3 + 2 \cdot X_{20}^2 - 0,28 \cdot X_{20} + 0,009;$$

$$f_{1-2}(X_1) = -3,4 \cdot X_1^3 + 4,9 \cdot X_1^2 - 0,61 \cdot X_1 + 0,06;$$

$$f_{3-2}(X_3) = -0,56 \cdot X_3^3 + 0,73 \cdot X_3^2 - 1,2 \cdot X_3 + 0,99;$$

$$f_{4-2}(X_4) = -0,12 \cdot X_4^3 + 0,45 \cdot X_4^2 - 1,4 \cdot X_4 + 1,1;$$

$$f_{22-4}(X_{22}) = -1,6 \cdot X_{22}^3 + 2,5 \cdot X_{22}^2 - 1,9 \cdot X_{22} + 1,1;$$

$$f_{20-4}(X_1) = -0,94 \cdot X_{20}^3 + 1,8 \cdot X_{20}^2 - 1,9 \cdot X_{20} + 1,2;$$

$$f_{14-5}(X_3) = -0,52 \cdot X_{14}^3 + 0,38 \cdot X_{14}^2 + 1,3 \cdot X_{14} - 0,16;$$

$$f_{18-5}(X_3) = 0,1 \cdot X_{18}^3 - 0,17 \cdot X_{18}^2 + 1,4 \cdot X_{18} - 0,24;$$

$$f_{22-5}(X_{22}) = 0,94 \cdot X_{22}^3 - 1,5 \cdot X_{22}^2 - 0,4 \cdot X_{22} + 1$$

$$f_{5-2}(X_5) = X_5^3 - 1,2 \cdot X_5^2 - 0,62 \cdot X_5 + 0,87;$$

$$f_{15-2}(X_{15}) = 0,82 \cdot X_{15}^3 - 1,6 \cdot X_{15}^2 + 1,6 \cdot X_{15} + 0,039;$$

$$f_{20-2}(X_{20}) = 0,17 \cdot X_{20}^3 - 0,44 \cdot X_{20}^2 + 1,3 \cdot X_{20} + 0,021;$$

$$f_{1-3}(X_1) = 2,6 \cdot X_1^3 - 5,5 \cdot X_1^2 + 1,9 \cdot X_1 + 0,73;$$

$$f_{2-3}(X_2) = 3,3 \cdot X_2^3 - 3,3 \cdot X_2^2 + 1,6 \cdot X_2 + 0,037$$

$$f_{4-3}(X_4) = -0,053 \cdot X_4^3 - 0,16 \cdot X_4^2 - 0,98 \cdot X_4 + 0,99;$$

$$f_{15-3}(X_{15}) = -0,47 \cdot X_{15}^3 + 0,71 \cdot X_{15}^2 + 0,69 \cdot X_{15} + 0,079;$$

$$f_{20-3}(X_5) = 0,7 \cdot X_{20}^3 - 1,1 \cdot X_{20}^2 + 1,5 \cdot X_{20} + 0,003;$$

$$f_{14-4}(X_{14}) = -1,2 \cdot X_{14}^3 + 1,7 \cdot X_{14}^2 - 1,4 \cdot X_{14} + 1;$$

$$f_{18-4}(X_{18}) = 0,21 \cdot X_{18}^3 - 0,7 \cdot X_{18}^2 - 0,44 \cdot X_{18} + 0,99$$

$$f_{20-5}(X_{20}) = 0,52 \cdot X_{20}^3 - 0,83 \cdot X_{20}^2 - 0,84 \cdot X_{20} + 1,2;$$

$$f_{7-6}(X_7) = 2,4 \cdot X_7^3 - 4,3 \cdot X_7^2 + 1,1 \cdot X_7 + 0,88;$$

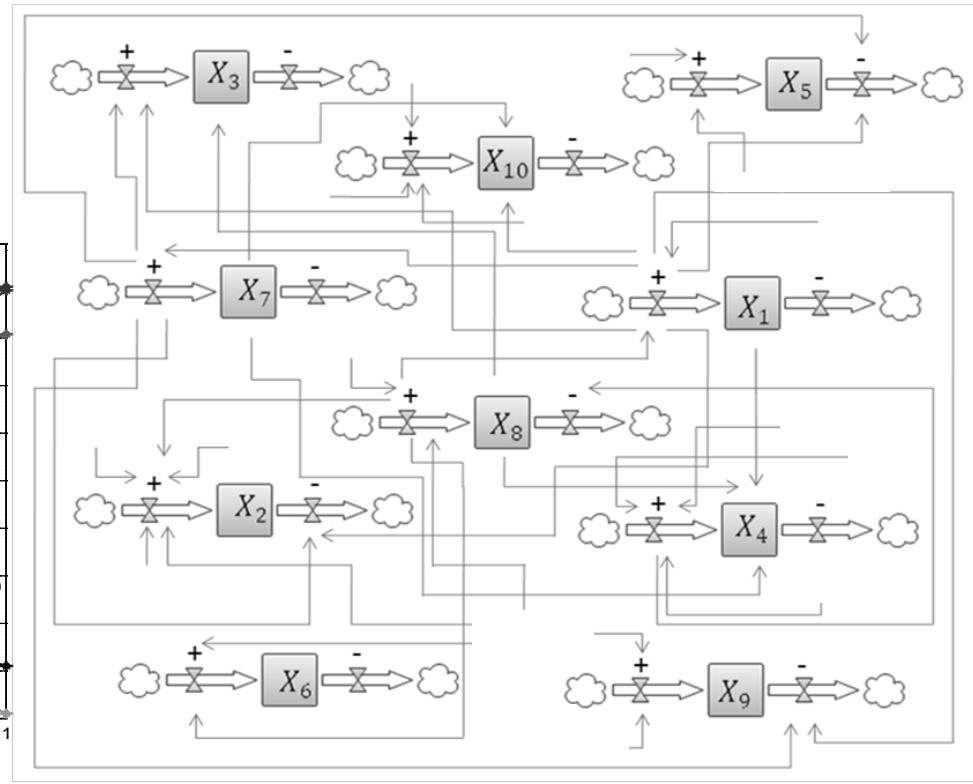
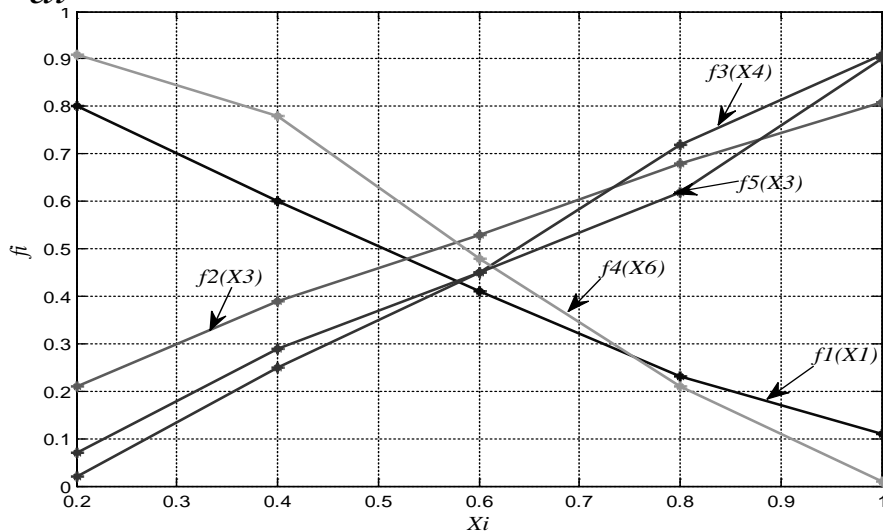
$$f_{8-6}(X_8) = 0,31 \cdot X_8^3 - 0,098 \cdot X_8^2 - 1,4 \cdot X_8 + 1,3;$$

$$f_{14-6}(X_6) = 0,3 \cdot X_{14}^3 + 2,25 \cdot X_{14}^2 + 0,05 \cdot X_{14} + 0,09;$$

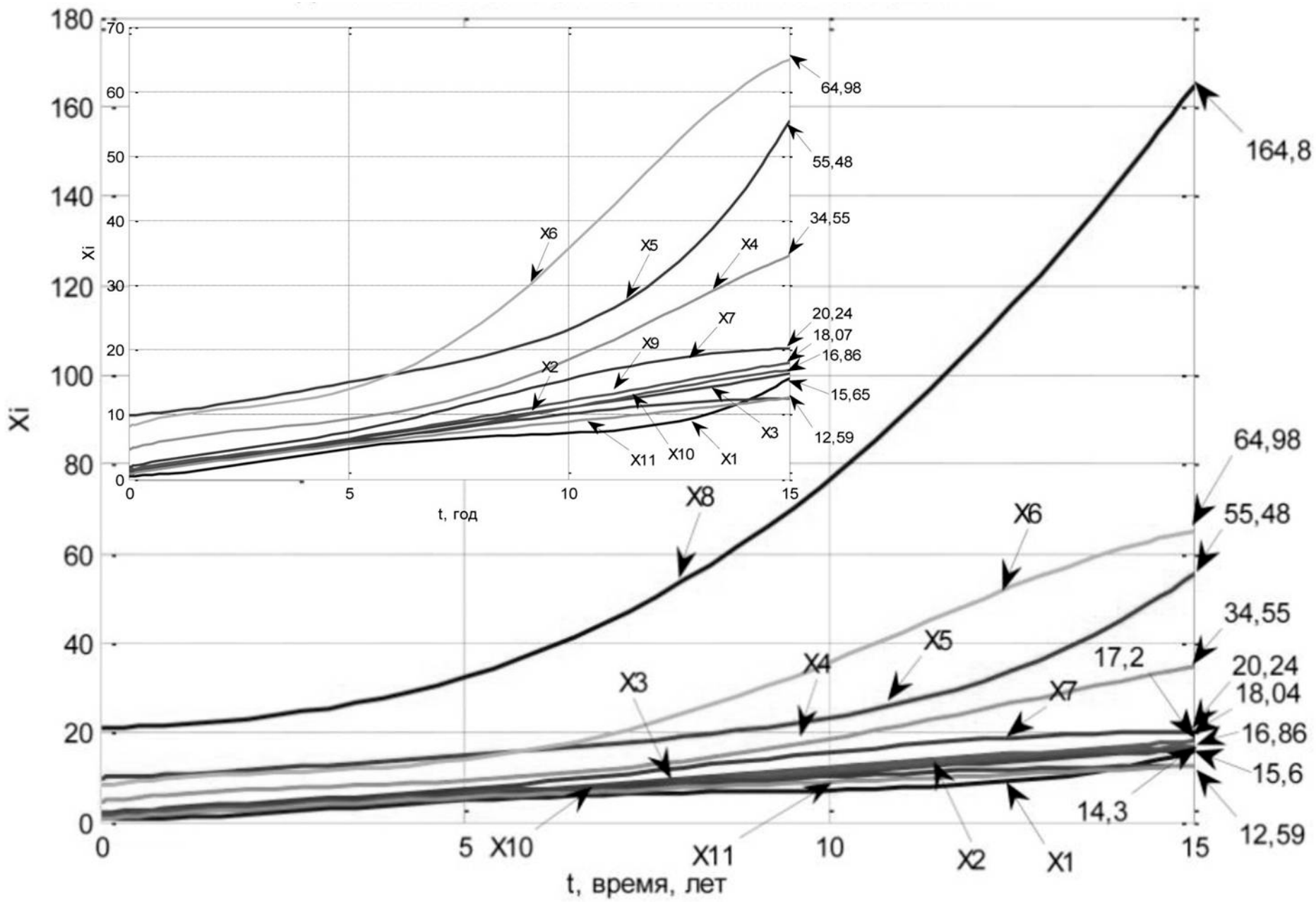
$$f_{19-6}(X_{19}) = -X_{19}^3 + 1,9 \cdot X_{19}^2 + 0,02 \cdot X_{19} + 0,07;$$

Математическая модель показателей авиационной безопасности (общий вид)

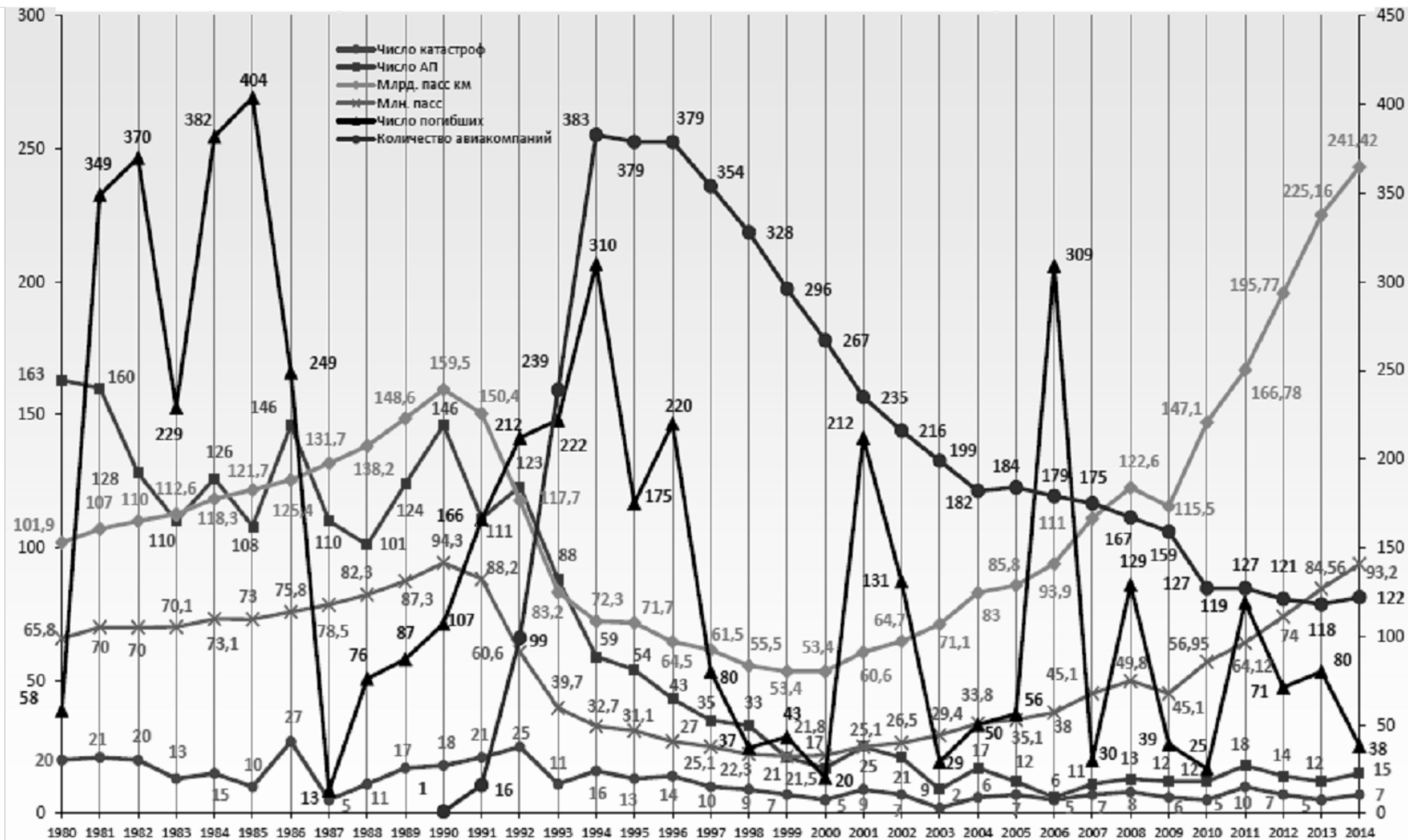
$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dX_9(t)}{dt} &= (D + U) f_{10-9}(X_{10}) \cdot f_{11-9}(X_{11}) \cdot P f_{12-9}(X_{12}) \cdot B f_{14-9}(X_{14}) \cdot (F - S) f_{24-9}(X_{24}) \cdot f_{27-9}(X_{27}) \\ \frac{dX_{10}(t)}{dt} &= (M + O) f_{11-10}(X_{11}) \cdot f_{12-10}(X_{12}) \cdot f_{14-10}(X_{14}) \cdot f_{24-10}(X_{24}) \cdot f_{27-10}(X_{27}) \\ \frac{dX_{11}(t)}{dt} &= (R + Q) f_{12-11}(X_{12}) \cdot f_{14-11}(X_{14}) \cdot f_{24-11}(X_{24}) \cdot f_{27-11}(X_{27}) \\ \frac{dX_{12}(t)}{dt} &= (P + D) f_{14-12}(X_{14}) \cdot f_{24-12}(X_{24}) \cdot f_{27-12}(X_{27}) \\ \frac{dX_{18}(t)}{dt} &= f_{14-18}(X_{14}) \cdot f_{23-18}(X_{23}) \\ \frac{dX_{19}(t)}{dt} &= f_{14-19}(X_{14}) \cdot f_{24-19}(X_{24}) \\ \frac{dX_{20}(t)}{dt} &= f_{14-20}(X_{14}) \end{aligned} \right.$$



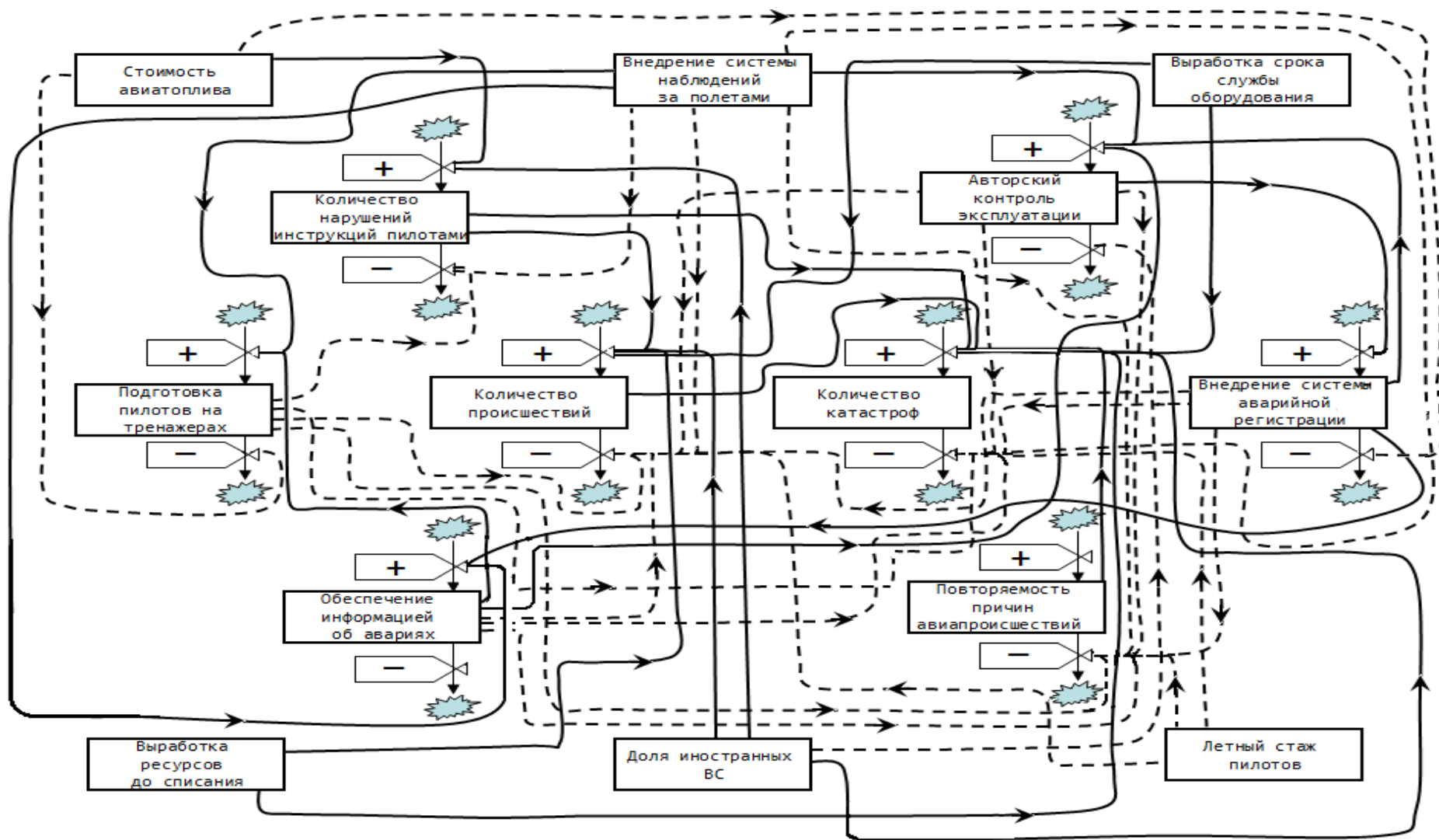
Численное решение задачи прогнозирования характеристик безопасности



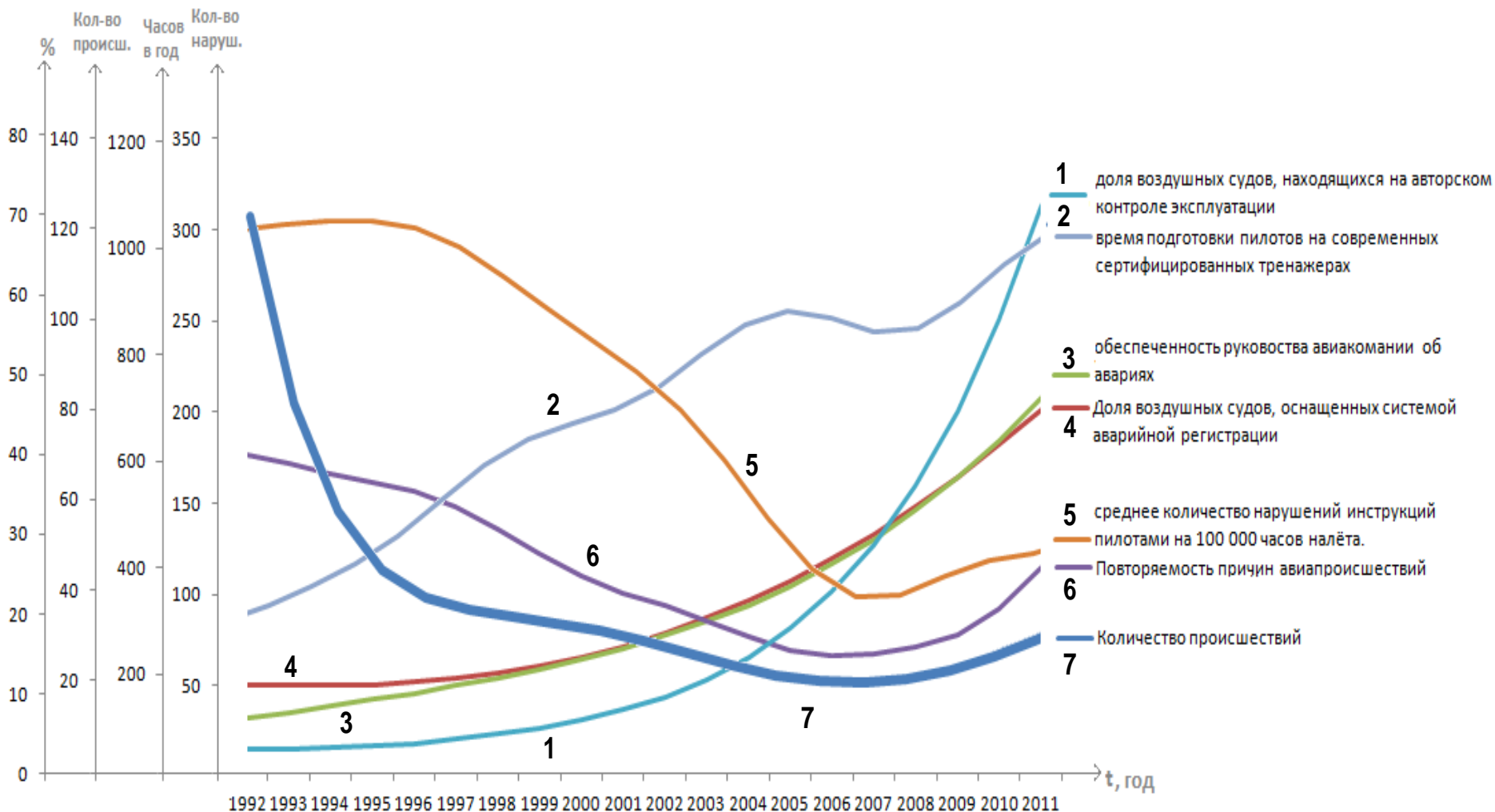
Динамика изменения показателей безопасности АТС



Граф причинно-следственных связей между основными характеристиками авиационной транспортной системы



Прогнозирование характеристик безопасности авиационно-транспортных систем



Динамическое причинно-следственное дерево событий и его минимальные сечения

```

0: |1,2
1: |3,4,5
2: |6,7
3: |8,9
4: |10,11
5: |12,13,14
6: |15,16,17
7: |18,19,20
8:
9:
10: |21,22
11: |23,24
12: |25,26

```

Build

Events for the min sections:

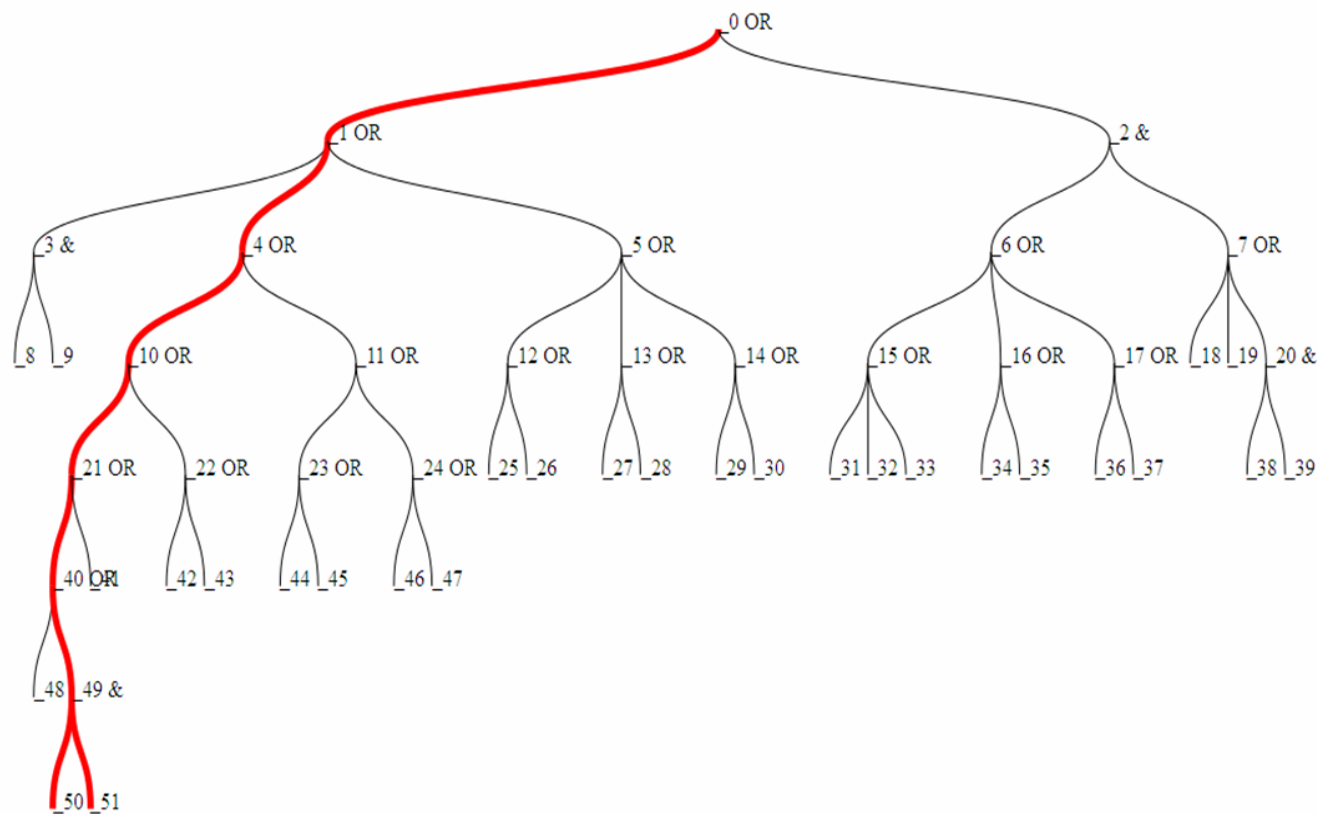
Calculate minimum sections

Minimum sections:

```

1
3
8,9
4
10
21
40
48
49
50,51
41

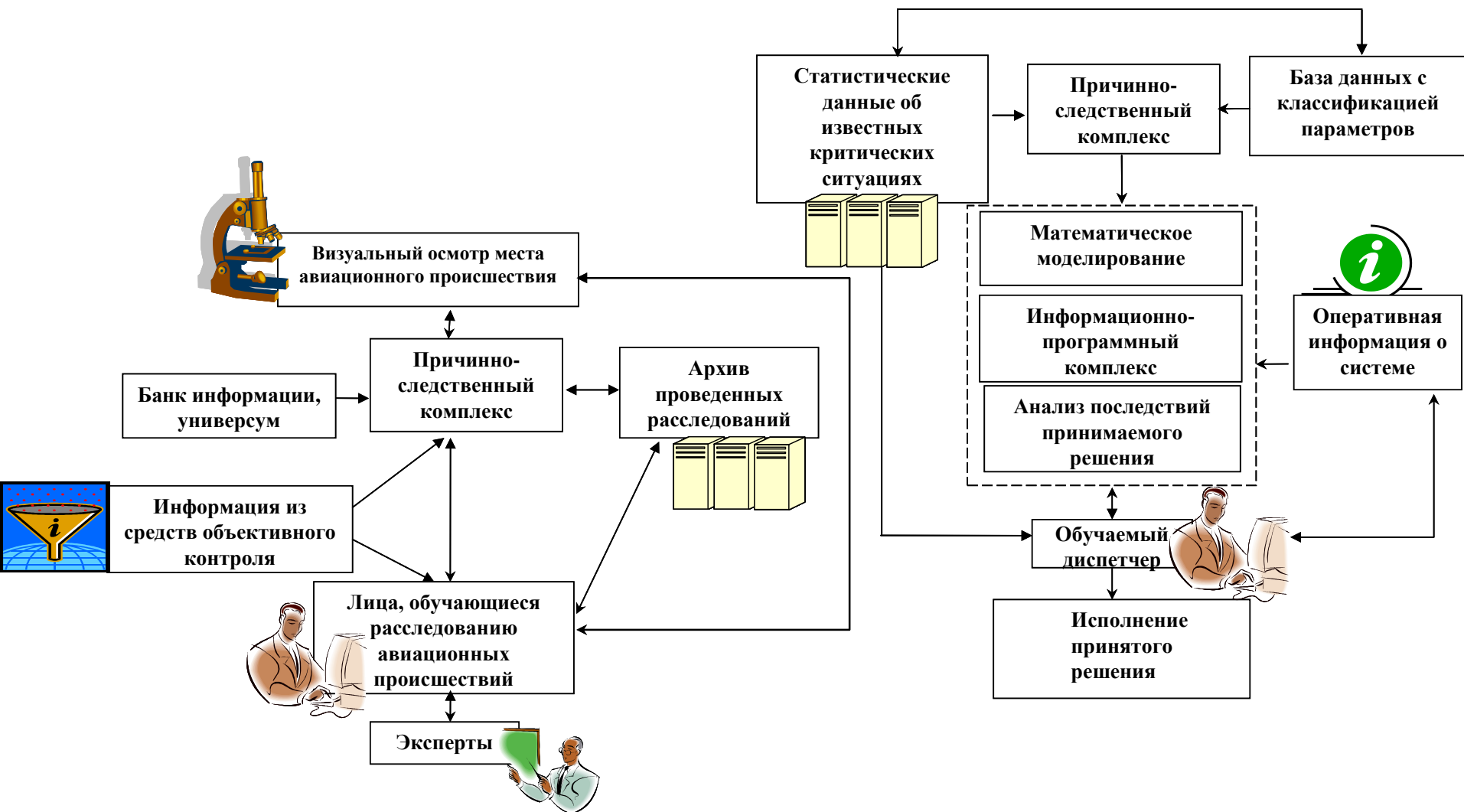
```



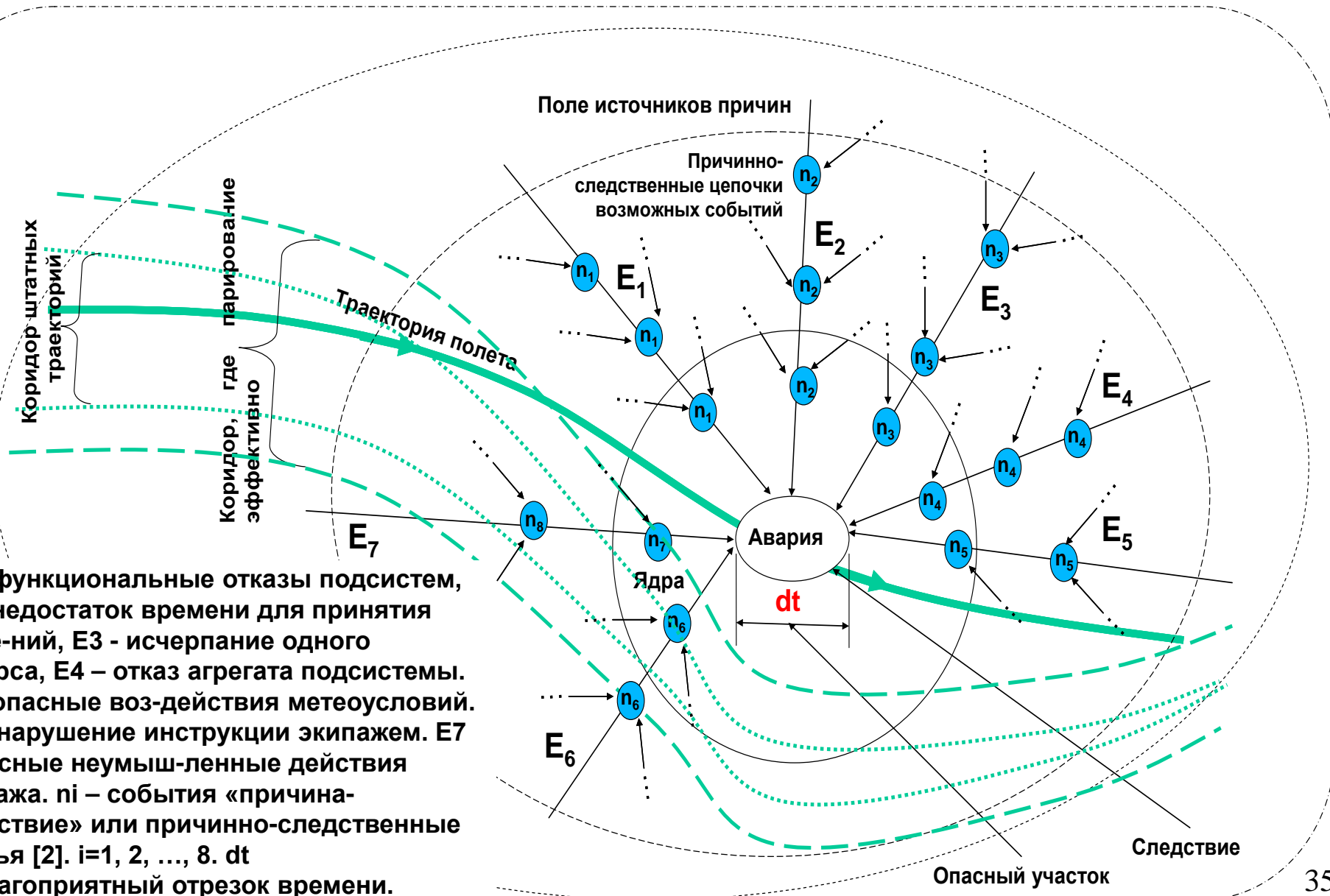
Алгоритмы поиска причин



Структура комплекса технического обеспечения авиационных транспортных систем

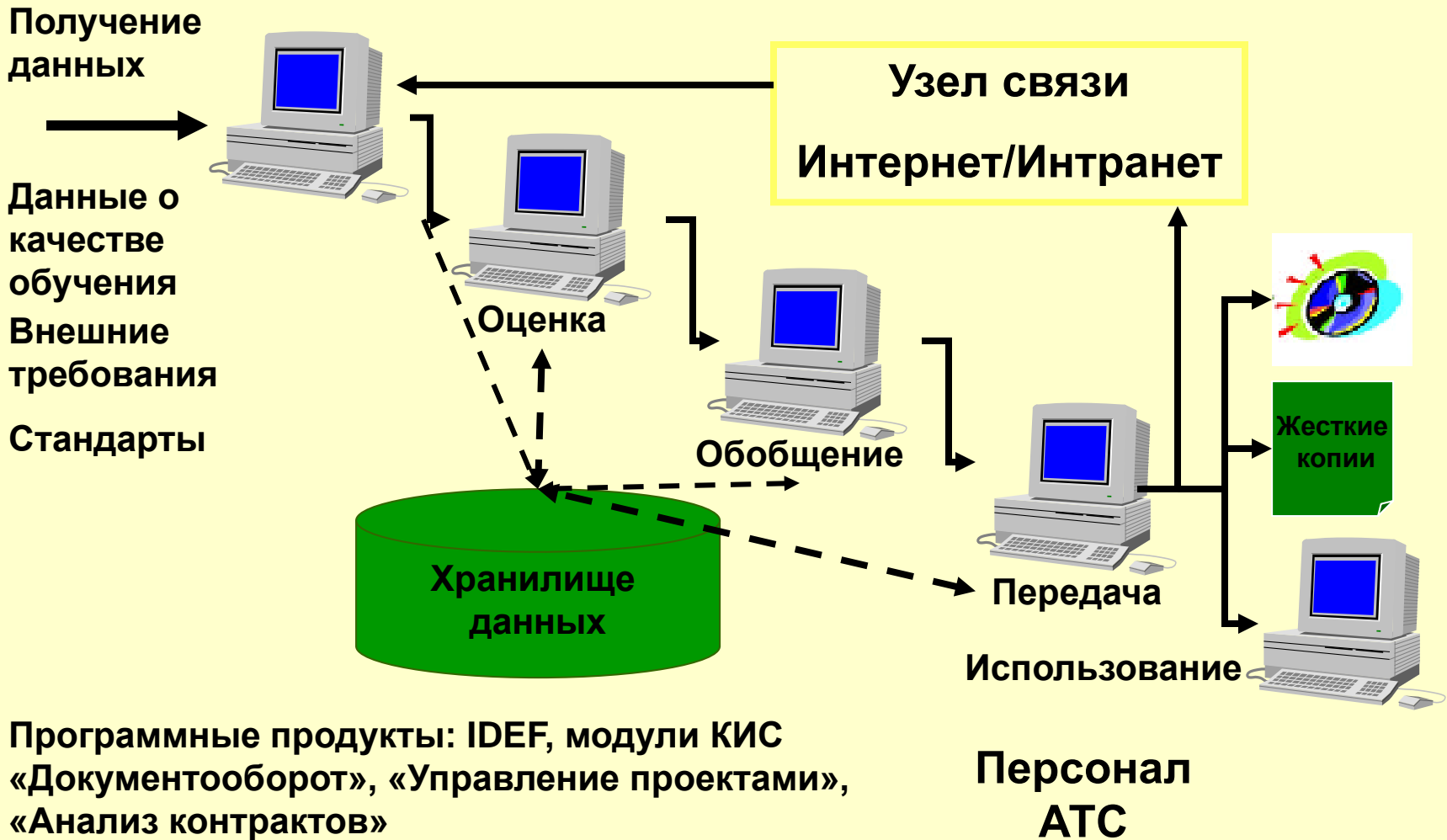


Аварийное стечение обстоятельств на неблагоприятной части траектории

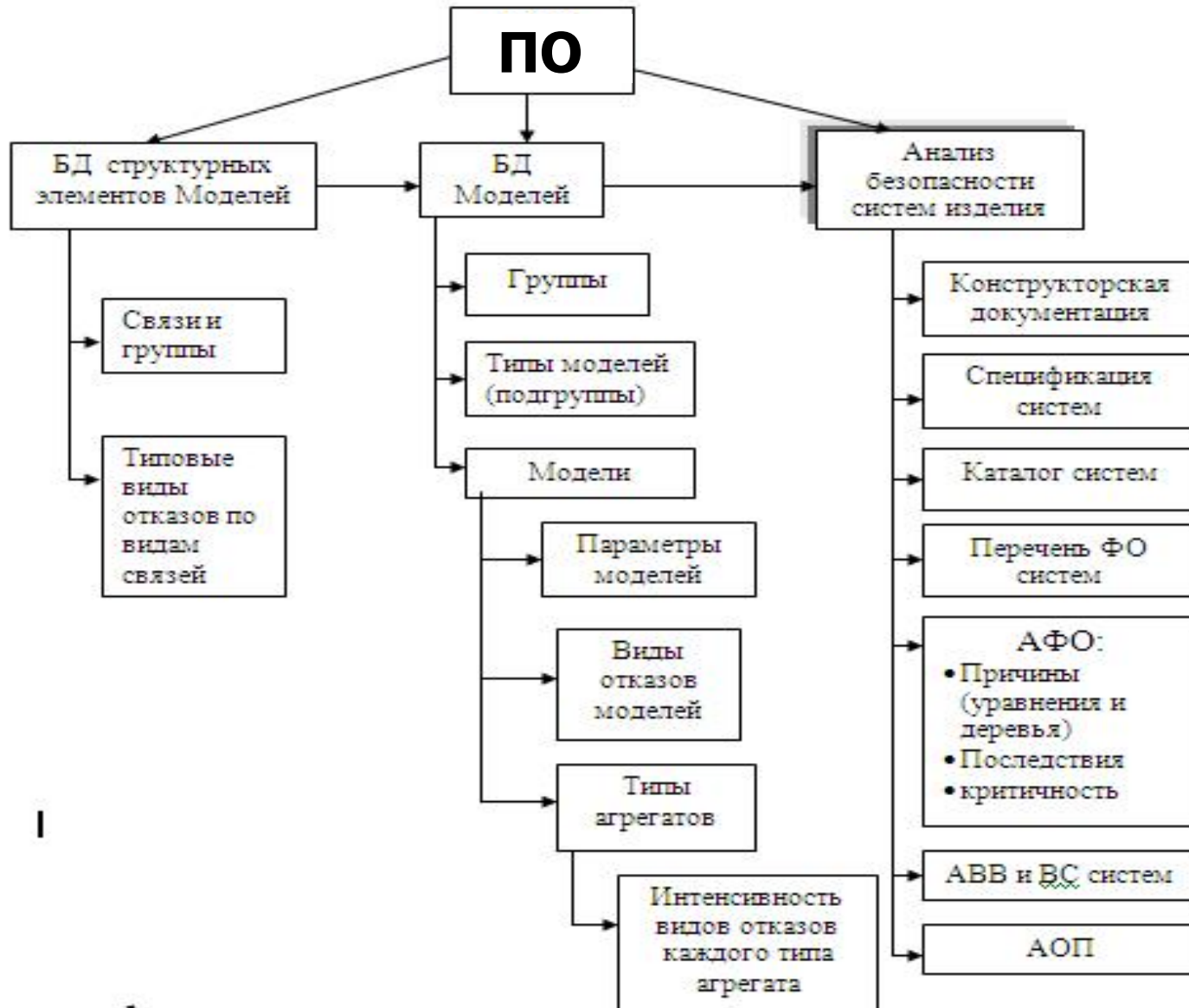


E1 - функциональные отказы подсистем, E2 - недостаток времени для принятия решений, E3 - исчерпание одного ресурса, E4 - отказ агрегата подсистемы. E5 - опасные воздействия метеоусловий. E6 - нарушение инструкции экипажем. E7 - опасные неумышленные действия экипажа. n_i - события «причина-следствие» или причинно-следственные звенья [2]. $i=1, 2, \dots, 8$. dt неблагоприятный отрезок времени.

Автоматизированное рабочее место для обучения персонала АТС



Структура математического и программного обеспечения для безопасности авиационных транспортных систем



Система управления вертолета будущего – летающая лаборатория



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И УПРАВЛЕНИЯ РАН

Создание программно-математического обеспечения экспериментальной системы автоматического управления летающей лабораторией, на основе программного комплекса MatLab, отечественной платформы Fastwel MK-308 и операционной системы реального времени QNX 6.5

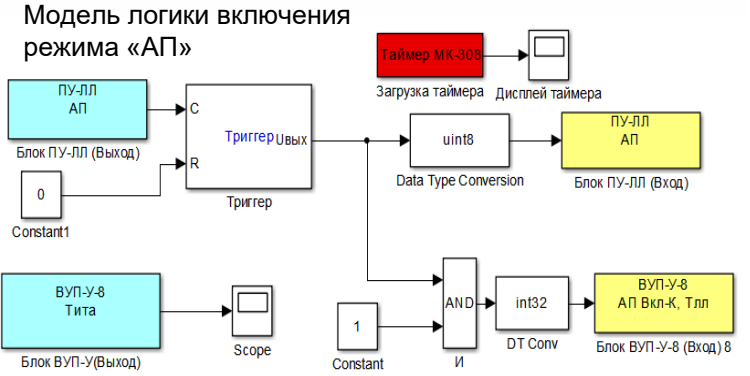
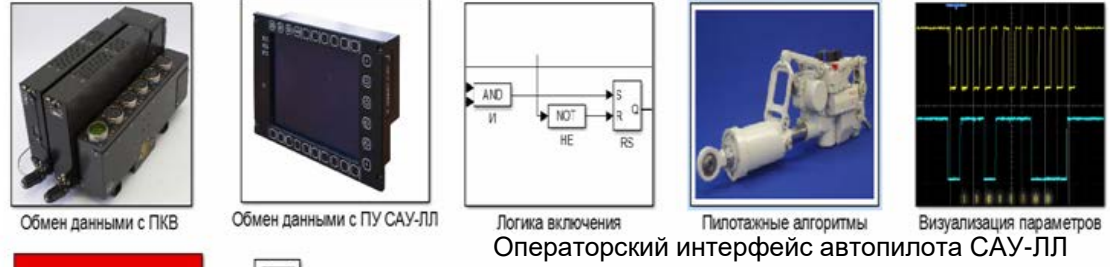
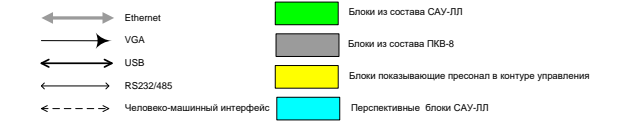
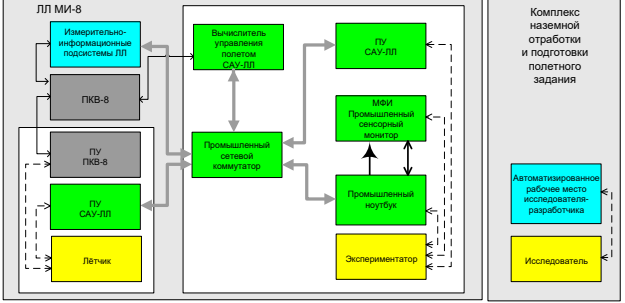


Схема информационного взаимодействия САУ-ЛЛ

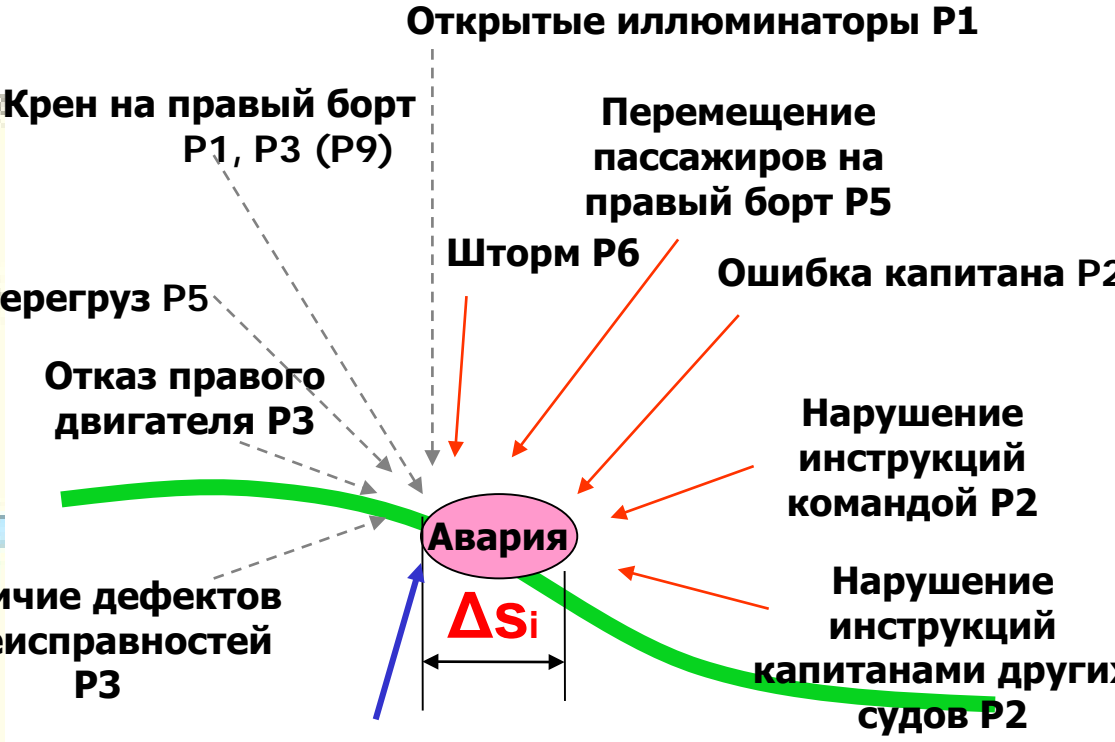
Результаты:

- 1) модернизация экспериментальной базы для опережающих летных исследований в интересах разработки эффективных комплексов автоматизированного управления и БРЭО перспективных вертолетов и беспилотных систем;
- 2) создание научно-технического задела и рекомендаций для проектирования и летных испытаний вертолетов нового поколения
- 3) Сокращение времени разработки систем управления перспективных вертолетов и беспилотных систем



ИПТМУ РАН лаборатория №1, ОАО «ЛЕТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ им. М.М.ГРОМОВА» г.Королев
Лаборатория №1 системных проблем управления и автоматизации в машиностроении
Заведующий лабораторией чл.-корр. РАН, профессор А.Ф.Резчиков

Неблагоприятное стечение обстоятельств, которое привело к катастрофе парохода «Булгария»



Невыполненное условие безопасности:

$$S_{i_1, \dots, i_m}(r_{i_1}, \dots, r_{i_m}) = (r_{i_1} \geq r_{i_1}^0) \vee (r_{i_2} \geq r_{i_2}^0) \vee \dots \vee (r_{i_n} \geq r_{i_n}^0) = \text{false}$$

$$z \quad \{r_{i_1}, \dots, r_{i_m}\} \subseteq \{1, 2, \dots, k\} \dots$$

$$\bar{S}(r_1, \dots, r_k) = \bigwedge_{\{r_{j_1}, \dots, r_{j_m}\} \subseteq \{1, \dots, k\}} S_{r_{j_1}, \dots, r_{j_m}}(r_{j_1}, \dots, r_{j_m}) = \text{false}$$

Что нужно было сделать для предотвращения катастрофы



Катастрофу удалось бы предотвратить, если:

- существовал и использовался банк подобных происшествий, аварий и катастроф для парирования;
- капитан и команда были бы подготовлены к действиям к данным условиям и выполняли их;
- были бы средства парирования аварии и имелись условия их применения;
- управление судном было бы обеспечено достаточно полной и точной информацией по группам процессов для парирования аварии;
- инструкции и правила соответствовали причинно-следственному подходу.

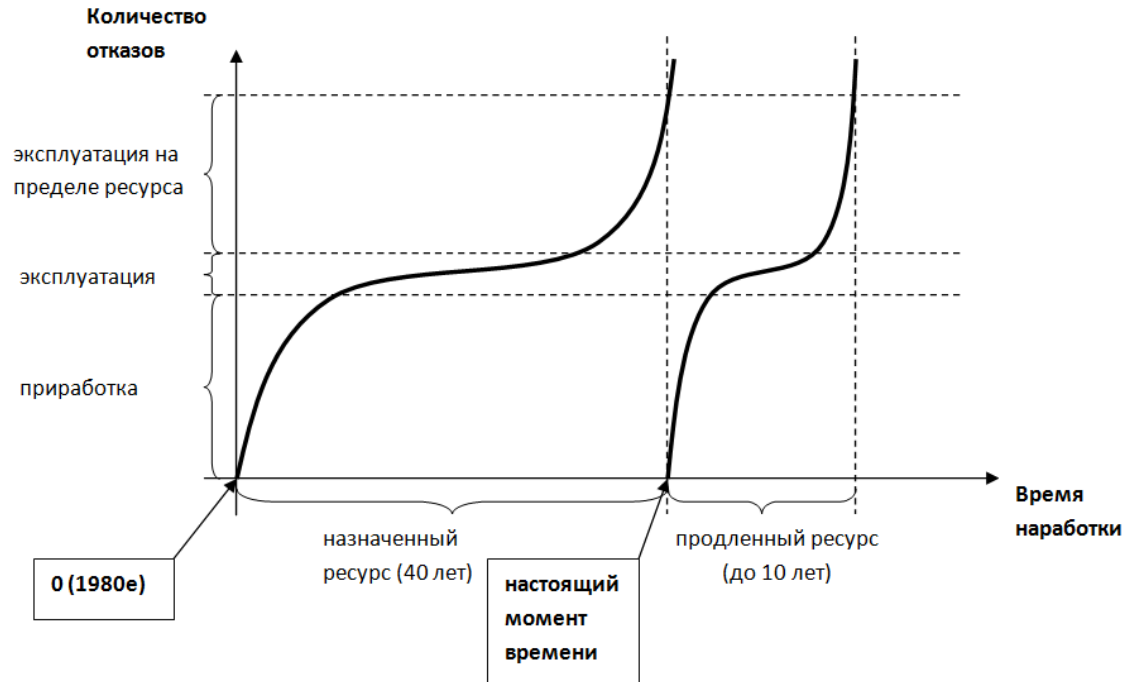
Применение теории ПСК позволит

1. Систематизировать причинно-следственные связи разнородных процессов.
2. Формировать общегосударственные и отраслевые банки данных о происшествиях и инструкции по их использованию.

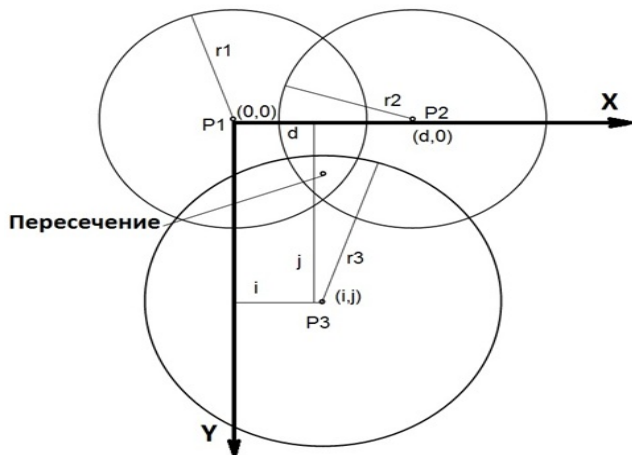
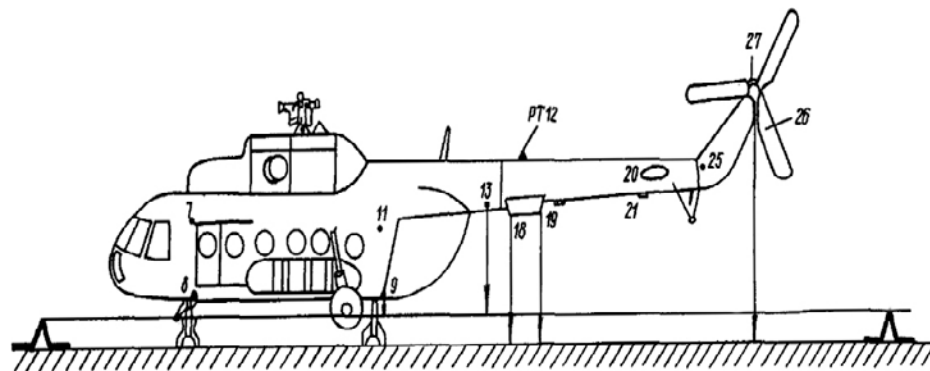
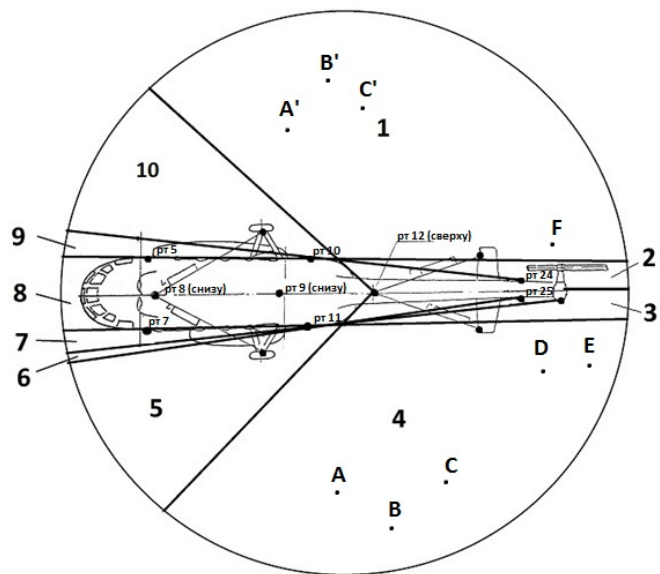
Автоматизированная система управления ремонтом вертолетов (356 авиаремонтный завод, г. Энгельс)



Актуальность темы исследования

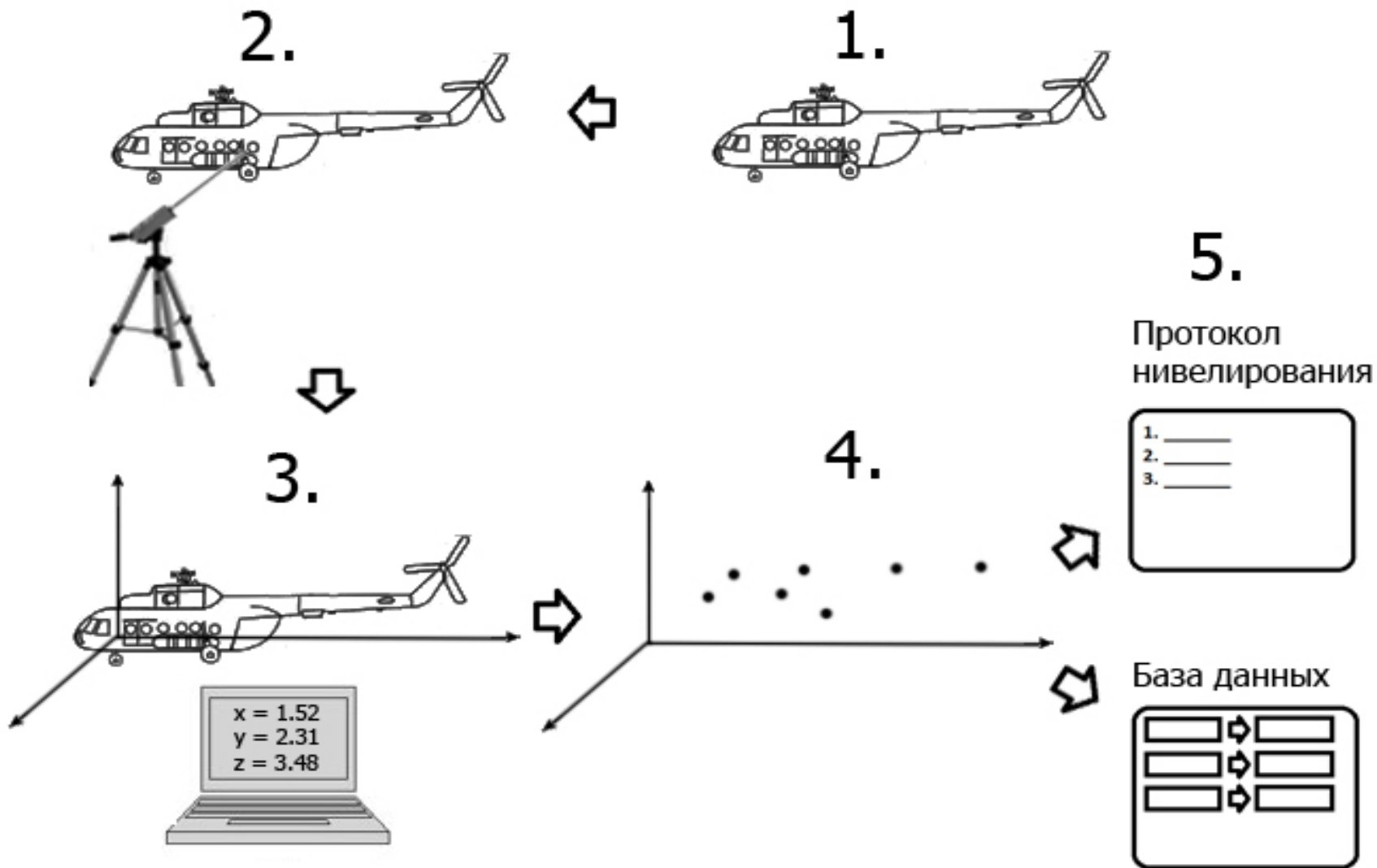


Разработка методики диагностирования дефектов геометрических параметров фюзеляжа вертолетов МИ-8 и его модификаций



№ зоны	Наблюдаемые реперные точки	Число реперных точек
1	5,8,23,24,ШП,25,СП,19	8
2	19,СП,ШП,25,24	5
3	20,27,СЛ,ШЛ,25,24	6
4	7,10,23,24,ШЛ,25,СП,20,27	9
5	7,10,23,24,ШЛ,СЛ,20,27	8
6	7,10,23,24,ШЛ,СП,27	7
7	7,10,23,24,ШЛ,СП	6
8	23,24	2
9	5,8,23,24,ШП,СП	6
10	5,8,23,24,ШП,СП,19	7

Принципиальная схема работы информационно-измерительного комплекса для нивелирования вертолета Ми-8



Математическая модель для расчета показателей национальной безопасности РФ



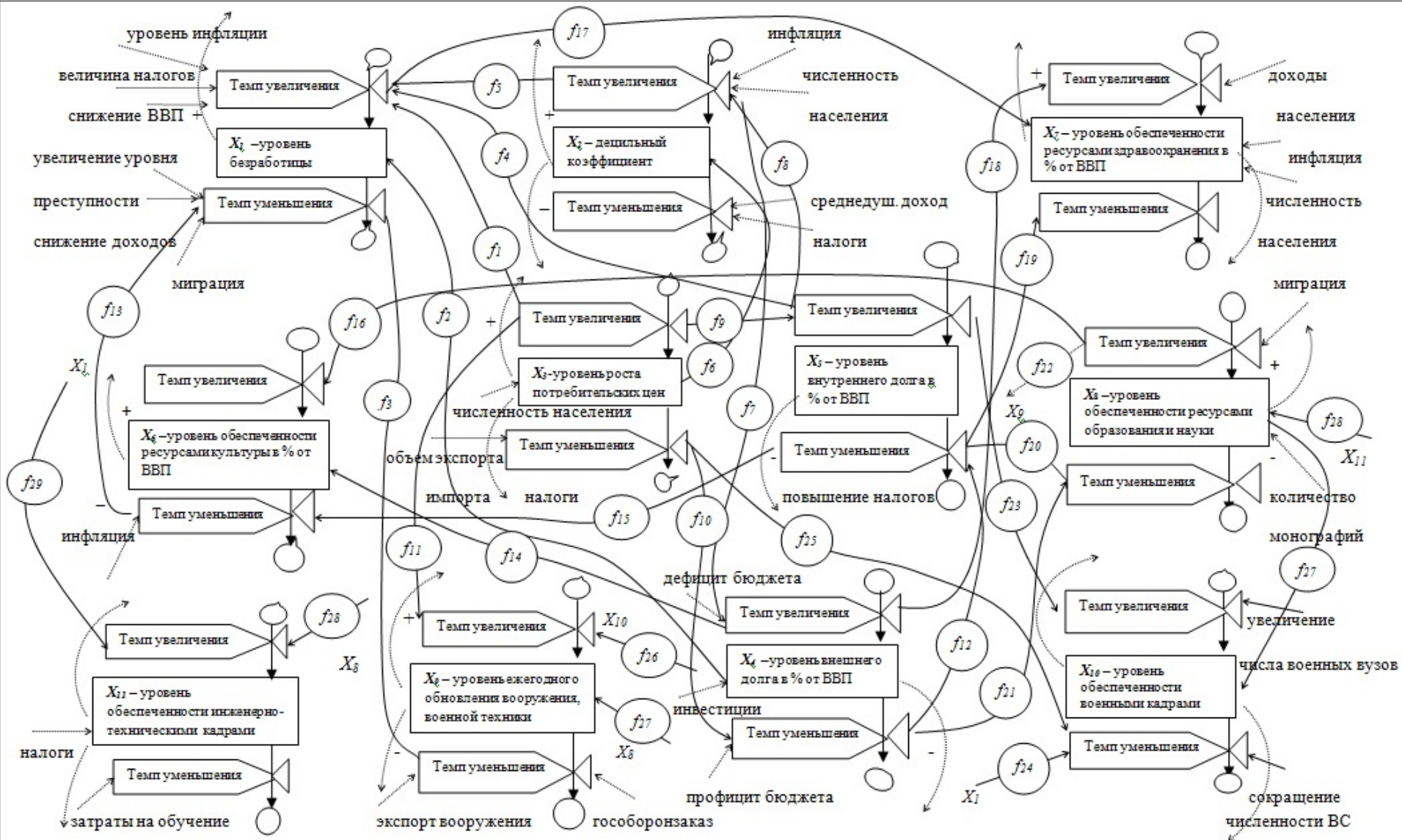
Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. N 537 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года"

Национальная безопасность - состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, которое позволяет обеспечить конституционные права, свободы, достойные качество и уровень жизни граждан, суверенитет, территориальную целостность и устойчивое развитие Российской Федерации, оборону и безопасность государства.

Основные характеристики состояния национальной безопасности предназначаются для оценки состояния национальной безопасности и включают:

- 1.уровень безработицы (доля от экономически активного населения);**
- 2.децильный коэффициент (соотношение доходов 10% наиболее и 10% наименее обеспеченного населения);**
- 3.уровень роста потребительских цен;**
- 4.уровень государственного внешнего и внутреннего долга в процентном отношении от валового внутреннего продукта;**
- 5.уровень обеспеченности ресурсами здравоохранения, культуры, образования и науки в процентном отношении от валового внутреннего продукта;**
- 6.уровень ежегодного обновления вооружения, военной и специальной техники;**
- 7.уровень обеспеченности военными и инженерно-техническими кадрами.**

Орграф причинно-следственных связей между показателями национальной безопасности РФ



Математическая модель показателей национальной безопасности

$$\begin{cases}
 \frac{dX_1(t)}{dt} = X_1(t) \left(\frac{(И + МЗП + Д)}{X_1(t)} \cdot f_1(X_3) \cdot f_2(X_4) \cdot f_5(X_2) - \frac{(ПТ + Н + ВВП)}{X_1(t)} \cdot f_4(X_5) \right) \\
 \frac{dX_2(t)}{dt} = X_2(t) \left(\frac{(ЧП + И + Ч + ВВП)}{X_2(t)} \cdot f_6(X_3) \cdot f_7(X_4) \cdot f_8(X_5) - \frac{(Н + СДД)}{X_2(t)} \right) \\
 \frac{dX_3(t)}{dt} = X_3(t) \left(\frac{(И + Ч + Д)}{X_3(t)} \cdot f_{11}(X_9) - \frac{(Н + ВВП + Э + ИМ)}{X_3(t)} \cdot f_9(X_5) \cdot f_{10}(X_4) \right) \\
 \frac{dX_4(t)}{dt} = X_4(t) \left(\frac{(ПБ + И + ВВП)}{X_4(t)} - \frac{(ДБ + Н)}{X_4(t)} \cdot f_{12}(X_5) \right) \\
 \frac{dX_5(t)}{dt} = X_5(t) \left(\frac{(ДБ + И + Н + ИИ)}{X_5(t)} - \frac{(ДЭ + ВВП)}{X_5(t)} \right) \\
 \frac{dX_6(t)}{dt} = X_6(t) \left(\frac{(ВВП + И)}{X_6(t)} \cdot f_{16}(X_8) - \frac{(МЗП + Н + Ч)}{X_6(t)} \cdot f_{14}(X_4) \cdot f_{15}(X_5) \cdot f_{13}(X_6) \right) \\
 \frac{dX_7(t)}{dt} = X_7(t) \left(\frac{(ВВП + Д + МЗП)}{X_7(t)} - \frac{(МЗП + Н + Ч)}{X_7(t)} \cdot f_{17}(X_1) \cdot f_{18}(X_4) \cdot f_{19}(X_5) \right) \\
 \frac{dX_8(t)}{dt} = X_8(t) \left(\frac{(ВВП + В + МО + ППС + НИ + ФИ + ЗА)}{X_8(t)} - \frac{(Д + М + Ч + И + МЗП)}{X_8(t)} \cdot f_{20}(X_5) \cdot f_{21}(X_4) \right) \\
 \frac{dX_9(t)}{dt} = X_9(t) \left(\frac{(ГЗ + ВВП + ОФ + К + ЭВ)}{X_9(t)} - \frac{(И + ЗО)}{X_9(t)} \cdot f_{22}(X_8) \cdot f_3(X_1) \cdot f_{11}(X_3) \right) \\
 \frac{dX_{10}(t)}{dt} = X_{10}(t) \left(\frac{(ГЗ + ВВП + ЗП + К)}{X_{10}(t)} \cdot f_{26}(X_9) \cdot f_{27}(X_8) - \frac{(БЗ + ЗО + ПЦ)}{X_{10}(t)} \cdot f_{24}(X_1) \cdot f_{23}(X_5) \cdot f_{25}(X_4) \right) \\
 \frac{dX_{11}(t)}{dt} = X_{11}(t) \left(\frac{(УЗ + ЗП + Н + Ф)}{X_{11}(t)} \cdot f_{28}(X_8) \cdot f_{29}(X_1) - \frac{(БЗ + ЗО)}{X_{11}(t)} \right)
 \end{cases} \quad (1)$$

Вспомогательные функции модели

- f1(X3)*-функциональная зависимость уровня безработицы от уровня роста цен
- f2(X4)*-функциональная зависимость уровня безработицы от уровня внешнего долга страны
- f3(X1)*- функциональная зависимость уровня обновления вооружения от уровня безработицы
- f4(X5)*-функциональная зависимость уровня безработицы от уровня внутреннего долга
- f5(X2)*-функциональная зависимость уровня безработицы от децильного коэффициента
- f6(X3)*-функциональная зависимость децильного коэффициента от уровня роста цен
- f7(X4)*-функциональная зависимость децильного коэффициента от уровня внешнего долга страны
- f8(X5)*-функциональная зависимость децильного коэффициента от уровня внутреннего долга
- f9(X5)*-функциональная зависимость уровня роста цен от уровня внутреннего долга страны
- f10(X4)*-функциональная зависимость уровня роста цен от уровня внешнего долга страны
- f11(X9)*-функциональная зависимость уровня рост цен от уровня ежегодного обновления вооружения
- f11(X3)*- функциональная зависимость уровня обновления вооружения от уровня роста цен
- f12(X5)*-функциональная зависимость уровня внешнего долга от уровня внутреннего долга
- f13(X6)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами здравоохранения от уровня безработицы
- f14(X4)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами здравоохранения от уровня внешнего долга в % от ВВП
- f15(X5)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами здравоохранения от уровня внутреннего долга в %
- f16(X8)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами здравоохранения от уровня ресурсами образования и науки
- f17(X1)*- функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами культуры от уровня безработицы
- f18(X4)*- функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами культуры от уровня внешнего долга в % от ВВП
- f19(X5)*- функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами культуры от уровня внутреннего долга в % от ВВП.
- f20(X5)*- функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами образования и науки от уровня внутреннего долга в % от ВВП
- f21(X4)*- функциональная зависимость уровня обеспеченности ресурсами образования и науки от уровня внешнего долга в % от ВВП
- f22(X8)*- функциональная зависимость уровня обновления вооружения от уровня обеспеченности ресурсами образования и науки
- f23(X5)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности военными кадрами от уровня внутреннего долга в % от ВВП
- f24(X1)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности военными кадрами от уровня безработицы
- f25(X4)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности военными кадрами от уровня внешнего долга в % от ВВП
- f26(X9)*- функциональная зависимость уровня обеспеченности военными кадрами от уровня обновления вооружения
- f27(X8)*- функциональная зависимость уровня обеспеченности военными кадрами от уровня обеспеченности ресурсами науки и образования
- f28(X8)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности инженерно-техническими кадрами от уровня обеспеченности ресурсами образования и науки
- f29(X1)*-функциональная зависимость уровня обеспеченности

Изменение показателей национальной безопасности при увеличении ВВП РФ

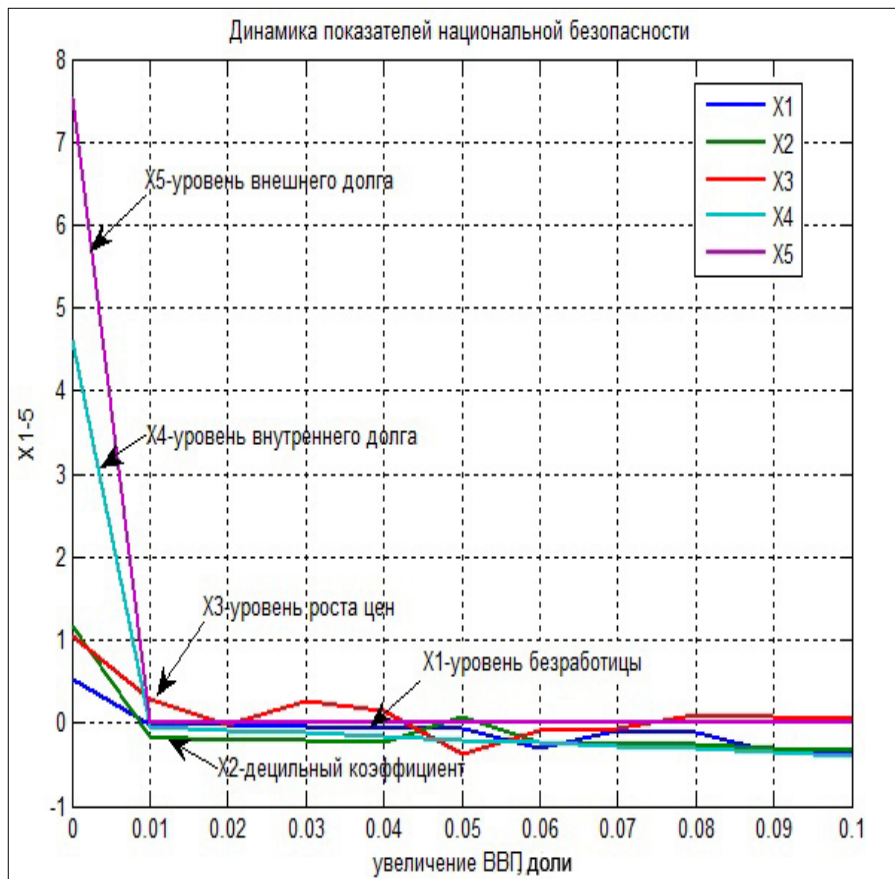


Рис.11. Изменение показателей X1-X5

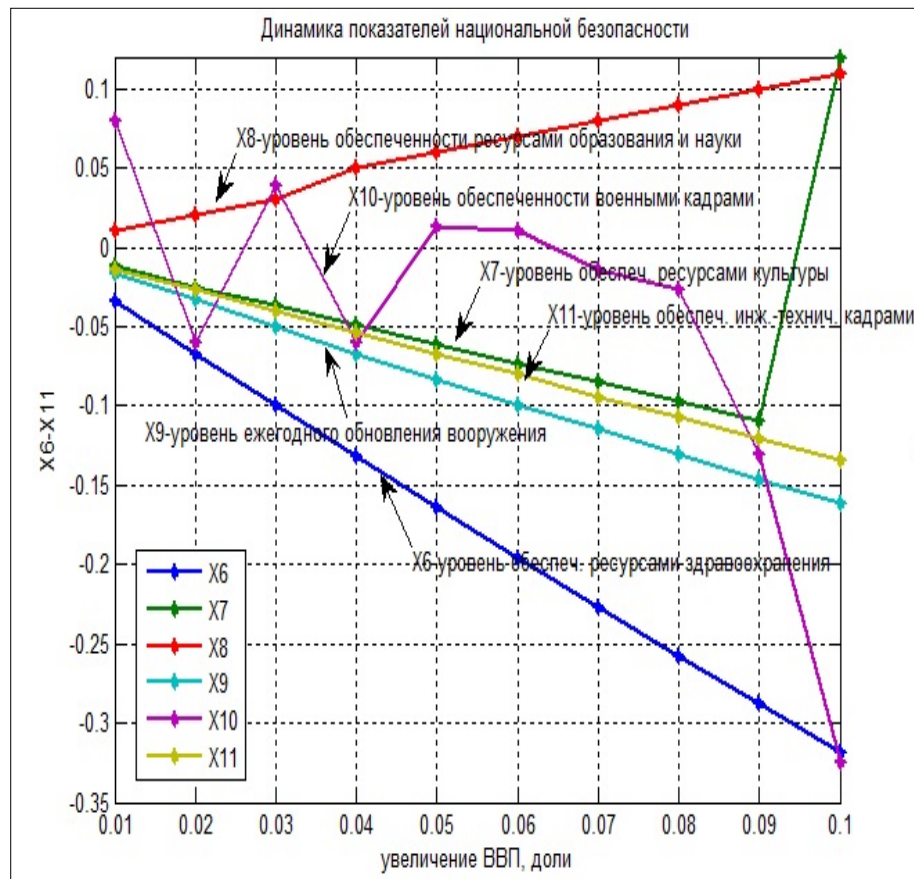


Рис.12. Изменение показателей X6-X11

Показатели рейтинга университетов U-Multirank

Обучение и преподавание:

- % выпускников-бакалавров;
- % выпускников-магистров;
- % выпускников-бакалавров, закончивших обучение в срок;
- % выпускников- магистров, закончивших обучение в срок

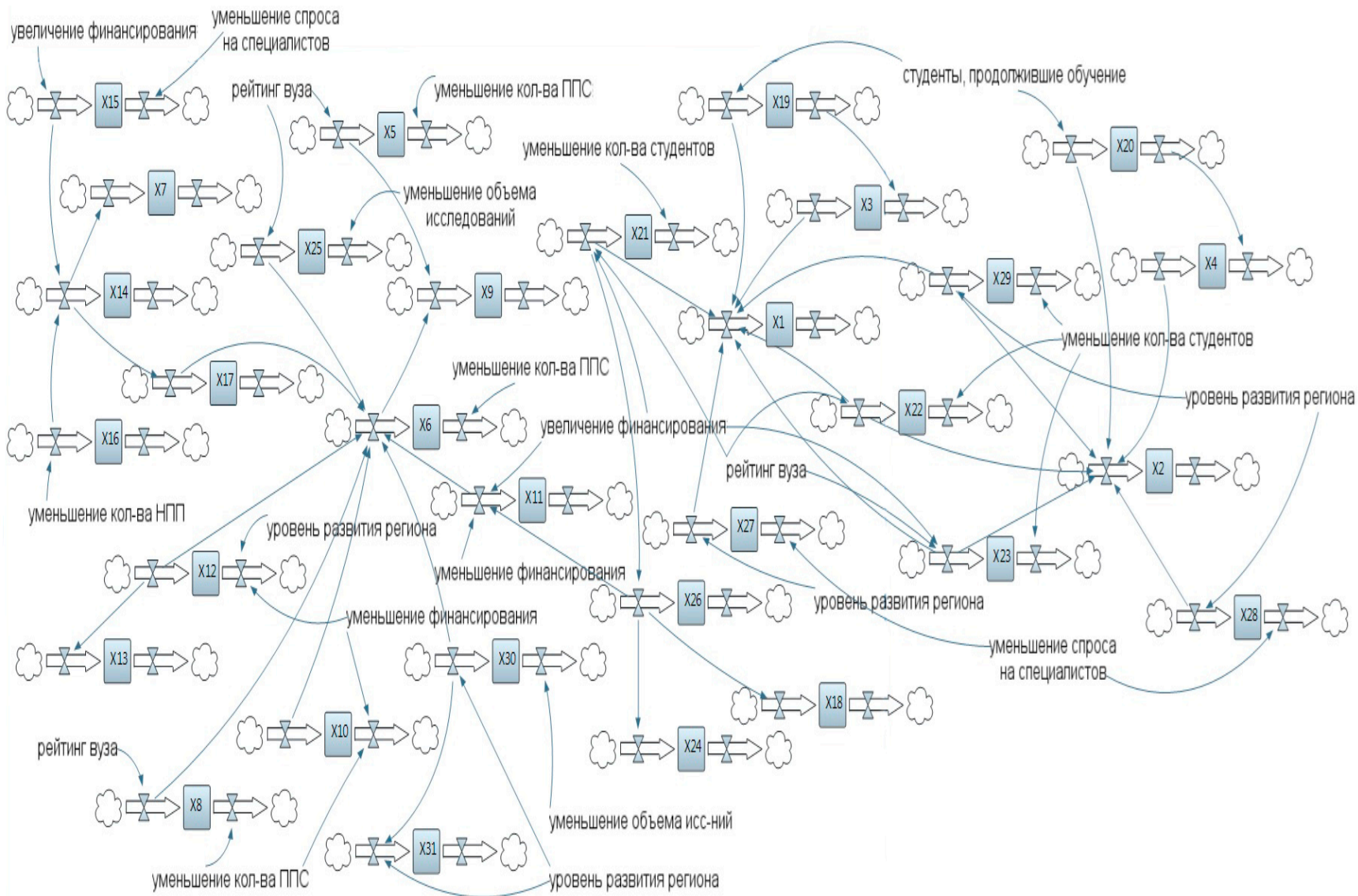
Научные исследования:

- среднее число цитирований;
- общее кол-во публикаций;
- нормализованное кол-во публикаций;
- доходы от научных исследований, полученные из внешних источников;
- кол-во исследований в области искусств;
- кол-во часто цитируемых публикаций;
- кол-во междисциплинарных научных публикаций;
- соотношение числа постодоков к штат.академ. сотрудникам

Передача знаний:

- % совместных публикаций университета и промышленных предприятий;
- % доходов от сторонних организаций;
- общее кол-во присужденных патентов;
- нормализованное кол-во присужденных патентов;

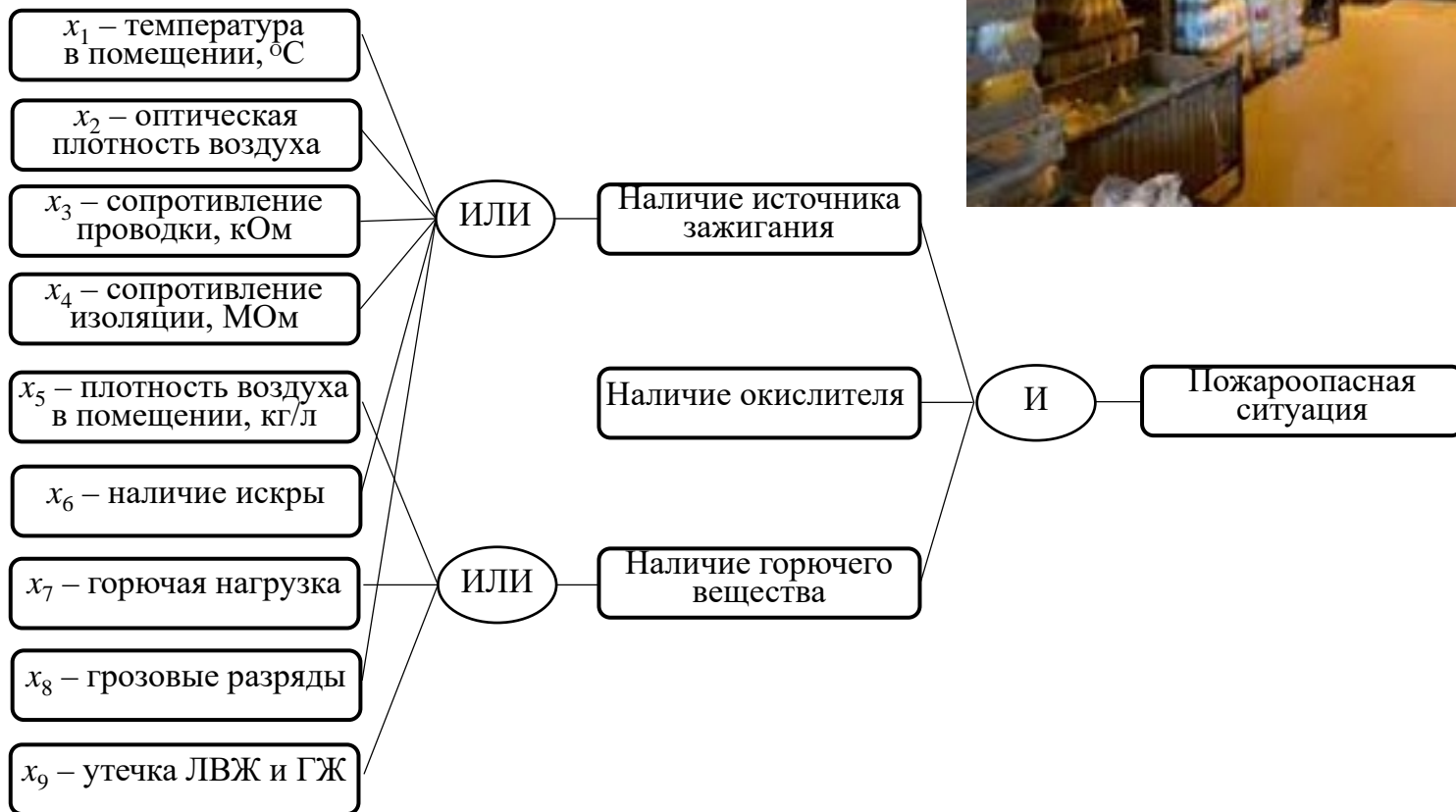
Причинно-следственные связи между показателями рейтинга U-Multirank



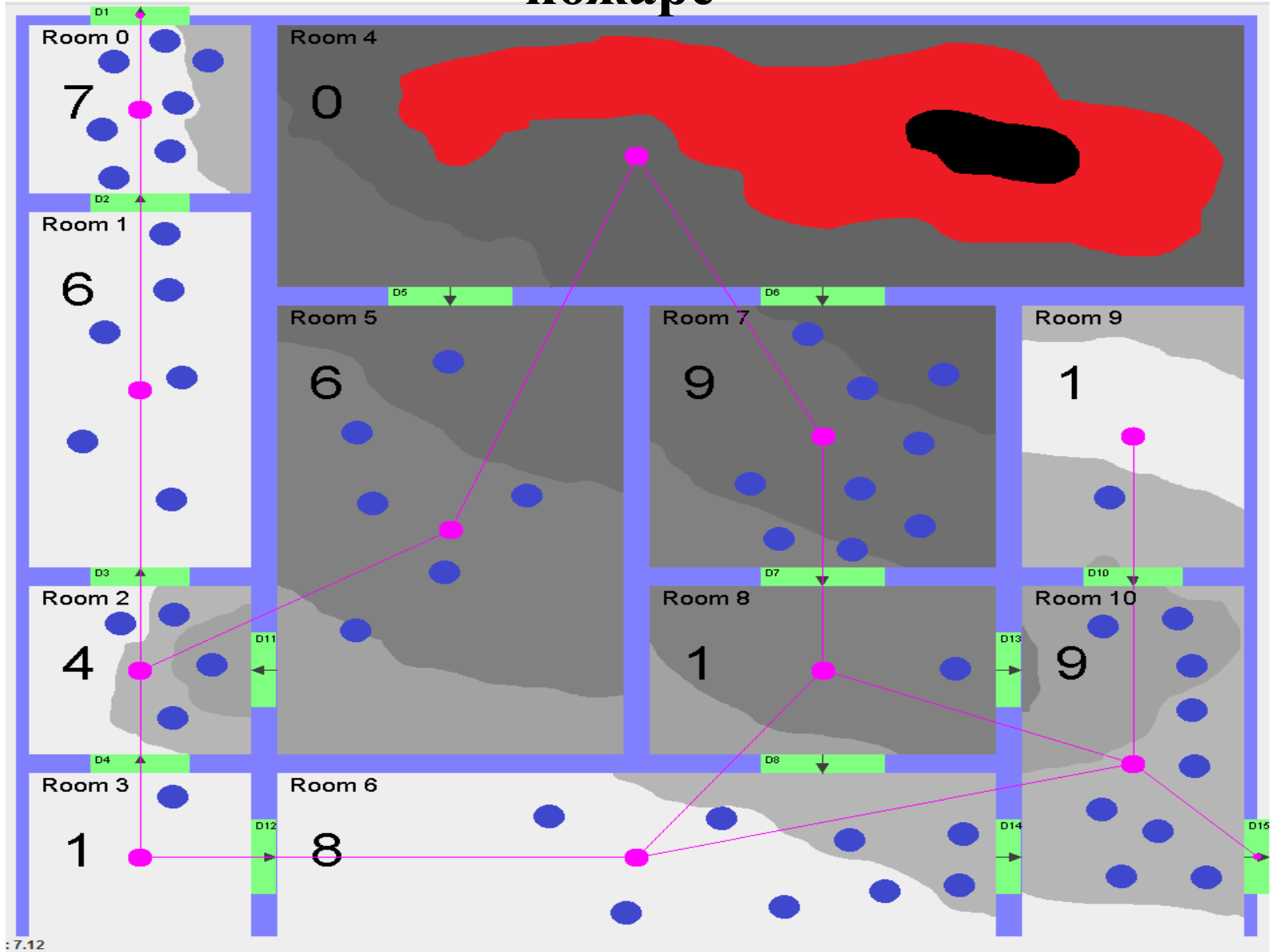
Характеристика пожароопасных производств



Взаимосвязь факторов и условий возникновения пожароопасных ситуаций

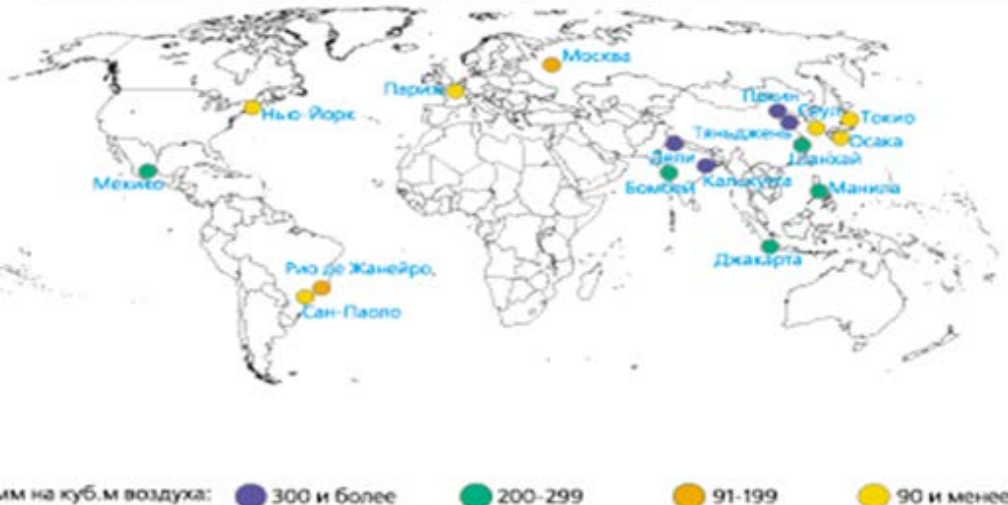


Модельный пример эвакуации персонала при пожаре

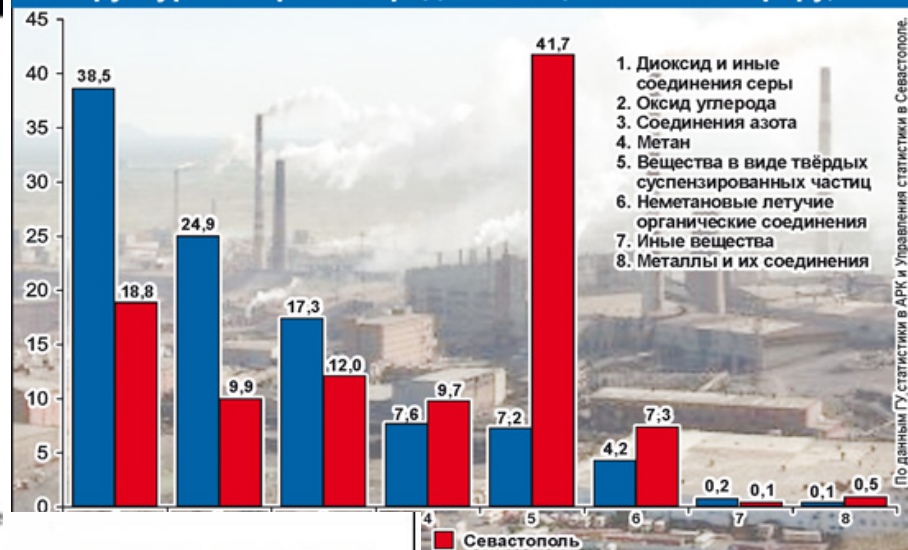


УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

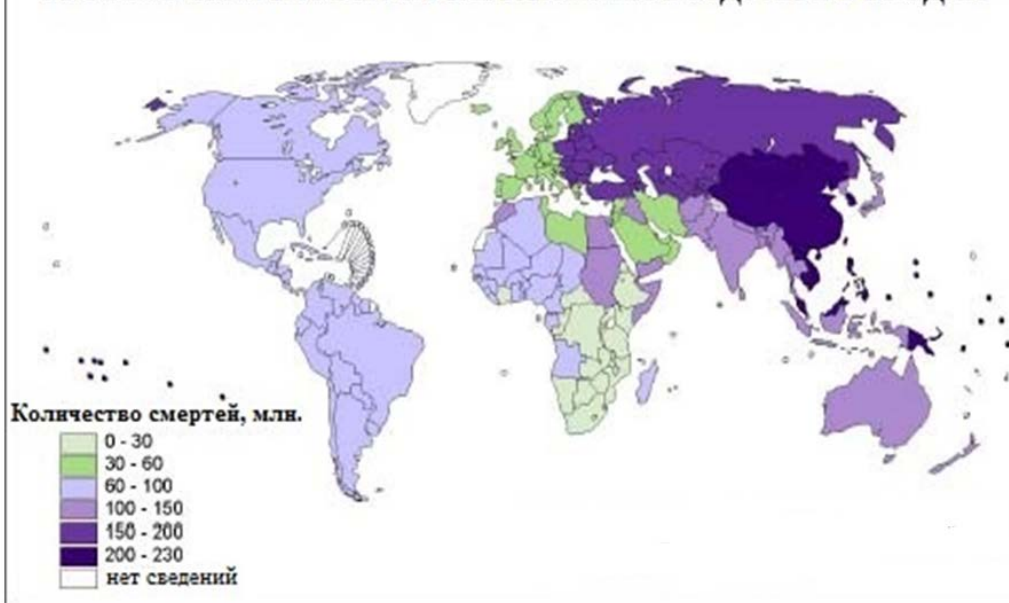
Загрязнение воздуха всевозможными частицами в крупнейших городах мира



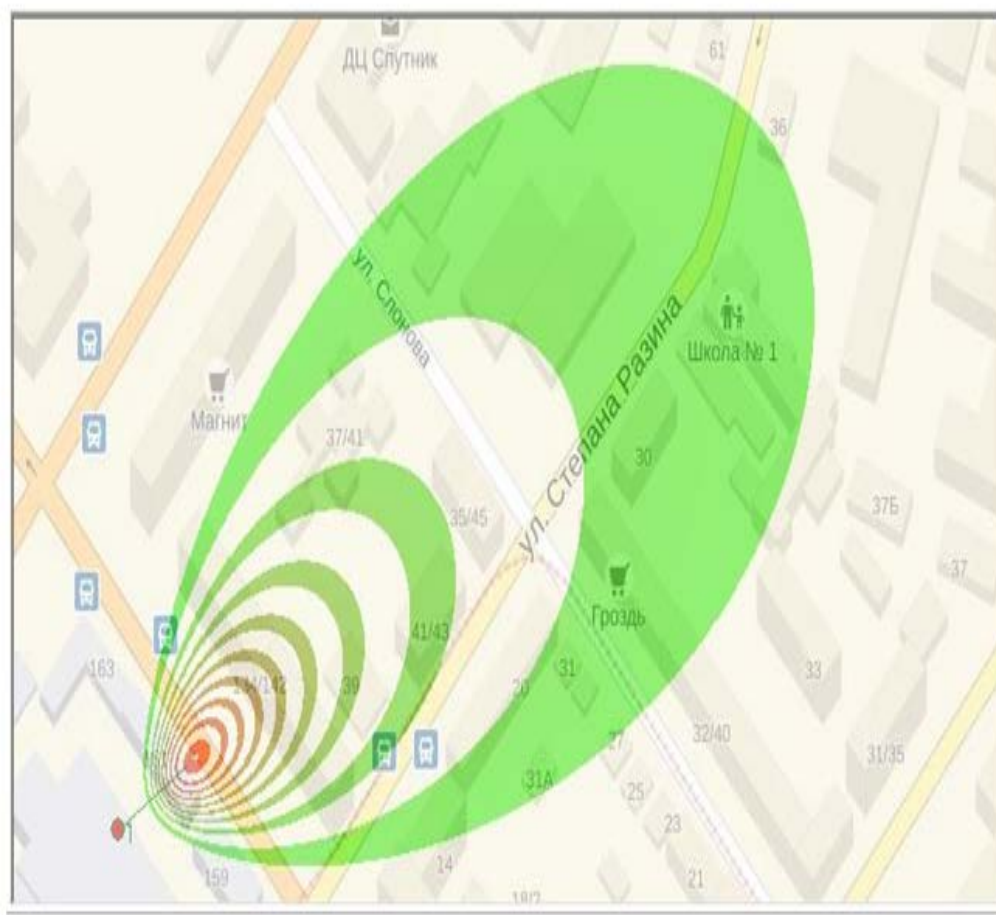
Структура выбросов вредных веществ в атмосферу, %



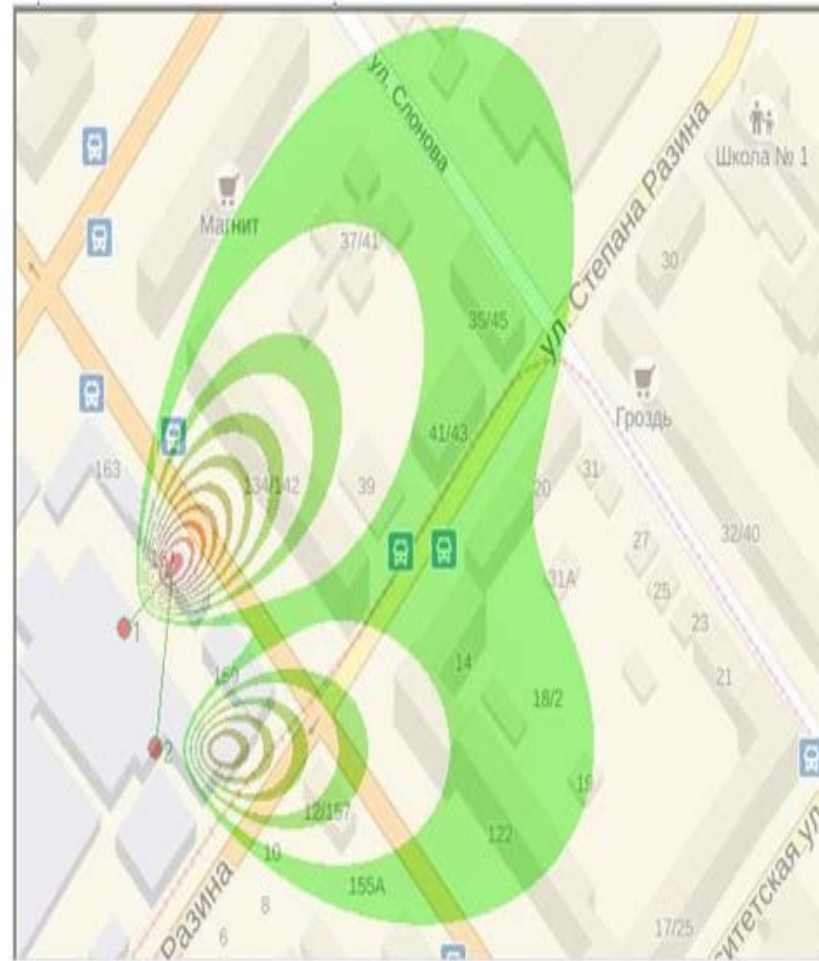
УРОВЕНЬ СМЕРТНОСТИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В ГОРОДАХ



Результаты численного моделирования процесса распространения поллютантов ОАО Бат-СТФ (Саратов)

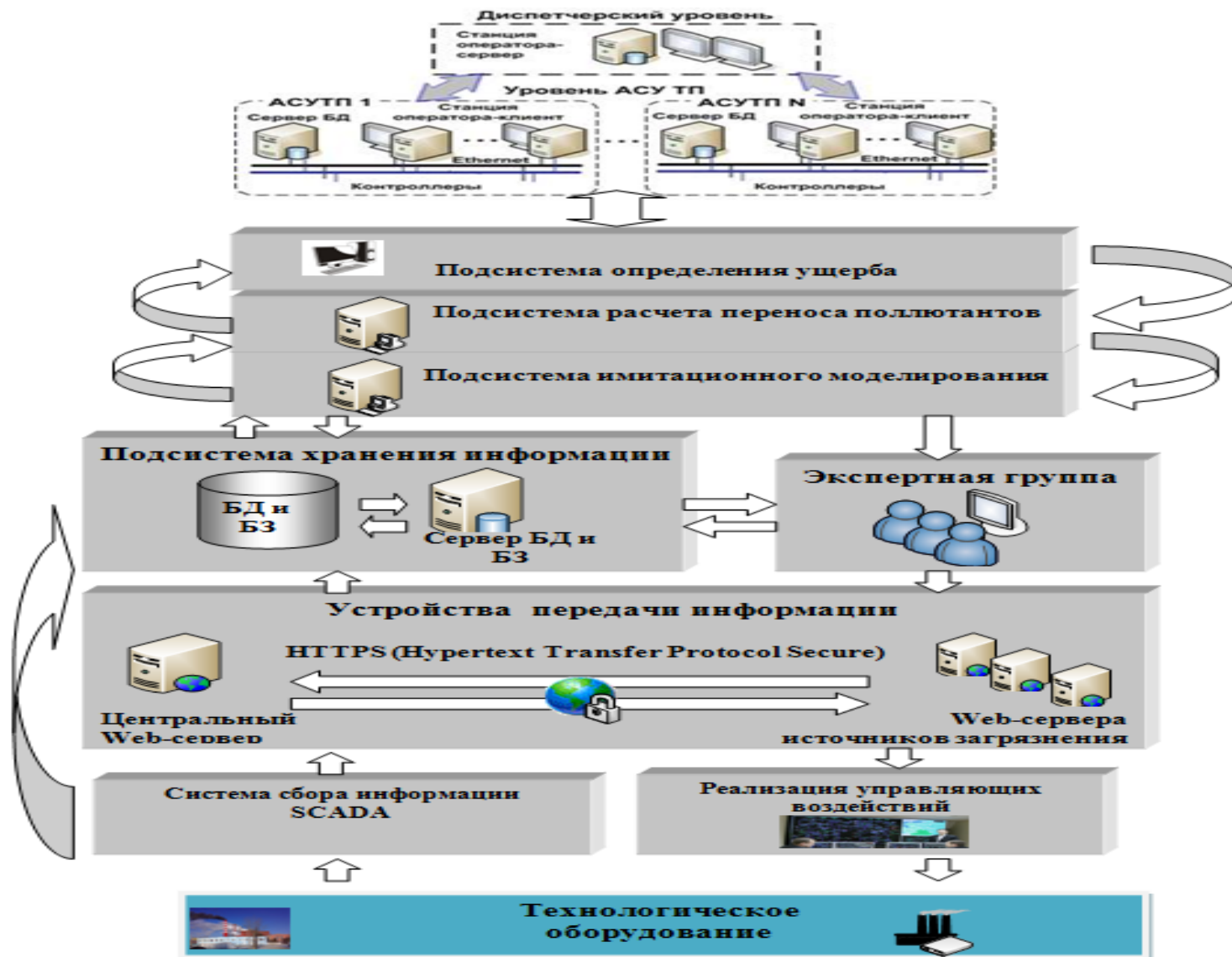


Распространение поллютантов от точечного источника выбросов при различных направлениях ветра



Распространение поллютантов от двух точечных источников выбросов при различных направлениях ветра

Структура типовой системы управления, реализующей разработанное информационно-программное обеспечение



Направления повышения эффективности моделей человеко-машинных систем и анализа критических ситуаций

- Развитие системного подхода к формализации постановок задач для анализа и синтеза сложных человеко-машинных систем и их целей;
- развитие методов декомпозиции целей, причинно-следственных структур и сложных систем;
- построение моделей, учитывающих взаимодействие разнородных процессов;
- совершенствование алгоритмов, методов и фильтров для поиска и уточнения причин аварий;
- расширение классификации происшествий, инцидентов, аварий и т.д. и их последствий;
- совершенствование математического аппарата описания ядер элементарных звеньев и комплексов причинно-следственных связей;
- распространение причинно-следственного подхода на создание моделей определения остаточного и комплексного ресурсов сложных человеко-машинных систем;
- построение моделей критических ситуаций в человеко-машинных системах в условиях неблагоприятного стечения обстоятельств и различных последовательностях дефектов и их комбинаций во времени;

Спасибо за внимание

410028

г.Саратов ул. Рабочая, 24

тел. (845-2) 22-23-76 22-23-75

тел./факс (845-2) 22-23-40

e-mail: iptmuran@san.ru,

URL: <http://ipmcras.narod.ru>