

<sup>1</sup>Аспирантка кафедри искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина

<sup>2</sup>Д-р техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина

<sup>3</sup>Старший преподаватель кафедры информационных, компьютерных и полиграфических технологий Украинской инженерно-педагогической академии, Харьков, Украина

## ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ

**Актуальность.** Сложность и неоднозначность подходов к системам терморегулирования, дает возможность удовлетворить большинству требований конечного потребителя. Подобные задачи решают путем создания гибких в управлении систем обеспечения терморегулирования. Основное функциональное требование к ним определяется условием теплового комфорта: поддержание заданной оптимальной температуры в допустимых пределах ее отклонения. Подобные системы работают в условиях неопределенности. В ходе решения подобных задач предложены и рассмотрены модели на основе нечеткой логики.

**Цель.** Моделирование нечеткого процесса на  $\tilde{E}$ -сетях для получения механизма устойчивого к конфликтным ситуациям. Для повышения производительности системы необходимо произвести оценку процессов надежности устройств.

**Метод.** Предложен новый метод исследования интеллектуальных процессов на основе критериев надежности. Данный метод основан на расширении  $\tilde{E}$ -сети, что позволяет раскрыть внешнюю и внутреннюю неопределенность в системе.

**Результаты.** Выполнен содержательный анализ существующих систем терморегулирования. Проведено моделирование адекватности процессов системы на основе свойств непротиворечивости, полноты, надежности, и выбора альтернатив моделируемых процессов. Также проведен анализ распределенных объектов теплоснабжения их кластеризация на основе плотности распределения признаков.

**Выводы.** Получены научные и практически значимые результаты позволяющие минимизировать вычислительные затраты, повысить достоверность в принятиях решений, а также более детальное дальнейшее обслуживание сложных производственных систем.

**Ключевые слова:** терморегулирования, надежность, UML-диаграмма, плотность распределения.

### НОМЕНКЛАТУРА

$M^{(e)}$  – ожидаемые маркировки;

$M^{(f)}$  – фактические маркировки;

$\tilde{P}$  – конечное допустимое множество позиций;

$\tilde{B}$  – множество периферийных позиций, которые используются в сети для определения связей с внешней средой;

$\tilde{R}$  – множество решающих позиций;

$\tilde{A}$  – непустое конечное множество переходов;

$\tilde{F}$  – функция связи переходов и позиций соответственно по входам и выходам;

$Z$  – функция времени выполнения переходов;

$\tilde{Q}$  – конечное время решающих процедур, с помощью которых исключаются конфликтные ситуации на переходах сети;

$\{\tilde{P}_i\}$  –  $n$ -местные предикаты, осуществляющие функции трансформации маркеров  $M_i$  маркировки;

$\tilde{M}_0$  – начальная маркировка сети;

$R$  – управляющее воздействие;

$E$  – сигнал разногласования или ошибки;

$U$  – выходная величина регулятора;

$Y$  – регулируемая величина;

$t$  – время;

$K$  – пропорциональный коэффициент (безразмерный) регулятора;

$T_i$  – постоянная интегрирования (размерность времени) регулятора;

$T_d$  – постоянная дифференцирования (размерность времени) регулятора;

$G_d(s)$  – передаточная функция замкнутой системы;

$\tilde{S}_i$  – составляющие процессов декомпозиции путем членения бинарного кода решаемых позиций;

$r_i$  – решающие позиции;

$\lambda$  – наработка на отказ;

$n$  – количество элементов;

К.з. – коэффициент запаса;

$y_i$  – центр тяжести масс;

$S_i$  – площадь электрического пространства;

$p^*$  – порог плотности;

$\mu(S_{ij\beta})$  – функция принадлежности плотности распределения по некоторой площади.

### ВВЕДЕНИЕ

Главным преимуществом производственных систем является их надежность и возможность практически непрерывно поддерживать в исправном состоянии. Автоматизация систем придает понятию надежности огромную значимость. Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, которые характеризуют способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания. Надежность объекта заключается в отсутствии непредвиденных недопустимых изменений его качества в процессе эксплуатации и хранения.

Надежность зависит от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности. Для количественной оценки надежности используют так называемые единичные показатели надежности (характеризует только одно свойство надежности) и комплексные показатели надежности (характеризует несколько свойств надежности) [1–4]. Надежность необходима для расчетов, экспериментальных оценок, обеспечения и оптимизации надежности систем. Под надежностью следует понимать свойство системы выполнять заданные функции на определенном интервале времени и при этом поддерживать значения установленных производственных параметров в заданных пределах при соответствующих условиях эксплуатации, ремонта.

Существующие модели функционируют в условиях неопределенности. Для решения таких задач были рассмотрены модели на основе нечеткой логики, что и определяет интеллектуальность процессов. С помощью моделирования можно выявить связи между рабочими процессами, снизить уровень неопределенности, что позволит сократить время выполнения анализа и повысить производительность систем. Важно рассмотреть также механизм моделирования на нечетких  $\tilde{E}$ -сетях. Выбор данного механизма обусловлен широким его применением и устойчивостью к конфликтным ситуациям.

Целью данной работы является оценка процессов надежности устройств на основе нечеткой логики. Предложен метод исследования интеллектуальных процессов на основе критериев надежности, обеспечивает дополнительные возможности при обслуживании сложных производственных систем.

### 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим сложную производственную систему терморегулирования с погодной коррекцией. Для этого необходимо:

- проанализировать существующие системы регулирования процессами;
- проанализировать существующие процессы и системы, выполнить анализ адекватности моделей и процессов диагностики где заданы взаимодействующие процессы  $Pr_{\alpha}$ , и проверено свойство непротиворечивости (1) и полноты моделируемых процессов (2)

$$\forall M_j, M_j \in \{M_j\} \left| M^{(f)} = M^{(e)}, \mu^{(f)}(x) \geq \mu^{(e)}(x), \quad (1) \right.$$

$$\forall M_j, M_j \in \{M_j\} \left| \{M_j\} \neq \emptyset, \left| \{M_j\}^{(f)} \right| = \left| \{M_j\}^{(e)} \right|, \mu^{(f)}(x) \geq \mu^{(e)}(x). \quad (2) \right.$$

- разработать и обосновать интеллектуальный метод по критерию надежности процессов на основе расширенных  $\tilde{E}$ -сетей, выполнить анализ процессов повышения надежности на объекте внедрения.

Нечеткая  $\tilde{E}$ -сеть может быть реализована в виде раскрашенного графа (3):

$$\tilde{E} = \langle (\tilde{P}, \tilde{B}, \tilde{R}), \tilde{A}, \tilde{F}, Z, \tilde{Q}, \tilde{Pr}, \tilde{M}_0 \rangle, \quad (3)$$

- разработка инструментария кластеризации на основе плотности распределения признаков.

### 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Существуют различные терморегуляторы [1–4]. В таблице 1 рассмотрены характеристики терморегуляторов, их сходство и отличие.

Выполнен детальный анализ существующих систем терморегулирования, как объекта исследования. Поставленную задачу решают путем создания гибких в управлении систем обеспечения терморегулирования. Такими являются только автоматически управляемые системы с индивидуальными терморегуляторами. Основное функциональное требование к таким системам определяется условием теплового комфорта: поддержание заданой оптимальной температуры помещения в допустимых пределах ее отклонения [5–7].

В данной работе предложен метод анализа качества изделий по критерию надежности процессов, так же рассмотрены вопросы создания нового инструментария оценки качества и кластеризации объектов на основе плотности распределения признаков [8–11].

### 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На рис. 1 показано типичное изображение ПИД-регулятора в виде одного функционального блока, что характерно для АСУ ТП.

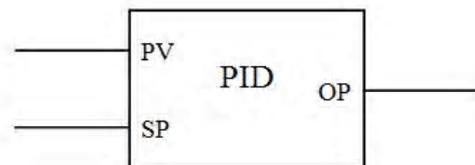


Рисунок 1 – Упрощенное изображение ПИД регулятора в виде одного функционального блока

Таблица 1 – Обзор существующих регуляторов

	РТГ-32[1]	ОВЕН ТРМ101[2]	АВТВ [3]
Двухконтурности	+	–	+
Автоматическая коррекция температуры	+	–	–
Ручная коррекция температуры	+	+	–
Динамика развития процессов, отсутствие конфликтов (E-сети)	+	–	–
Время решения (выч. сложность) комплекса моделирования задач	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$
Наработка на отказ	$> 10^5$ ч	$> 10^5$ ч	$> 10^5$ ч
Выбор альтернатив	+	–	–

Качество управления существенно зависит от настройки коэффициентов регулятора. На рис. 2 показано поведение системы при некорректной настройке ПИД [4].

При изменении параметров регулятор не способен отработать корректно, и наблюдается расхождение колебательных процессов. Система не устойчива. На рис. 3 показан переходный процесс при правильных настройках регулятора. При изменении параметров регулятор работает корректно. Наблюдается некоторое перерегулирование.

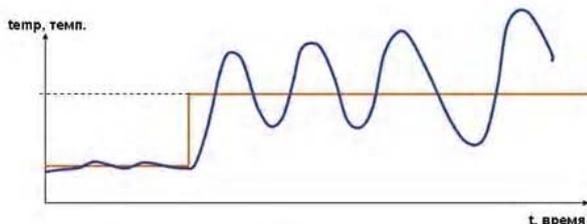


Рисунок 2 – Переходный процесс при плохих настройках ПИД-регулятора

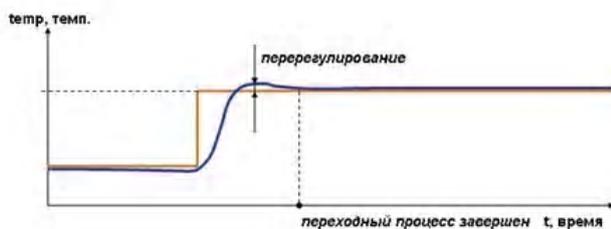


Рисунок 3 – Переходный процесс при правильной настройке ПИД-регулятора

#### 4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Простейшая система автоматического регулирования с обратной связью [4] показана на рис. 4.

Если исходная переменная  $u$  регулятора описывается выражением

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (4)$$

В частном случае пропорциональная, интегральная или дифференциальная компоненты могут отсутствовать и такие упрощенные регуляторы называют П, И или ПИ регуляторами. Распространены также следующие модификации выражения (4):

$$u(t) = K(e(t) + \frac{1}{T_i'} \int_0^t e(t)dt) + T_d' \frac{de(t)}{dt}, \quad (5)$$

$$u(t) = Ke(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (6)$$

Между параметрами выражений (4)–(6) существует простая связь. Однако отсутствие общепринятой системы параметров часто приводит к путанице. Это нужно помнить при замене одного ПИД контроллера на другой, при задании его параметров или использовании программ настройки параметров. Мы будем пользоваться выражением (4).

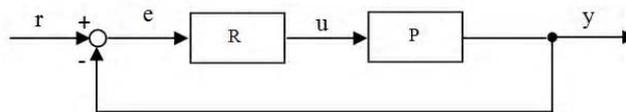


Рисунок 4 – ПИД-регулятор в системе с обратной связью

Следует подчеркнуть, что входом объекта управления на всех рисунках является выход регулятора, то есть величина  $u$ , которая в соответствии с (4)–(6) и рис. 4 имеет ту же размерность, что и несогласованность  $e$ , исходная величина  $y$  и уставка  $r$ . То есть, если объект управляется, например, ШИМ-регулятором, током или частотой вращения вала, во всех этих случаях управляет величиной  $u$ , а в модель объекта управления  $P$  нужно ввести преобразователь величины  $u$  в ширину импульса (ШИМ-регулятора), в ток или в частоту вращения вала соответственно. Это надо учитывать также при задании входного воздействия в экспериментах для настройки регулятора. Таким образом во всех случаях должна быть величина  $u$  (исходная величина регулятора) [2–3].

Используя преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях  $u(0)=0$ , выражение (4) можно представить в операторной форме:

$$u(s) = (K + \frac{1}{T_i s} + T_d s)e(s). \quad (7)$$

Таким образом, передаточная функция ПИД регулятора имеет вид

$$R(s) = K + \frac{1}{T_i s} + T_d s = K(1 + \frac{1}{KT_i s} + \frac{T_d}{K} s). \quad (8)$$

Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристика передаточной функции (8) при параметрах  $T_i = 1$  с,  $T_d = 1$  с,  $K = 10$  показаны на рис. 4. Переходная характеристика ПИД регулятора (реакция на единичный скачок) представляет собой сумму постоянной составляющей, прямой линии, полученной при интегрировании единичного скачка и дельта – функции Дирака, полученной при дифференцировании единичного скачка. Из рис. 4 следует, что

$$y(s) = \frac{P(s)R(s)}{1 + P(s)R(s)} r(s), \text{ или } G_d(s) = \frac{P(s)R(s)}{1 + P(s)R(s)}. \quad (9)$$

На систему автоматического регулирования могут влиять внешние возмущения и шум измерений. Внешние возмущения (воздействие нагрузки, изменение температуры окружающей среды, ветер, течение воды и т. д.) обычно распределены пространственно по объекту, однако для упрощения анализа их моделируют сосредоточенным источником, приложенным к входу или источником, приложенным к выходу объекта [1–4]. Источник шума моделирует погрешность измерений выходной изменением, погрешность датчика, а также препятствия, которые влияют на канал передачи сигнала с выхода системы на ее вход.

С учетом возмущающих воздействий и шума уравнения системы автоматического управления будет иметь вид

$$y(s) = \frac{P(s)R(s)}{1 + P(s)R(s)} r(s) + \frac{1}{1 + P(s)R(s)} n(s) + \frac{P(s)}{1 + P(s)R(s)} d(s). \quad (10)$$

На рис. 5 предложено регулятор температуры отопления по независимой схеме.

В состав регулятора входят: электронный блок, датчики температуры и электроприводы с дисковыми поворотными затворами. Количество подключенных термодатчиков и поводов зависит от количества используемых каналов и типов контуров регулирования. Каждый использованный канал включает в себя один электропривод и минимум один термодатчик теплоносителя в подающем трубопроводе, который подает. В каждый использованный канал включает в себя один электропривод и минимум один термодатчик теплоносителя в подающем трубопроводе, который подает. В каждый использованный канал, в котором предусматривается регулирование с учетом температуры в обратном трубопроводе, включается еще один термодатчик теплоносителя для измерения этой температуры. Если в одном или обоих каналах используется погодная коррекция температуры (например, при использовании каналов в контуре отопления), то к электронному блоку подключается также термодатчик наружного воздуха – один на оба канала [1].

Наличие возмущений в системе: уровень напряжения, флуктуации тока, напряжение, температуры, влажности и т.п., приводят к необходимости учета знания-ориентированных технологий. Существующие методы [1] не в полной мере удовлетворяют необходимые решения по точности оценки показателей надежности. Исходя из вышеизложенного, предлагается расширенный метод анализа надежности и диагностики объекта с использованием знания-ориентированных технологий [5].

Граф-схема метода (ГСМ) предложена на рис. 6:

Этап 0 Оценка показателей надежности с использованием знания-ориентированных технологий

Этап 1. Формирование начальных условий и пространство состояний объекта.

Этап 2. Коррекция параметров на основе внешних погодных условий.

Этап 3. Сравнение температурных показателей.

Этап 4. Достаточные показатели температуры.

Этап 5. Недостаточные показатели температуры.

Этап 6. Корректировка параметров.

Этап 7. Повтор этапов 2–7.

Этап 8. Возникновение аварийного состояния

Этап 9. Остановка.

Для дальнейшего анализа структуры (рис. 6) целесообразно использование декомпозиции метода и модели.

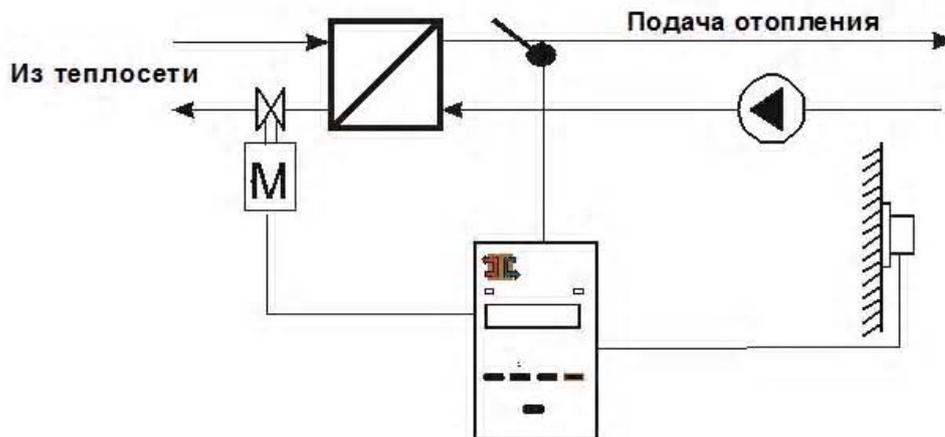


Рисунок 5 – Регулятор температуры отопления по независимой схеме

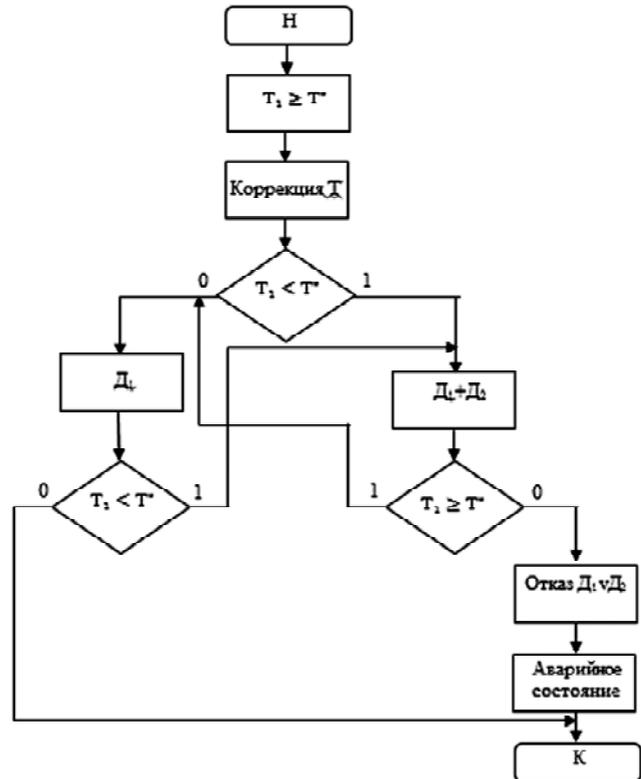


Рисунок 6 – ГСМ

## 5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержательный анализ существующего инструментария FPN показала, что известная внешнее сходство нечетких сетей Петри и  $\tilde{E}$ -сетей дает принципиальную возможность моделирования адекватности процессов в  $\tilde{E}$ -сетях средствами FPN при корректности декомпозиции процессов:

- процессы должны быть логически завершённые [6];
- нечеткость компонент модели систем  $\tilde{S}_{\Sigma}$  должны быть адекватными;
- декомпозиция компонент модели должна осуществляться на основе членения решаемых позиций  $r_i$  путем дишифрации бинарного кода  $\tilde{S}_{dk} = \sum(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n)$ ;

– композиция модели осуществляется путем объединения составляющих моделей бинарного кода. Тогда можно показать, что  $\tilde{S}_{dk} = \tilde{S}_{\Sigma}$ . Реализуя метод строим сеть Петри,  $\tilde{E}$ -сеть, компоненты декомпозиции  $\tilde{S}_{dk}$ :

$$\tilde{S}_{\Sigma} = \cup \tilde{S}_i, i \in I, \quad (11)$$

Система элементов предложена на рис. 7.

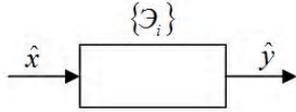


Рисунок 7 – Система элементов

Определение 1. В системе произошел отказ, если по крайней мере отказал один элемент из  $\{E_i\}$ . Согласно [7] наработки на отказ системы

$$T_0 = \frac{1}{\sum \lambda \left[ \frac{1}{\text{ч}} \right]}, \quad (12)$$

В табл. 2 приведены обобщенные показатели надежности. Тогда используя (12) получим.

$$T_{0\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{10^5}{45,866} = 2180,3\text{ч} \quad (13)$$

Учитывая требования разработанного расширенного метода использование знания-ориентированных технологий задаем:

$$\text{if } T_{0\Sigma} \text{ is «малое» then } \Delta T_0 \text{ is «малое»}. \quad (14)$$

Тогда, с учетом (14)

$$\tilde{T}_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma i}} \pm \text{ (if } T_{0\Sigma} \text{ is «малое» then } \Delta T_0 \text{ is «малое»)} \quad (15)$$

Решение (15) предусматривает решение (16)

$$\Delta \tilde{T}'_{0\Sigma} = \vee \mu'_e \wedge \mu(\varepsilon, T_{0\Sigma}). \quad (16)$$

Не уходя от общности, решим уравнение (16) графическим методом [6–7] (рис. 8).

Тогда  $\Delta T_{0\Sigma}$  и с учетом решения (рис. 8) и последующей деффазификации (17).

$$\Delta T_{0\Sigma} = \frac{\sum y_i S_i}{\sum S_i} = 50\text{ч}. \quad (17)$$

Значения  $T_0^{(\phi)} = T_{0\Sigma} \pm \Delta T_{0\Sigma} = 2180,3 \pm 50\text{ч}$  что нас удовлетворяет, исходя из показателей надежности.

Важным аспектом интеллектуального анализа пространственно распределенных объектов, включая системы теплоснабжения является их кластеризация на основе плотности распределения признаков [7–8]. Задано множество площадей распределения плотности признаков  $\{p_{ij\beta}\}, \beta \in B$ , пространственных координат  $\{a_{ij}\}$  и параметров  $\{p_{ij\alpha}\}, \alpha \in A$ , для которых характерно  $S_{ij}, i \in I, j \in J$ , тогда критерием поиска плотности распределения признаков может быть реализация (18–19):  
Этап 1.

$$p_{\alpha} = \frac{\sum_{i \in I, j \in J} p_{ij\beta} S_{ij}}{\sum_{i \in I, j \in J} S_{ij}} \mu(S_{ij\beta}), p_{ij} > p^*, \quad (18)$$

Таблица 2 – Расчетные параметры

$\frac{1}{\lambda_i}$	ПИД-регулятор	Запорный вентиль	Фильтр	Кран	Теплообменник пластинчатый	Насос
$n$	1	3	20	10	1	2
$\lambda_i$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$
К.з.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
$n \cdot \lambda_i$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$4,65 \cdot 10^{-5}$	$31 \cdot 10^{-5}$	$15,5 \cdot 10^{-5}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$
$\frac{n \cdot \lambda_i}{\text{К.з.}} = \lambda_{\Sigma i}$	$0,416 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$25,8 \cdot 10^{-5}$	$13 \cdot 10^{-5}$	$0,25 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$

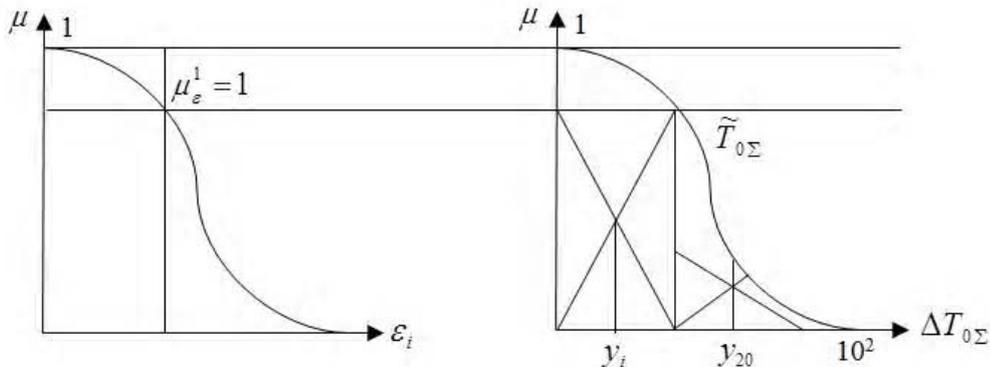


Рисунок 8 – Графический метод решения задачи

Этап 2. Формируем область  $S_{ij\beta x}$ , для которой значение квадратичного индекса нечеткости является четким и принимает вид

$$\eta(\tilde{O}) = \frac{2}{\sqrt{n}} e(\tilde{O}, \bar{\tilde{O}}) \xrightarrow{a_{ij, P} > P^*} \min. \quad (19)$$

UML-диаграмма классов предложена на рис. 9.

Языком программирования в работе была выбрана JavaScript [10–11]. Основными конкурентными преимуществами языка программирования JavaScript являются: максимально понятный для пользователя; поддерживается наиболее популярными браузерами «по умолчанию»; очень высокая скорость работы JavaScript; скрипты (программы, написанные на языке JavaScript) подключаются к HTML коду web-страницы непосредственно и при загрузке сразу же выполняются; программы можно запускать не только в браузере, но и на сервере. Эффективность реализации программы подтверждена экспериментально.

## 6 ОБСУЖДЕНИЯ

Предложенный метод анализа надежности и диагностики системы с использованием знание-ориентированных технологий по сравнению с расчетом качества изделий, обеспечивают более точные решения по оценке показателей надежности. Такие системы дополнительно должны обладать такими свойствами как полная или частичная работоспособности, а также достоверностью процессов в условиях неопределенности, которые не предусмотрены нормальными условиями эксплуатации систем.

Недостатком данного метода является неоднородность входных данных которая не учитывается при непрерывных процессах.

Таким образом, применение разработанного метода позволяют детально рассмотреть не только анализ

надежности, но и провести анализ адекватности системы и поиск оптимальных альтернатив. Так как метод основан на динамической модели расширенной  $\tilde{E}$ -сети это дополнительно позволяет рассмотреть составляющие фрагменты модели и их функции принадлежности. Также для интеллектуального анализа применена кластеризация объектов на основе плотности распределения признаков.

## ВЫВОДЫ

Разработка метода анализа качества по критерию надежности процессов является важной составляющей для функционирования сложных производственных систем в условиях неопределенности. Разработка данного метода на основе модели нечеткой  $\tilde{E}$ -сети, позволяют раскрыть внешнюю и внутреннюю неопределенность в системе.

В результате проведения исследований получены научные и практически значимые результаты который позволяют минимизировать вычислительные затраты при одновременном повышении достоверности в принятиях решений.

1. Выполнен детальный анализ существующих систем терморегулирования, как объекта исследования.

2. На основе выполненного анализа процессов, разработан новый метод анализа качества изделий по критерию надежности процессов, основанный на расширении  $\tilde{E}$ -сетей и нечеткого логического вывода Мамдани.

3. Рассмотрены вопросы создания нового инструментария оценки качества и кластеризации объектов на основе плотности распределения признаков, с использованием языка программирования Java Script.

4. Определены направления дальнейших перспективных исследований.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы Харьковского национального

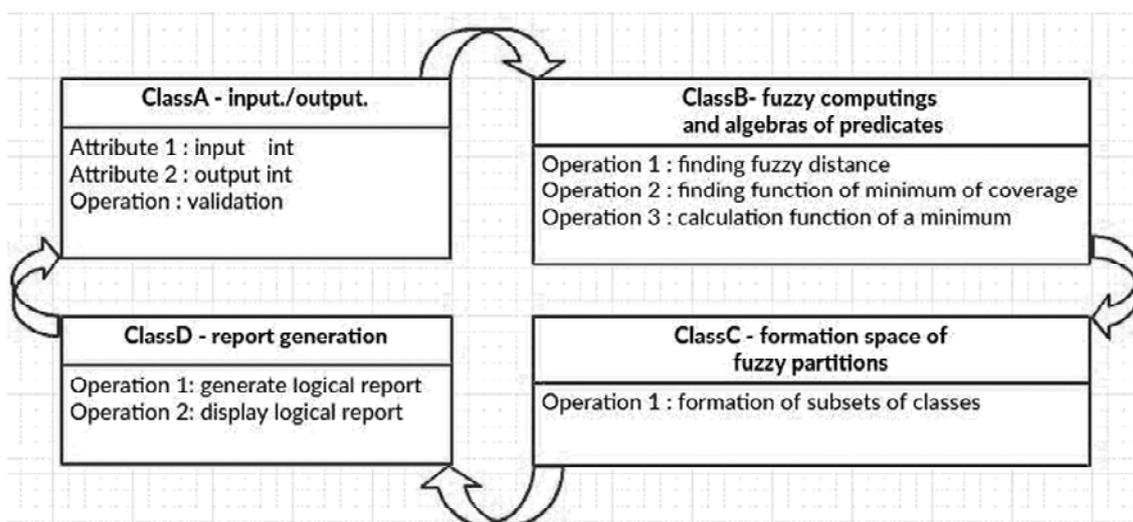


Рисунок 9 – UML-диаграмма классов:

ClassA – input./output – отвечает за ввод данных и их последующее выведение на экран;

ClassB – fuzzy computing’s and algebras of predicates – фазификация входных данных и операция над нечеткими числами (вычисления дистанции, нахождение функции минимума покрытия, расчет функции минимума);

ClassC – formation space of fuzzy partions – предобработка нечетких чисел для дальнейшего удобного вывода;

ClassD – report generation – генерация отчета по полученным данным с последующим выводом его через ClassA на экран

університета радіоелектроніки «Динамічний інтелектуальний аналіз послідовностей нечіткої інформації в умовах суттєвої неопределенності на основі гібридних систем вичислительного інтелекту» (номер гос. реєстрації 0116U002539), где авторами предложены новый метод анализа качества изделий по критерию надежности процессов, основанный на расширении  $\tilde{E}$ -сетей и нечеткого логического вывода Мамдани.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технические характеристики терморегулятора РТГ-32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.twirpx.com/file/1991080/>
2. ПИД-регулятор с универсальным входом и интерфейсом RS-485 ОВЕН ТРМ101 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://termokip.com.ua/uploads/RegTemperature/Owen/trm101.pdf>
3. Регулятор температуры АВТВ (PN16) [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://www.amity-group.org/docs/danfoss/04\\_avtb.pdf](http://www.amity-group.org/docs/danfoss/04_avtb.pdf)
4. Характеристика кожухо-трубных и пластинчатых теплообменников [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.twirpx.com/file/1991082/>

5. Кучеренко Е. И. Знание-ориентированные интеллектуальные методы принятия решений в условиях неопределенности / Е. И. Кучеренко, М. В. Ходак // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2015. – № 4(35). – С. 45–51.
6. Бодянский Е. В. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем (монография – научное издание) / Е. В. Бодянский, Е. И. Кучеренко, А. И. Михалев. – Дніпропетровськ : Системні технології, 2005. – 311 с.
7. Широков А. М. Надежность радиоэлектронных устройств / А. М. Широков. – М. : Высшая школа, 1972. – 267 с.
8. Cluster Analysis/ [B. Everitt, S. Landau, M. Leese, D. Stahl]. – John Wiley & Sons Ltd, 2011. – 330 p.
9. Кучеренко Е. И. Нечеткое разбиение объектов на основе критериев плотности / Е. И. Кучеренко, С. А. Глушенков, И. С. Глушенкова // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2016. – № 1. – С. 32–39.
10. Ballard P. JavaScript in 24 Hours / P. Ballard. – Indiana, SAMS, 2015. – 416p.
11. Закас Н. Professional JavaScript for Web Developers / Н. Закас. – М. : Питер, 2015. – 960 с.

Статья поступила в редакцию 11.01.2017.

После доработки 25.11.2017.

Ходак М. В.<sup>1</sup>, [Кучеренко Е. И.<sup>2</sup>], Трохимчук С. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Аспірантка кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, Україна

<sup>2</sup>Д-р технічних наук, професор кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, Україна

<sup>3</sup>Старший викладач кафедри інформаційних, комп'ютерних та поліграфічних технологій Української інженерно-педагогічної академії, Харків, Україна

### ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ КРИТЕРІЇВ НАДІЙНОСТІ

**Актуальність.** Складність і неоднозначність підходів до систем терморегулювання, дає можливість задовольнити більшості вимог кінцевого споживача. Подібні завдання вирішують шляхом створення гнучких в управлінні систем забезпечення терморегулювання. Основна функціональна вимога до них визначається умовою теплового комфорту: підтримка заданої оптимальної температури в допустимих межах її відхилення. Подібні системи працюють в умовах невизначеності. В ході вирішення подібних завдань запропоновані і розглянуті моделі на основі нечіткої логіки.

**Мета.** Моделювання нечіткого процесу на  $\tilde{E}$ -мережі для отримання механізму стійкого до конфліктних ситуацій. Для підвищення продуктивності системи необхідно провести оцінку процесів надійності пристроїв.

**Метод.** Запропоновано новий метод дослідження інтелектуальних процесів на основі критеріїв надійності. Даний метод заснований на розширенні  $\tilde{E}$ -мережі, що дозволяє розкрити зовнішню і внутрішню невизначеність в системі.

**Результати.** Виконано змістовний аналіз існуючих систем терморегулювання. Проведено моделювання адекватності процесів системи на основі властивостей несуперечності, повноти, надійності, і вибору альтернатив модельованих процесів. Також проведено аналіз розподілених об'єктів теплопостачання їх кластеризація на основі щільності розподілу ознак.

**Висновки.** Отримано наукові і практично значущі результати дозволяють мінімізувати обчислювальні витрати, підвищити достовірність в ухваленнях рішень, а також більш детально подальше обслуговування складних виробничих систем.

**Ключові слова:** терморегулювання, надійність, UML-діаграма, щільність розподілу.

Khodak M.V.<sup>1</sup>, [Kucherenko Ye. I.<sup>2</sup>], Trokhymchuk S. N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate student of Artificial Intelligence Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Dr. Sc., Prof., Professor of Artificial Intelligence Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>Senior lecturer of Information, Computer and Printing Technologies Department, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv, Ukraine

### APPLIED RESEARCH ASPECTS OF INTELLECTUAL PROCESS BASED ON THE CRITERIA OF RELIABILITY

**Context.** The complexity and ambiguity of the approach to the system of thermoregulation, makes it possible to meet most of the end-user requirements. Such problems are solved by creating a flexible software to manage temperature control systems. The main functional requirement for them is determined by the condition of thermal comfort: maintain the desired optimum temperature within the permissible limits of its rejection. Similar systems operate in conditions of uncertainty. In the course of such tasks proposed and considered a model based on fuzzy logic.

**Objective.** Simulation of fuzzy process  $\tilde{E}$ -net for a sustainable mechanism to conflict situations. To improve system performance, you must evaluate the processes of device reliability.

**Method.** A new method for the study of intellectual processes based on the criteria of reliability. This method is based on the expansion  $\tilde{E}$ -net that can reveal internal and external uncertainty in the system.

**Objective.** Made meaningful analysis of the existing thermal control systems. The simulation of the adequacy of the system of processes, based on the consistency of properties, completeness, reliability, choice and alternatives simulated processes. Also analyzed the distributed heat supply facilities based on their clustering features of the density distribution.

**Conclusions.** Obtained scientific and practical significance of results that minimize computational costs, improve the accuracy in decision-making, as well as more detailed further maintenance of complex industrial systems.

**Keywords:** temperature control, reliability, UML-graph density.

## REFERENCES

1. Texnicheskie karakteristiki termoregulyatora RTG-32 [Electronic resource]. Access mode <http://www.twirpx.com/file/1991080/>
2. PID-regulyator s universal'nyim vkhodom i interfejsom RS-485 OVEN TRM101 [Electronic resource] Access mode. <http://termokip.com.ua/uploads/RegTemeprature/Owen/trm101.pdf>
3. Regulyator temperatury AVTB (PN16) [Electronic resource]. Access mode [http://www.amity-group.org/docs/danfoss/04\\_avtb.pdf](http://www.amity-group.org/docs/danfoss/04_avtb.pdf)
4. Karakteristika kozhuxo-trubnyx i plastinchatyx teploobmennikov [Electronic resource]. Access mode <http://www.twirpx.com/file/1991082/>
5. Kucherenko E. I., Xodak M. V. Znanie-orientirovannyye intellektual'nye metody prinyatiya reshenij v usloviyax neopredelennosti, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2015, No. 4(35), pp. 45–51.
6. Bodyanskij E. V., Kucherenko E. I., Mixalev A. I. Neiro-fazzi seti Petri v zadachax modelirovaniya slozhnyx sistem (monografiya – nauchnoe izdanie). Dnipropetrovs'k, Sistemni tehnologii, 2005, 311 p.
7. Shirokov A. M. Nadezhnost' radioelektronnyx ustrojstv. Moscow, Vysshaya shkola, 1972, 267 p.
8. Everitt B., Landau S., Leese M., Stahl D. Cluster Analysis. John Wiley & Sons Ltd, 2011, 330 p.
9. Kucherenko E. I., Glushenkov S. A., Glushenkova I. S. Nechetkoe razbienie ob'ektov na osnove kriteriev plotnosti, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2016, No. 1, pp. 32–39.
10. Ballard P. JavaScript in 24 Hours. Indiana, SAMS, 2015, 416 p.
11. Zakas N. Professional JavaScript for Web Developers, Moscow, Piter, 2015, 960 p.