



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина)



КАФЕДРА АВТОМАТИКИ
И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ (АПУ)

Диагностируемость систем управления, подверженных сигналам неисправностей

Докл. Зав. каф. АПУ, д.т.н. Шестопапов М.Ю.

25 октября 2017 г.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Известные работы	Актуальность дальнейших исследований
<ol style="list-style-type: none"> 1. Объектно-ориентированность (авиация, ядерная энергетика) 2. Типовые структуры 3. Аппаратная избыточность 4. Моделирование неисправностей как вариации параметров 5. Восстановление свойств передач (по каналам воспроизведения заданий) 6. Восстановление как подстройка параметров 7. Исследования во временной области по моделям в форме пространства состояний 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ориентация на класс математических моделей систем управления 2. Произвольные структуры 3. Алгоритмическая (аналитическая, программная) избыточность 4. Моделирование неисправностей как вариации структур операторов и топологии систем 5. Восстановление запасов устойчивости и свойств инвариантности 6. Восстановление путем реструктуризации и реконfigurирования топологии 7. Методы разработки СОУ в комплексно-частотной области

ПРИНЯТЫЕ КОНЦЕПЦИИ

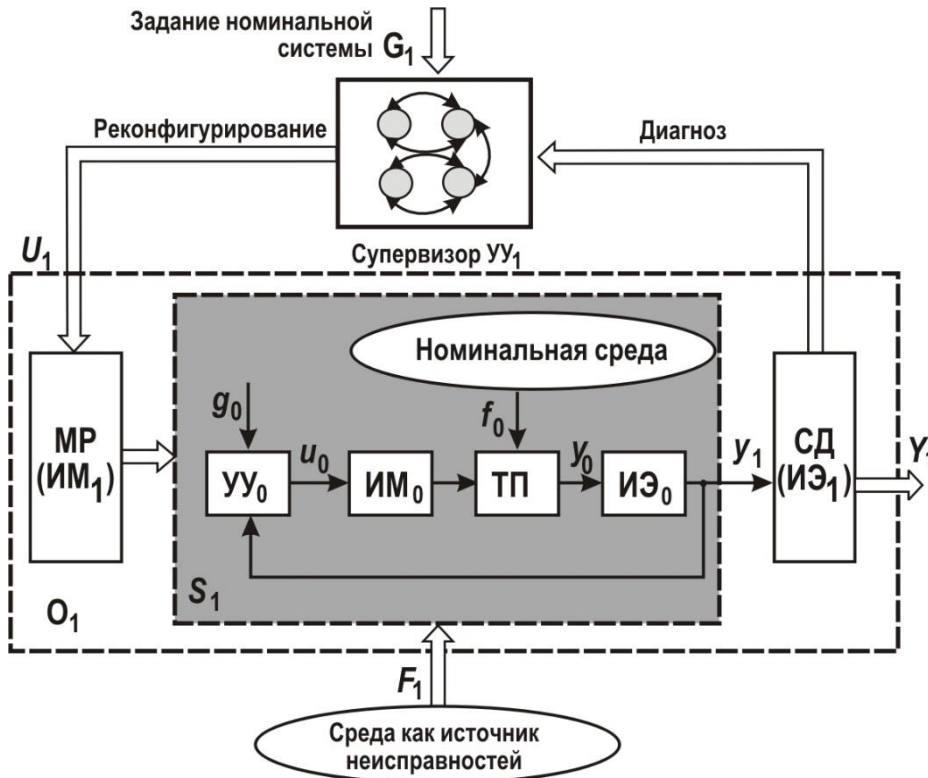
1. СУ ТП - ИНФОРМАЦИОННО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ комплексы, обеспечивающие функционирование ТП в условиях возмущающих воздействий.
2. НЕИСПРАВНОСТИ - возмущения среды вышележащего по отношению к «штатной» среде ТП уровня иерархии.
3. РАСШИРЕННЫЙ ОБЪЕКТ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ (ООУ):



4. Концепция ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО ООУ. Дискретными состояниями, входами и выходами ООУ (событиями) являются множества стационарных систем.
5. Концепция ИЕРАРХИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. Активные СОУ образуют вышележащие по отношению к СУ ТП уровни иерархии.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОУ

4



Концептуальная модель СОУ непрерывных ТП.
 Концептуальную модель K активной СОУ определим как пару – бинарное несимметричное отношение M на множестве D : $K = \langle D, M \rangle$,
 где $D = \{ \text{Основная СУ ТП в номинальной среде; Среда функционирования } F_1 \text{ как источник неисправностей; Подсистема диагностики СД (ИЭ}_1\text{); Супервизор } УУ_1\text{; Механизм реконфигурирования МР (ИМ}_1\text{)} \}$.
 Элементы бинарного отношения - упорядоченные пары
 $M = \{ (\text{СУ ТП } S_1, \text{ Среда } F_1), (\text{СУ ТП } S_1, \text{ МР}), (\text{СД, СУ ТП } S_1), (\text{Супервизор, СД}), (\text{МР, Супервизор}) \}$

Система 2-го уровня S_2 – СОУ с раскрытым ООУ

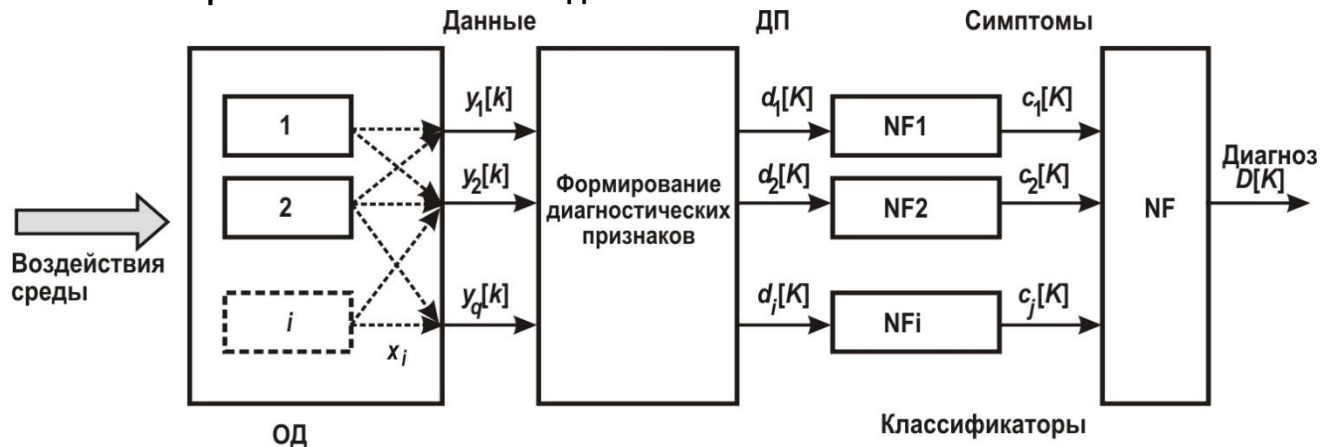
ЗАДАЧИ

20

1. Формирование состава потенциальных неисправностей технических объектов
2. Анализ условий диагностируемости и *восстанавливаемости систем управления*
3. Формирование требований к СОУ и разработка модели иерархической СОУ
4. Синтез СОУ:
 - состав диагностических признаков,
 - алгоритмы подсистемы диагностирования,
 - *алгоритмы подсистемы реконфигурации,*
 - алгоритмы супервизоров
5. Разработка программного комплекса моделирования с удобным развитым интерфейсом и функциями:
 - назначение условий (режимов) функционирования,
 - моделирование процесса возникновения и развития неисправностей,
 - имитация процессов, регистрация диагнозов, прогнозирование отказов *и алгоритмов реконфигурации*
6. Разработка тренажера для операторов управления техническим объектом

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СУ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Обнаружение и локализация неисправностей СУ ТП связаны с нетривиальными процедурами обработки данных измерений для формирования диагностических признаков, выявления симптомов неисправностей и постановки диагноза о состоянии объекта

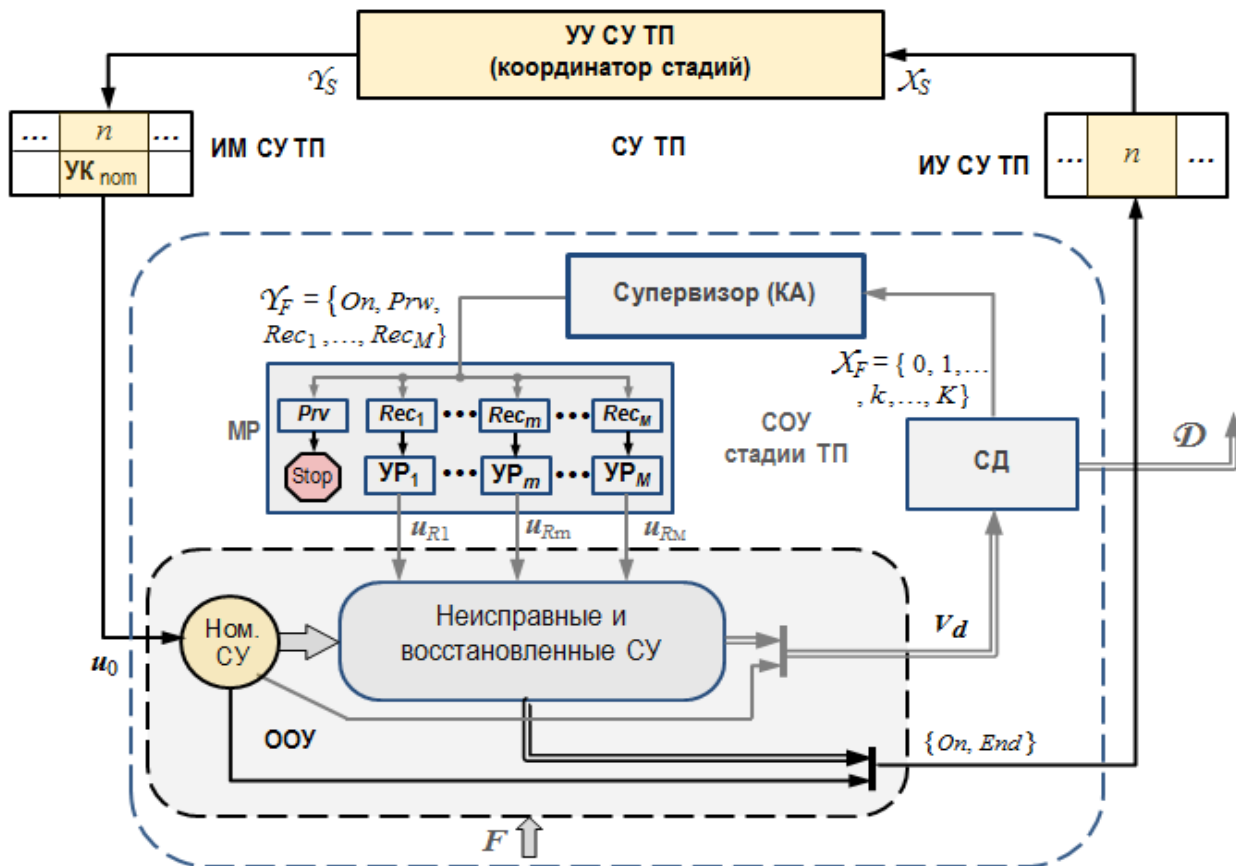


Выводы:

- последовательность обработки данных отражает концепцию *декомпозиции* процедуры диагностирования СУ ТП
- выявление симптома означает обнаружение неисправности, а постановка диагноза соответствует ее локализации и идентификации
- постановка диагноза по перекрывающимся симптомам представляет плохо формализуемую задачу, которая решается методами классификации данных, основанных на интеллектуальных технологиях.

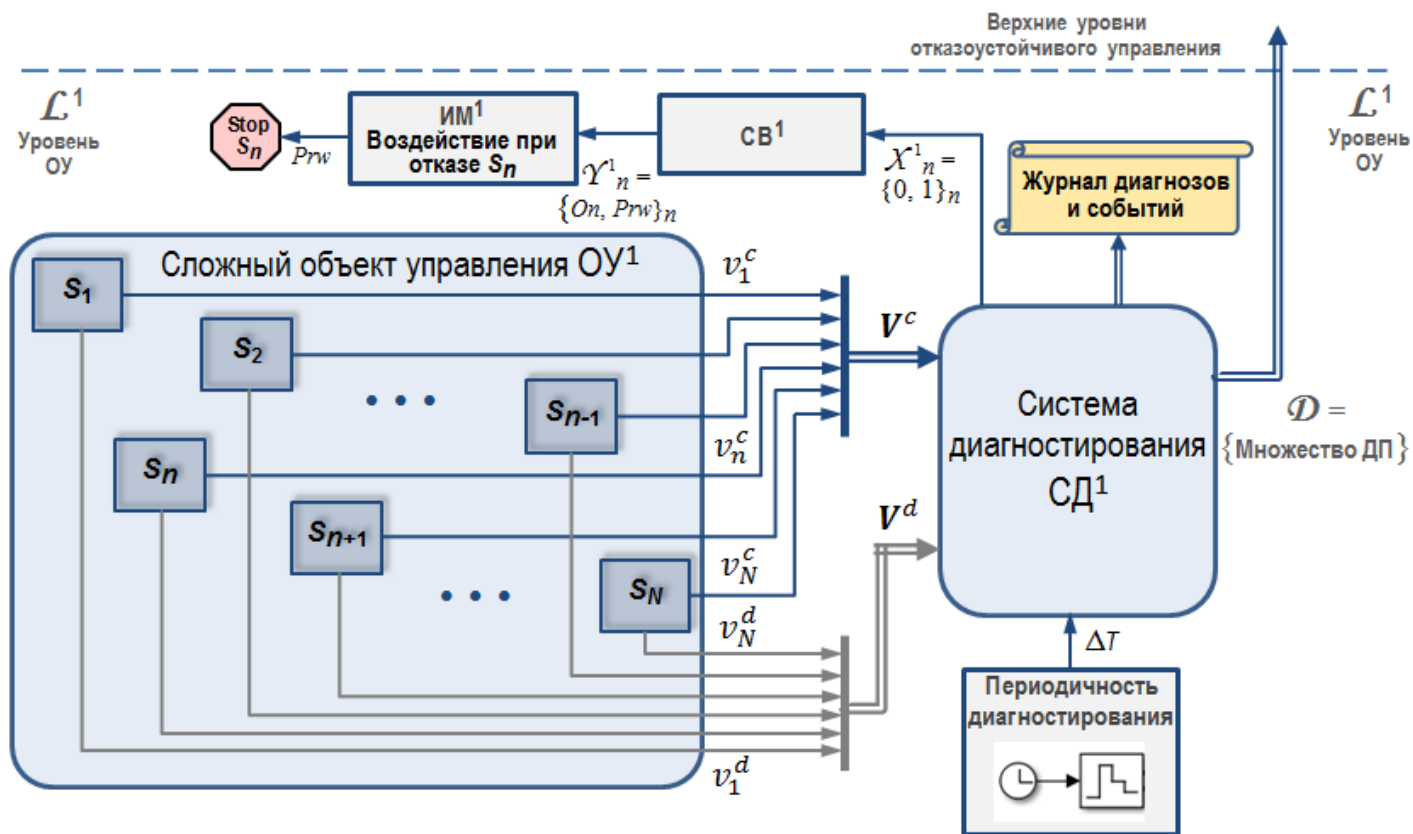
СТРУКТУРА СОУ УРОВНЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

7

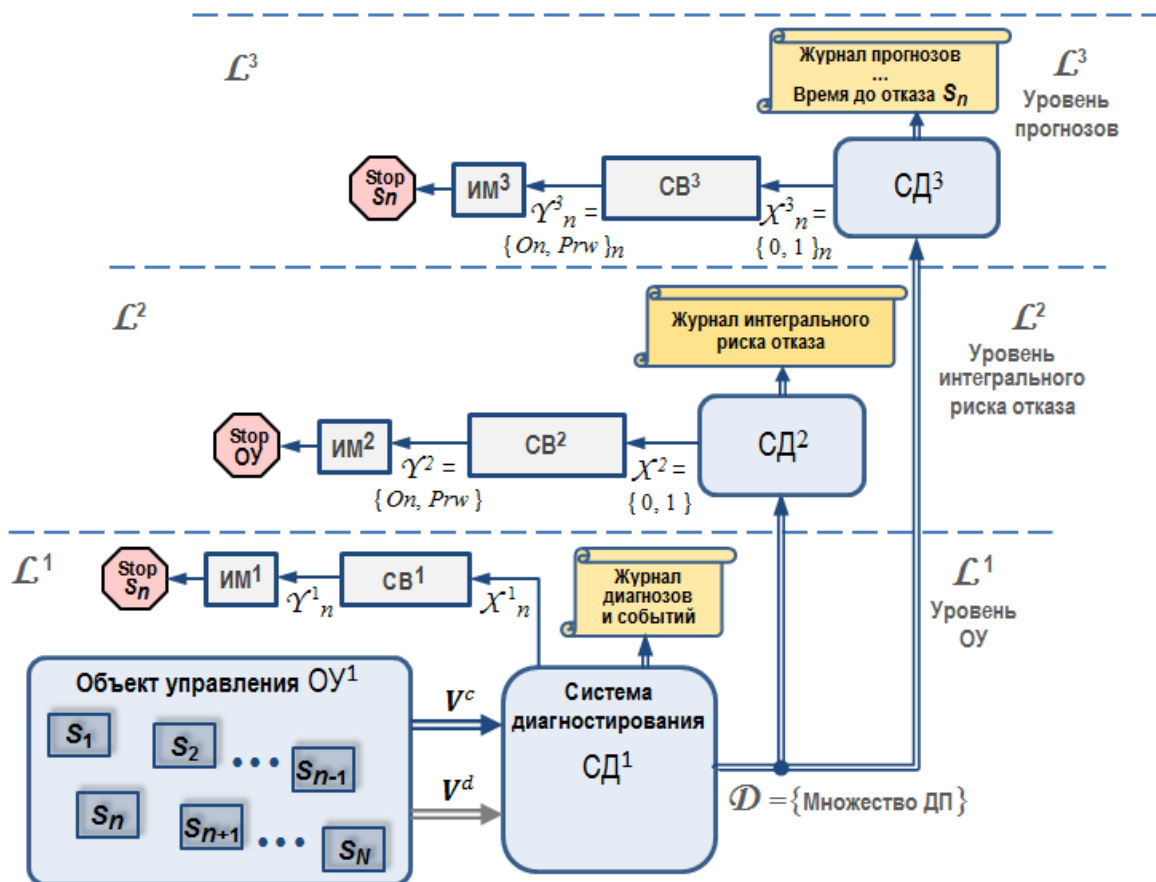


Система диагностирования неисправностей и предотвращения отказов уровня объекта управления

8



Многоуровневая система диагностирования неисправностей и предотвращения отказов



ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ (НЕЧЕТКИХ) ГРАФОВ

Предлагаемый подход основан на диагностических моделях в форме вероятностного графа, строится на принципах эволюционного подхода к исследованию сложных систем.

Модернизация СУ ТП при отсутствии структурированной модели

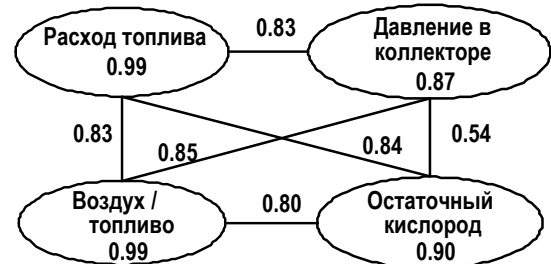
МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ:

1. Выбор измеряемых переменных
2. Сбор данных для исправной и множества неисправных СУ
3. Формирование матриц корреляции
4. Вычисление МКК и ЧКК. Диагностическая модель (ДМ)
в форме симметричных матриц и вероятностного (нечеткого) графа: веса вершин - МКК;
веса ребер - ЧКК .

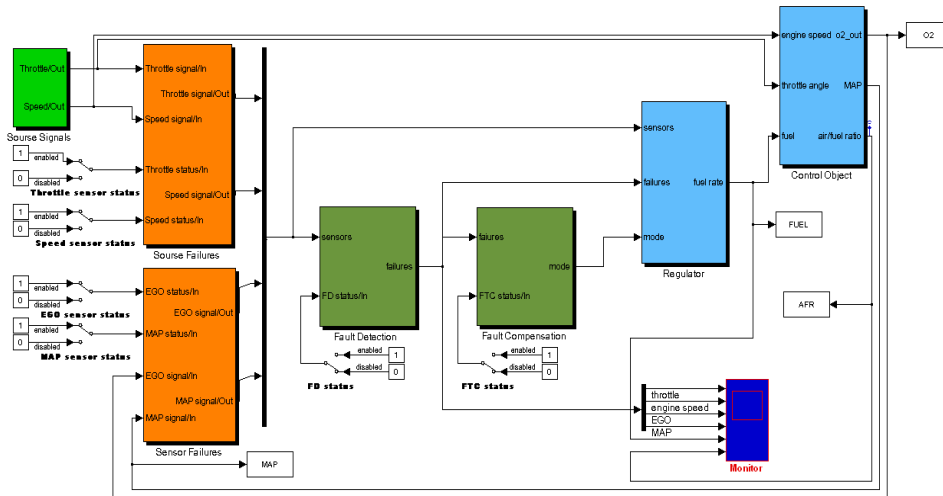
МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ:

5. Выявление симптомов — разность матриц ДМ
6. Постановка диагноза

**ПРИМЕР ВЕРОЯТНОСТНОГО (НЕЧЕТКОГО) ГРАФА
ИСПРАВНОЙ СУ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА**



Диагностирование на основе вероятностных (нечетких) графов



1. Диагностическая модель СУ используется как источник данных:

- удельный массовый расход инжектированного топлива;
- показания датчика абсолютного давления в коллекторе;
- показания датчика остаточного кислорода в выхлопных газах;
- текущие значения показателя качества управления (отношение количества воздуха к количеству топлива).

2. На основе собранных данных формируется матрица корреляции, которая является основой для расчета МКК и ЧКК.

3. Полученные коэффициенты корреляции подаются на вход механизма нечеткого вывода для вычисления нечеткой оценки наличия вершин графа по МКК и дуг графа по ЧКК. Для входов и выходов нечеткой системы используется стандартное распределение термов, в результате нечеткие вероятности численно равны соответствующим коэффициентам корреляции, т. е. вероятностный и нечеткий графы совпадают.

Диагностирование на основе вероятностных (нечетких) графов

4. Диагностическая модель объекта управления описывается матрицей, диагональными элементами которой являются МКК, а остальные элементы равны ЧКК:

Нечеткий (вероятностный) граф для нормального режима

0.99	0.83	0.84	0.99
0.83	0.87	0.56	0.85
0.84	0.56	0.90	0.80
0.99	0.85	0.80	0.99

5. Ситуация выхода из строя одного из ключевых датчиков – датчика количества остаточного кислорода в выхлопных газах. В этом случае обработка данных дает:

Нечеткий (вероятностный) граф для режима с неисправностью

0.99	0.83	0.78	0.99
0.83	0.87	0.48	0.85
0.78	0.48	0.86	0.72
0.99	0.85	0.72	0.99

Разность между матрицами, представляющими нечеткий граф в нормальном режиме и режиме с отказом датчика, имеет вид:

Изменение нечеткого (вероятностного) графа при неисправности датчика

0	0	0.06	0
0	0	0.08	0
0.06	0.08	0.04	0.08
0	0	0.08	0

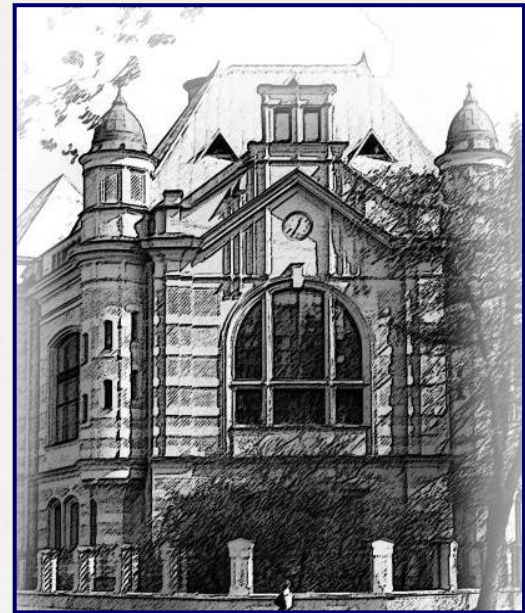
6. Матрица показывает, что все отклонения от номинального режима при возникновении неисправности сосредоточены в строке и столбце, связанных с переменной количества остаточного кислорода в выхлопных газах, т. е. с уменьшением значения функции принадлежности для этой вершины и в ослаблении связей (дуг графа) этой вершины с другими. Это позволяет локализовать неисправность – отказ датчика



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина)



КАФЕДРА АВТОМАТИКИ
И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ (АПУ)



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!