

Ratushnyak G. S.
PhD in engineering, professor,
Vinnytsia National Technical University

Obodianska O. I.
assistant of the department of heat and gas supply department,
Vinnytsia National Technical University

Ратушняк Георгий Сергеевич
кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения
Винницкий Национальный Технический Университет

Ободьянская Ольга Игоревна
ассистент кафедры теплогазоснабжения
Винницкий Национальный Технический Университет

FEATURES OF MODELING HIERARCHICAL DECISION SUPPORT SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC TO EVALUATE THE TECHNICAL CONDITION OF THE GAS SUPPLY SYSTEM

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Abstract: Presented simulation features hierarchically organized system to assess the technical condition of underground steel pipelines based on fuzzy logic and linguistic variables. Using a hierarchical approach to building decision support system can significantly reduce the fuzzy rules base. Development model is the basis for the automated system operational dispatch management processes as the technical management of the gas supply system tools Fuzzy Logic Toolbox in the programming environment MatLab. Creating and maintaining such a system will provide online access to information on the specifications of the gas network, which provides fast and perform the necessary repair work on pipelines without loss of time.

Key words: fuzzy logic, linguistic variables, the technical condition of pipelines, hierarchy, influence, influence factors, membership function, fuzzy rules base

Аннотация: Представлены особенности моделирования иерархически организованной системы для оценки технического состояния подземных стальных газопроводов на основе нечеткой логики и лингвистических переменных. Использование иерархического подхода к построению системы поддержки принятия решений позволяет существенно уменьшить объем нечетких баз правил. Разработка модели является базой для создания автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления процессами управления техническим состоянием системы газоснабжения инструментами Fuzzy Logic Toolbox в

среде программирования MatLab. Создание и ведение такой системы обеспечит оперативный доступ к информации о технических характеристиках газовой сети, что обеспечит быстрое выполнение необходимых ремонтных и профилактических работ на газопроводах без потери времени.

Ключевые слова: нечеткая логика, лингвистические переменные, техническое состояние газопроводов, иерархия, факторы влияния, функция принадлежности, нечеткие базы правил.

Постановка проблемы. Процесс инновационного организационно-технологического обеспечения надежности сооружений газораспределительных сетей требует применения компьютеризированных систем интеллектуальной поддержки принятия решений. Для анализа и формирования альтернативных решений в системах поддержки принятия решений используются различные теоретические подходы, в частности, интеллектуального анализ данных, имитационное и нечеткое моделирование, генетические алгоритмы, нейронные сети, теория принятия решений, теория нечетких множеств и нечеткая логика и т. д. [1]. Использование нечеткой логики в системах поддержки принятия решений получило распространение, ведь построение моделей мышления человека и внедрение их в интерактивные компьютерные системы представляет сегодня одну из важных задач искусственного интеллекта. Для этого разработан новый математический аппарат, который переводит неоднозначные жизненные утверждения в язык четких и формальных математических формул [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованиями, которые проводятся в разных странах доказано, что для многих объектов управления, параметры которых изменяются в процессе функционирования, целесообразным является использование нечетких компьютеризированных систем автоматического управления [3-5]. Моделирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений базируется на знаниях высококвалифицированных специалистов, которые хранятся в соответствующих компьютерных базах знаний. Такие системы для поиска оптимального решения используют технологию экспертных систем. Уточнение баз правил и знаний для расширения круга решаемых задач часто приводит к изменению их “логической последовательно-

сти” и, как следствие, к необходимости коррекции соответствующей математической модели и соответствующего ей программного обеспечения.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Использование теории нечетких множеств и нечеткой логики при построении системы поддержки принятия решений для оценки технического состояния подземных стальных газопроводов позволяет решать задачи на интеллектуальном уровне с помощью нечетких баз правил, а также дает возможность оценить альтернативные решения и выбрать среди них оптимальное. Нечеткие системы по отношению к другим имеют следующие преимущества [6]: возможность обработки и анализ нечетких входных данных; нечеткая формализация критериев оценки и сравнения; проведения качественной оценки, как входной информации, так и выходных результатов; быстрое моделирование сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности.

Цель статьи. Анализ особенности моделирования иерархично-организованных нечетких систем поддержки принятия решений для оценки технического состояния газораспределительных сетей, в частности, для оптимизации, совершенствования и повышение эффективности технологии данного процесса с учетом проблем, которые возникают в результате роста размерности нечетких баз правил.

Изложение основного материала. Для моделирования многомерных нечетких зависимостей “входы –выход” целесообразно использовать иерархический подход при построении систем поддержки принятия решений на основе нечеткого логического вывода [2, 3, 5]. В таких системах выходной сигнал одной подсистемы подается на входной другой с более высоким уровнем иерархии. При большом количестве входных переменных возникает необходимость в их иерархической структуризации по общим (в рамках подсистемы) свойствам.

Рассмотрим более подробно два подхода к созданию нечетких иерархических систем. Первый подход заключается в выполнении нечеткого вывода для промежуточных переменных с последующей передачей четких значений этих переменных в нечеткие системы следующего уровня иерархии с применением

процедур дефаззификации на предыдущем иерархическом уровне и фаззификации – на следующем иерархическом уровне. При втором подходе процедуры дефаззификации и фаззификации для промежуточных переменных не выполняются. Результат логического вывода в виде результирующего нечеткого множества непосредственно передается в блок нечеткого вывода следующего уровня иерархии с последующим его процессом фаззификации с соответствующими терм-множествами следующего уровня иерархии [7].

Создание системы поддержки принятия управленческих решений относительно технического состояния газораспределительных сетей требует наличия достоверной информации о текущем состоянии инженерных сетей, эффективных механизмов ее обработки для обеспечения четкого взаимодействия различных подразделений и служб газового хозяйства по поддержанию ее в рабочем состоянии. Для прогнозирования технического состояния сетей газоснабжения целесообразно использовать современный метод математического моделирования, что позволит вести контроль над техническим состоянием газовых сетей и технологическими процессами за счет формализации экспертных оценок и статистических данных. Таким образом, будет осуществлен анализ технологических процессов, оборудования, параметров и методов контроля, что позволит найти зависимости между показателями течения этих процессов и выделить задачи, которые больше всего влияют на эффективность работы внешних газораспределительных сетей [8, 9]. Сложность заключается в том, что определенная количества факторов влияния на систему газоснабжения в процессе оценки ее технического состояния не могут быть измерены количественно, то есть не могут быть получены формализованные оценки, так как они являются качественными показателями.

Оценка, например, таких факторов влияния на техническое состояние системы газоснабжения как “нарушение технологии при приготовлении и нанесении изоляционными покрытия” или “некачественная подготовка подушки под газопровод”, как правило, строится на субъективном мнении специалиста, опыте его работы и чаще выражаются такими высказываниями, как: “возмож-

но”, “частичное”, “невозможно” и т.д. [10]. Эти выражения являются элементами нечеткости. Инструментом для выражения определенных нечетких факторов воздействия является математический аппарат, базируется на теории нечетких множеств [2, 3, 5].

Рассмотрим нечеткую систему поддержки принятия решений. Исходной переменной для такой системы является техническое состояние системы газоснабжения. Эта система имеет 18 входных сигналов, в частности [9]: x_1 – ошибки в гидравлических расчетах, s_1 – глубина прокладки s_2 – использование защитных устройств, b_1 – герметичность труб, b_2 – прочность труб, y_1 – механические повреждения при транспортировке и монтаже газопроводов, c_1 – трещины любых размеров и направлений, c_2 – неплотности сварных стыков, c_3 – газовые поры и зашлакованность сварного шва, d_1 – нарушение технологии при приготовлении и нанесении изоляционными покрытия d_2 – некачественная подготовка подушки под газопровод, y_4 – образование монтажного напряжения, n_1 – степень коррозии металла, n_2 – коррозионной активность почвы, n_3 – наличие анодных и знакопеременных зон, которые вызваны блуждающими токами, z_2 – технический износ элементов газопровода, z_3 – технический уровень обслуживающего персонала, z_4 – планово-предупредительные осмотры и ремонты газопроводов. Для лингвистических переменных, которые являются факторами влияния на техническое состояние системы газоснабжения, оценочные термы приведены в табл. 1 [10].

Таблица 1 – Факторы влияния как лингвистические переменные

Обозначение и название переменной	Универсальная множество	Термы для оценки
x_1 – ошибки в гидравлических расчетах	(1...5) балы	грубые, выше средних, средние, ниже средних, отсутствуют
s_1 – глубина прокладки	0,8-1,2 м	низкая, средняя, высокая
s_2 – использование защитных устройств	0...100 %	отсутствуют, частично отсутствуют, присутствуют

Продолжение табл. 1

1	2	3
b_1 – герметичность труб	0,1-1,60 МПа	низкая, средняя, высокая
b_2 – прочность труб	0,6-2,0 МПа	низкая, средняя, высокая
y_1 – механические повреждения при транспортировке и монтаже газопроводов	0...15 %	отсутствуют, частично отсутствуют, присутствуют
c_1 – трещины любых размеров и направлений	0...30 %	отсутствуют, частично отсутствуют, присутствуют
c_2 – неплотности сварных стыков	0...30 %	отсутствуют, частично отсутствуют, присутствуют
c_3 – газовые поры и зашлакованность сварного шва	0...30 %	отсутствуют, частично отсутствуют, присутствуют
d_1 – нарушение технологии при приготовлении и нанесении изоляционного покрытия	(1...3) у. е.	возможно, частично, невозможно
d_2 – некачественная подготовка подушки под газопровод	(1...3) у. е.	возможно, частично, невозможно
y_4 – образование монтажного напряжения	90...250 МПа	малое, среднее, высокое
n_1 – степень коррозии металла	(1...3) у. е.	полная, частичная, отсутствует
n_2 – коррозионная активность почвы	10...100 Ом·м	отсутствует, малая, полная
n_3 – наличие анодных и знакопеременных зон, которые вызванные блуждающими токами	0...100 %	отсутствуют, частично отсутствуют, присутствуют
z_2 – технический износ элементов газопровода	0...50 %	отсутствует, частичное, полное
z_3 – технический уровень обслуживающего персонала	(1...3) у. е.	низкий, средний, высокий
z_4 – планово-предупредительные осмотры и ремонты газопроводов	10...100 %	отсутствуют, частично отсутствуют, присутствуют

В результате структуризации входных данных в составе трехуровневой системы поддержки принятия решений сформировано девять нечетких подсистем, которые реализуют следующие зависимости [10]:

– для первого уровня иерархии:

$$x_2 = f_{x_2}(s_1; s_2); \quad (1)$$

$$x_3 = f_{x_3}(b_1; b_2); \quad (2)$$

$$y_2 = f_{y_2}(c_1; c_2; c_3); \quad (3)$$

$$y_3 = f_{y_3}(d_1; d_2); \quad (4)$$

$$z_1 = f_{z_1}(n_1; n_2; n_3); \quad (5)$$

– для второго уровня иерархии:

$$X = f_x(x_1; x_2; x_3); \quad (6)$$

$$Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4); \quad (7)$$

$$Z = f_z(z_1; z_2; z_3; z_4), \quad (8)$$

где X – научно-технический уровень проектных решений;

Y – качество строительно-монтажных работ;

Z – технические условия эксплуатации системы;

– для третьего уровня иерархии:

$$\dot{A}_{\tilde{N}\tilde{A}\tilde{N}} = f(X; Y; Z), \quad (9)$$

где $\dot{A}_{\tilde{N}\tilde{A}\tilde{N}}$ – прогнозируемое техническое состояние системы газоснабжения.

На рис. 1 представлена структура иерархической нечеткой системы поддержки принятия решений, которая состоит из 18 входящих лингвистических переменных, 9 баз знаний с нечеткими правилами и одной выходной лингвистической переменной.

Структура данной нечеткой системы разработана таким образом, чтобы количество входов каждой подсистемы не превышала пяти. Это позволяет уменьшить количество нечетких правил баз знаний, тем самым повысить чувствительность системы к действиям переменных (факторов влияния на техническое состояние системы газоснабжения) [5].

В таблице 2 приведен набор нечетких правил базы знаний подсистемы первого иерархического уровня $z_1 = f_{z_1}(n_1; n_2; n_3)$, который состоит из 15 нечетких правил. При этом для оценки входных лингвистических переменных, кото-

рые устанавливают связь между факторами, которые влияют на металл газопровода, используется 9 термов и для оценки выходной переменной 5.

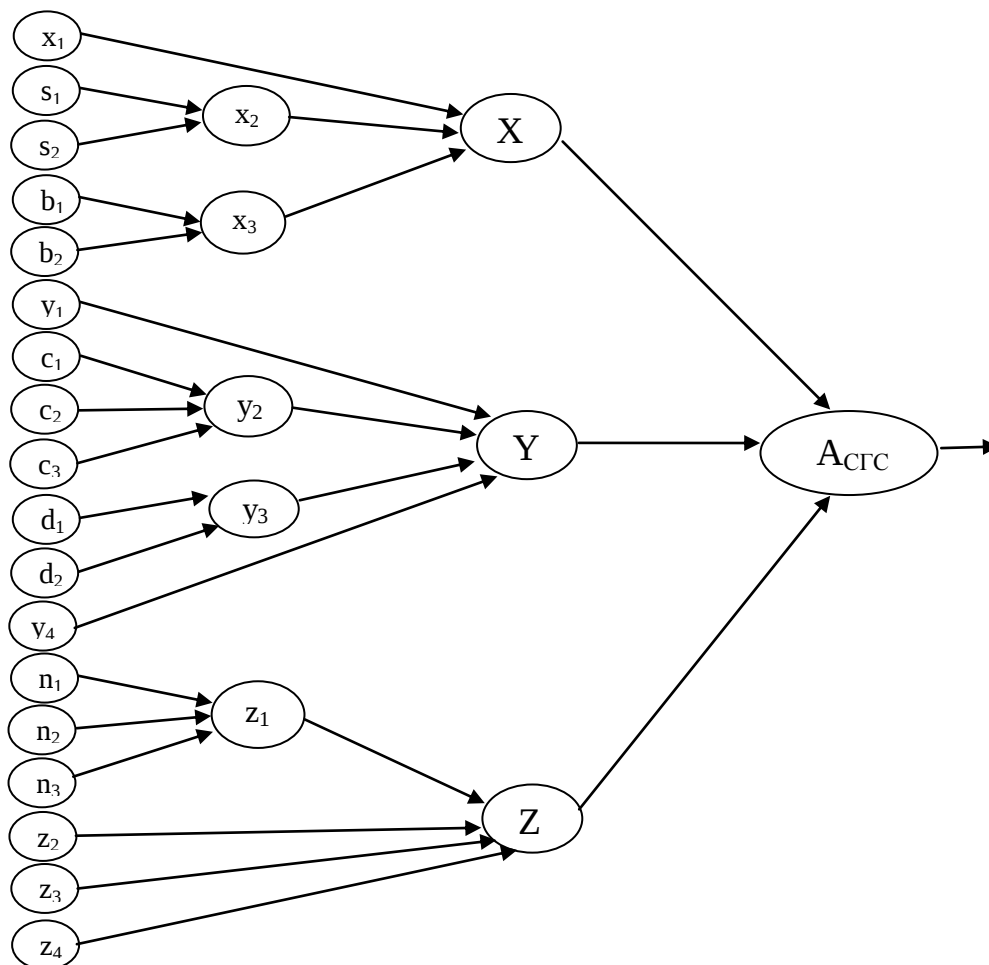


Рисунок 1 – Структура иерархической системы поддержки принятия решений для оценки технического состояния системы газоснабжения

Подсистема 1-го уровня иерархии имеет три входных переменных [11]: степень коррозии металла (n_1), коррозионная активность почвы (n_2) и наличие анодных и знакопеременных зон, которые вызваны блуждающими токами (n_3). Результатом работы данной подсистемы и системы в целом является исходная лингвистическая переменная – интегральный показатель оценки состояния металла газопровода, которая дает представление о состоянии системы при разнотипных значениях входных параметров системы поддержки принятия решений.

Таблица 2 – База знаний для подсистемы первого уровня иерархии

$$z_1 = f_{z_1}(n_1; n_2; n_3)$$

ЕСЛИ			ТО
Степень коррозии металла (n_1)	Коррозионная активность почвы (n_2)	Наличие анодных и знакопеременных зон, которые вызванные блуждающими токами (n_3)	Качество сварных стыков (y_2)
1	2	3	4
Полная (П)	Полная (П)	Присутствуют (П)	Низкое (Н)
Полная (П)	Полная (П)	Частично отсутствуют (чО)	
Частичная (Ч)	Полная (П)	Присутствуют (П)	
Полная (П)	Мала (М)	Частично отсутствуют (чО)	Ниже среднего (нС)
Частичная (Ч)	Полная (П)	Присутствуют (П)	
Частичная (Ч)	Мала (М)	Присутствуют (П)	
Частичная (Ч)	Отсутствует (О)	Присутствуют (П)	
Частичная (Ч)	Мала (М)	Частично отсутствуют (чО)	Среднее (С)
Полная (П)	Мала (М)	Отсутствуют (О)	
Частичная (Ч)	Отсутствует (О)	Частично отсутствуют (чО)	
Частичная (Ч)	Мала (М)	Отсутствуют (О)	Выше среднего (вС)
Отсутствует (О)	Мала (М)	Частично отсутствуют (чО)	
Отсутствует (О)	Отсутствует (О)	Частично отсутствуют (чО)	
Отсутствует (О)	Мала (М)	Отсутствуют (О)	Высокое (В)
Отсутствует (О)	Отсутствует (О)	Отсутствуют (О)	

Модель нечеткой иерархической системы поддержки принятия решений для оценки технического состояния системы газоснабжения, согласно рис. 1, синтезированы в среде программирования MatLab инструментами Fuzzy Logic Toolbox.

Fuzzy Logic Toolbox – интуитивная графическая среда для разработки интеллектуальных систем. Пакет Fuzzy Logic обладает простым и хорошо продуманным интерфейсом, что позволяет легко проектировать и диагностировать нечеткие модели. Основные свойства [12]:

- определение переменных, нечетких правил и функций принадлежности;

- интерактивный просмотр нечеткого логического вывода;
- возможность выбора широко известного метода Мамдани или мощного метода Сугено для создания гибридных нечетких систем.

Схема нечеткой системы поддержки принятия решений (рис. 3) будет состоять из:

- трех входов (степень коррозии металла, коррозионная активность почвы, наличие анодных и знакопеременных зон, которые вызваны блуждающими токами);
- одного выхода (состояния металла газопровода);
- блока с заданными правилами, работающего на основе Мамдани.

Для экспертных значений функций принадлежности для входов и выхода были использованы данные оценки технического состояния газопровода среднего давления, который проложен в с. Королевка Липовецкого района Винницкой области в соответствии с универсальным множеством каждого из факторов влияния (см. табл. 1). Этапы создания и работы нечеткой системы поддержки принятия решений изображены на рис. 2-10.

Факторы эксплуатации системы

Степень коррозии металла	1	2	3
Коррозионная активность грунта	10	60	100
Наличие анодных и знакопеременных зон	0	50	100
Технический износ элементов газопровода	0	25	50
Технический уровень обслуживающего персонала	1	2	3
Планово-предупредительные осмотры и ремонты	10	50	100

Факторы строительно-монтажных работ

Механические повреждения при транспортировке	0	5	15
Образование монтажного напряжения	90	150	250
Трещины любых размеров и направлений	0	0	30
Неплотности сварных стыков	0	0	30
Газовые поры и зашлакованность	0	0	30
Нарушение технологии при приготовлении и нанесении изоляционного покрытия	1	2	3
Некачественная подготовка подушки под газопровод	1	2	3

База знаний

- Техническое состояние системы
- Проектные решения
- Эксплуатация системы
- Ошибки динамических расчетов
- Механическая надежность труб
- Качество сварных стыков
- Состояние антикорроз. покрытия
- Состояние металла

Факторы проектных решений

Ошибки в гидравлических расчетах	1	4	5
Глубина прокладки	0.8	1	1.2
Использование защитных устройств	0	30	100
Герметичность труб	0.1	1	1.16
Прочность труб	0.6	1.8	2

Оценка состояния газопровода:

Выберите фактор влияния:

Рисунок 2 – Рабочий интерфейс экспертно-моделирующей системы оценки состояния системы газоснабжения

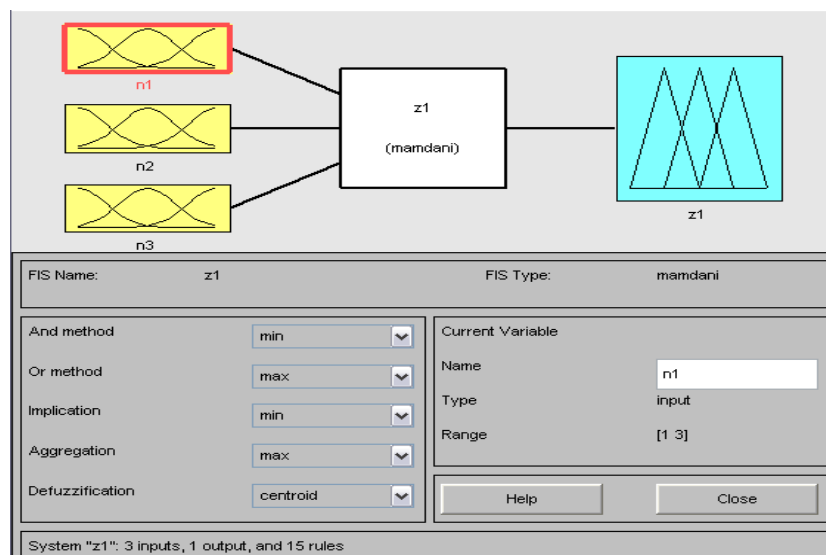


Рисунок 3 – Схема нечеткой системы поддержки принятия управленческих решений в процессе оценки технического состояния системы газоснабжения

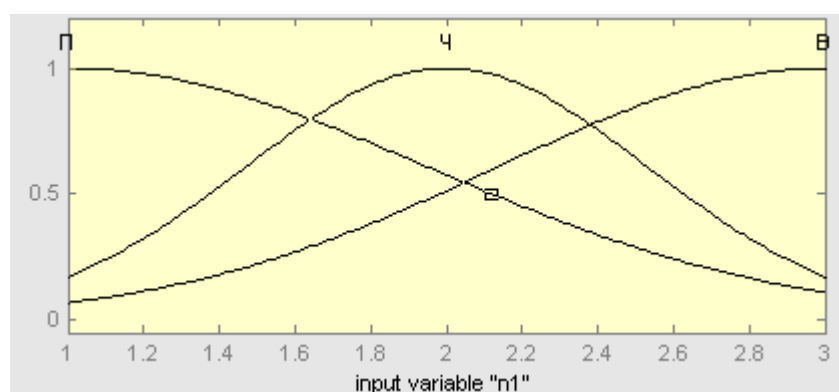


Рисунок 4 – Функция принадлежности “степени коррозии металла газо-провода”

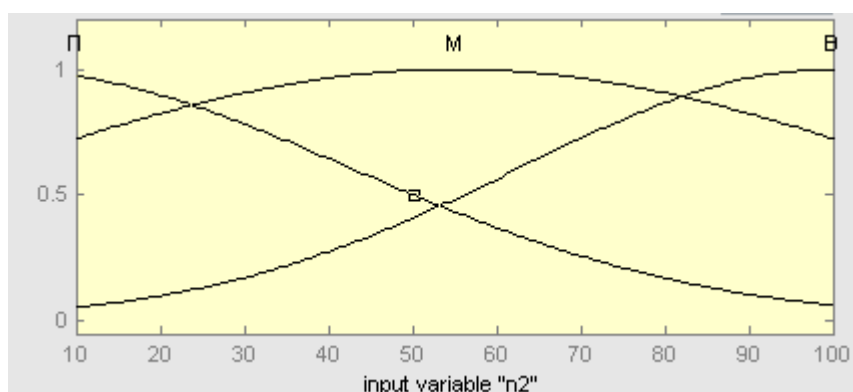


Рис. 5. Функция принадлежности “коррозионной активности грунта”

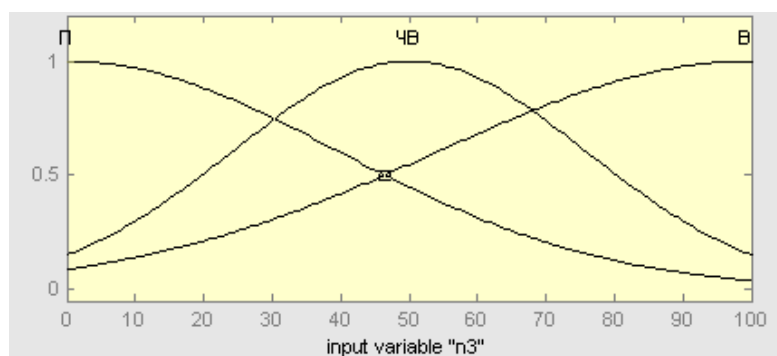


Рисунок 6 – Функция принадлежности “наличия анодных и знакопеременных зон, которые вызваны блуждающими токами”

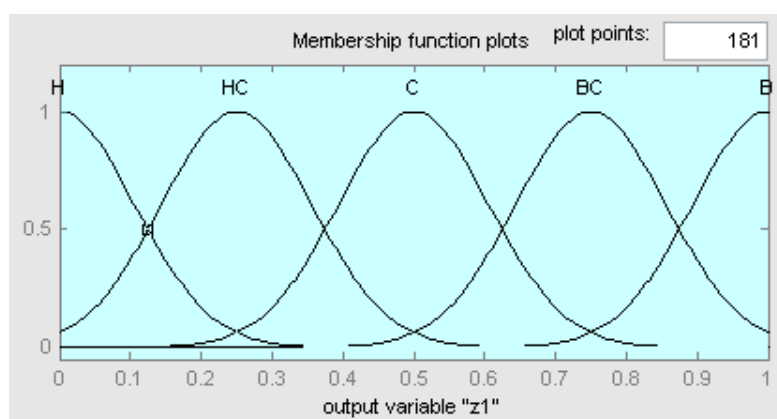


Рисунок 7 – Функция принадлежности “состояния металла газопровода”

1. If (n1 is Π) and (n2 is Π) and (n3 is Π) then (z1 is H) (1)
 2. If (n1 is Π) and (n2 is Π) and (n3 is 4B) then (z1 is H) (1)
 3. If (n1 is 4) and (n2 is Π) and (n3 is Π) then (z1 is H) (1)
 4. If (n1 is Π) and (n2 is M) and (n3 is 4B) then (z1 is HC) (1)
 5. If (n1 is 4) and (n2 is Π) and (n3 is Π) then (z1 is HC) (1)
 6. If (n1 is 4) and (n2 is M) and (n3 is Π) then (z1 is HC) (1)
7. If (n1 is 4) and (n2 is B) and (n3 is Π) then (z1 is C) (1)
 8. If (n1 is 4) and (n2 is M) and (n3 is 4B) then (z1 is C) (1)
 9. If (n1 is Π) and (n2 is M) and (n3 is B) then (z1 is C) (1)
 10. If (n1 is 4) and (n2 is B) and (n3 is 4B) then (z1 is BC) (1)
 11. If (n1 is 4) and (n2 is M) and (n3 is B) then (z1 is BC) (1)
 12. If (n1 is B) and (n2 is M) and (n3 is 4B) then (z1 is BC) (1)
 13. If (n1 is B) and (n2 is B) and (n3 is 4B) then (z1 is B) (1)
 14. If (n1 is B) and (n2 is M) and (n3 is B) then (z1 is B) (1)
 15. If (n1 is B) and (n2 is B) and (n3 is B) then (z1 is B) (1)

If	and	and		Then
n1 is	n2 is	n3 is		z1 is
Π 4 B none	Π M B none	Π 4B B none		H HC C BC B none
☐ not	☐ not	☐ not		☐ not

Connection: ☒ or ☐ and

Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule

<< >>

Рисунок 8 – База правил нечетких данных для подсистемы
первого уровня иерархии

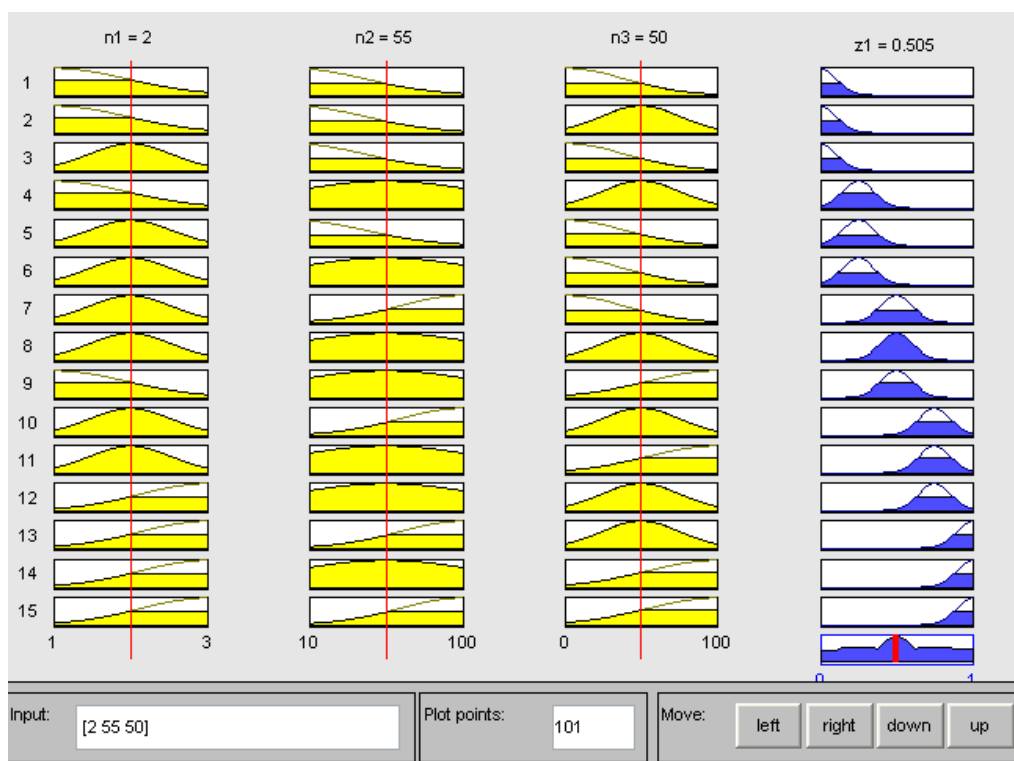


Рисунок 9 – Процесс фаззификации входных переменных подсистемы первого уровня иерархии

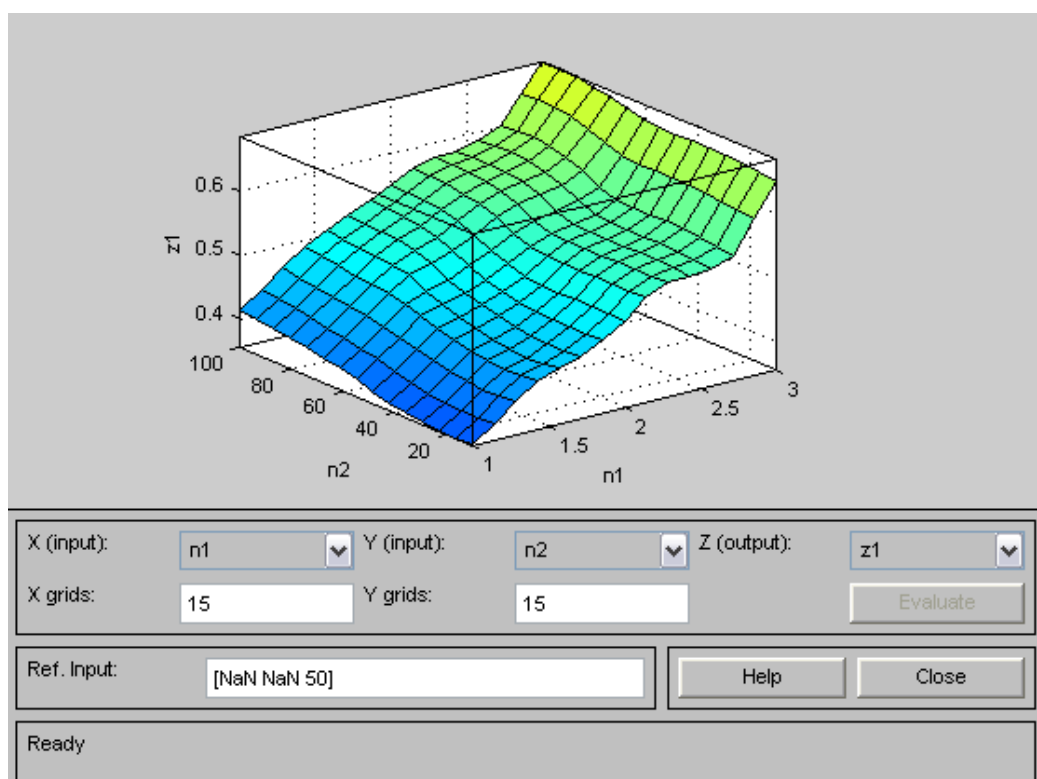


Рисунок 10 – Поверхность поведения нечеткого регулятора подсистемы первого уровня иерархии

Выводы и предложения. Разработка комплексного инструмента по оценке и прогнозированию технического состояния системы газоснабжения возможна с использованием программного обеспечения, которое позволяет оперативно учитывать смену технического состояния газопровода при принятии организационно-технических решений, возникающих при появлении возбуждающих факторов в системе. Использование иерархического подхода к построению системы поддержки принятия решений с применением теории нечетких множеств и нечеткой логики позволяет существенно уменьшить объем нечетких баз правил, тем самым повысить чувствительность системы к влиянию входящих факторов. Включение системы поддержки принятия решений в режим работы эксперта по оценке технического состояния системы газоснабжения, позволит наблюдать за важными параметрами работы системы и своевременно их менять с учетом рекомендаций баз знаний, тем самым повышая эффективность технологии этого процесса.

Список литературы:

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде – М.: Мир, 1976. – 166с.
2. Ротштейн А.П. / Нечеткая надежность алгоритмических процессов / А. Ротштейн, С. Штовба. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997. – 142с.
3. Митюшкин Ю.И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Митюшкин Ю.И., Мокин Б.И., Ротштейн А.П. – В.: Универсум, 2002. – 145с. – ISBN 966-641-051-6.
4. Саати Т. Анализ иерархических процессов / Т. Саати – М.: Радио и связь, 1993. – 315 с.
5. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

7. Циделко В., Хандоняк В. Информационные технологии на базе нечеткой логики (Fuzzy logic) / В. Циделко, В. Хандоняк // Электронные компоненты и системы. – 1999. – №10(26). – С. 29-34.

8. Ободянська О.І. Організаційні аспекти прийняття управлінських рішень щодо забезпечення надійності та довговічності зовнішніх газорозподільних систем / О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011. – № 11. – С. 104–107.

9. Ратушняк Г.С. Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська. – Вінниця, 2014. – 128 с. – ISBN 978-966-641-582-3.

10. Ратушняк Г.С. / Моделювання надійності систем газопостачання на основі лінгвістичної інформації / Г. С. Ратушняк, О.І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – №6. – с. 97-103.

11. Ратушняк Г.С. / Модель багатофакторної оцінки технічного стану системи газопостачання / Г. С. Ратушняк, О.І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – №1. – с. 125-131.

12. Леоненко А. В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech / А. В. Леоненко – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 725 с.