УДК 622.691.4

Г. С. Ратушняк, к. т. н., проф.; О. И. Ободянская

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

В статье предложена модель на основе нечеткой логики интеллектуальной поддержки принятия управленческого решения при реализации проектов оценки и прогнозирования технического состояния сложной системы газоснабжения с учетом количественных и качественных факторов влияния.

Ключевые слова: *система газоснабжения, контроль, управленческое решение, факторы влияния, техническое состояние системы газоснабжения.*

Вступление

Одним из самых главных стратегических заданий обеспечения надежности поставок природного газа на европейский рынок и обеспечение собственных потребителей есть поддержание на высоком техническом уровне и дальнейшее расширение газотранспортной системы Украины. Обследование газопроводов и их сооружений необходимо для определения их технического состояния, а также возможностей и условий дальнейшей эксплуатации. Позитивные показатели технического состояния характеризуют безопасную и надежную эксплуатацию газопроводов и сооружений на них [1]. В условиях интенсивного развития рынка газа в Украине исключительно актуальной является проблема обеспечения надежности и эффективности работы газотранспортной системы, что достигается постоянной объективной оценкой ее технического состояния с учетом количественных и качественных проектных решений и таких параметров, которые характеризуют строительно-монтажные работы и условия эксплуатации системы.

Постановка задания, определяющие соотношения

Управление техническим состоянием системы газоснабжения – это сложный процесс, который требует наличия достоверной информации о текущем состоянии инженерных сетей, эффективных механизмов ее обработки для обеспечения четкого взаимодействия подразделений и служб газового хозяйства для поддержки её в рабочем состоянии [1]. Газораспределительная система многофакторная. Факторы влияния на техническое состояние системы газоснабжения можно разделить на несколько групп: дефекты, которые возникают во время проектирования системы; те, которые связаны со строительно-монтажным циклом; те что возникают в процессе эксплуатации. В работах [2, 3] рассмотрена их иерархическая классификация. Теория нечетких множеств и основанная на ней логика позволяют описывать неточные категории, представления и знания, оперировать ими и делать соответствующие выводы. Наличие таких возможностей для формирования моделей, разнообразных объектов, процессов и явлений на качественном уровне определяет интерес к организации интеллектуального управления на основе использования методов нечеткой логики [4, 5]. Одной из особенностей системы газоснабжения является высокая степень неопределенности изменения большого количества факторов влияния с постоянно переменчивыми параметрами ее функционирования. Поэтому разработка модели интегрированной оценки технического состояния системы газоснабжения с учетом неопределенности для повышения эффективности управленческих процессов является целью данной статьи.

Одной из причин низкого энергосбережения ресурса в системе газоснабжения есть отсутствие надежного комплексного инструмента для контроля ее технического состояния и

управления системными компонентами и процессами, где бы учитывались факторы, имеющие количественный и качественный характер. Решение этой задачи возможное с использованием математической модели принятие управленческих решений, разработанной на основе теории нечеткой логики и лингвистических переменных, которая позволяет учитывать количественные и качественные параметры, какие влияют на надежность управления системы газоснабжения [6, 7].

Нечеткие системы управления эффективно используются там, где объект управления достаточно сложен для его точного описания и существует дефицит априорной информации о поведении системы. Данным объектом управления является система газоснабжения. Нечеткие системы управления имеют базу знаний и элементы искусственного интеллекта и могут быть реализованы специальными нечеткими контролерами, в которых нечеткие выводы выполняются путем вычисления характеристических значений исходной лингвистической переменной через характеристические значения входных лингвистических переменных за логическими формулами, которые используют логические операции "И" и "ИЛИ".

Моделирование управления техническим состоянием системы газоснабжения рассмотрено на примере факторов влияния, которые относятся к строительно-монтажным работам. Рассматривая этот процесс на системном уровне, лингвистическая переменная, которая описывает строительно-монтажные работы, может быть представлена выражением

$$Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4), \tag{1}$$

где y_1 – ЛП “механические повреждения при транспортировке”; y_2 – ЛП “качество сварных стыков”; y_3 – ЛП “состояние антикоррозионного изоляционного покрытия”; y_4 – ЛП “образование монтажного напряжения”.

В уравнение (1) входят переменные y_2, y_3, которые, в свою очередь, зависят от факторов:

$$y_2 = f_{y_2}(c_1; c_2; c_3), \tag{2}$$

$$y_3 = f_{y_3}(d_1; d_2), \tag{3}$$

где c_1 – ЛП “трещины любых размеров и направлений”; c_2 – ЛП “неплотность сварных стыков”; c_3 – ЛЗ “газовые поры и зашлакованность сварного шва”; d_1 – ЛП “нарушение технологии при приготовлении и нанесении изоляционного покрытия”; d_2 – ЛЗ “некачественная подготовка подушки под газопровод”.

Оценка уровней лингвистических переменных, что связывает строительно-монтажные работы (Y) с механическими повреждениями при транспортировке (y_1), качеством сварных стыков (y_2), с состоянием антикоррозионного изоляционного покрытия (y_3) и с образованием монтажного напряжения (y_4), выполняется с использованием оценочных систем терм-множеств, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы влияния как лингвистические переменные

Обозначение и название переменной	Универсальное множество	Термы для оценки
y_1 – механические повреждения при транспортировке	0...100%	присутствуют, частично отсутствуют, отсутствуют
c_1 – трещины любых размеров и направлений	0...100%	присутствуют, частично отсутствуют, отсутствуют
c_2 – неплотность сварных стыков	0...100%	присутствует, частично отсутствует, отсутствует
c_3 – газовые поры и зашлакованость сварного шва	0...100%	присутствуют, частично отсутствуют, отсутствуют

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	0...100 Нм	высокое, среднее, малое

Математическая модель представлена системой нечетких логических уравнений, характеризующие поверхность принадлежности переменных по соответствующему терму [4, 5]:

$$\mu_H(Y) = \mu_П(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_H(y_3) \wedge \mu_B(y_4) \vee \mu_П(y_1) \wedge \mu_{нС}(y_2) \wedge \mu_H(y_3) \wedge \mu_B(y_4); \quad (4)$$

$$\mu_{нС}(Y) = \mu_П(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_{нС}(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_П(y_1) \wedge$$

$$\wedge \mu_{нС}(y_2) \wedge \mu_{нС}(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_{чОт}(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_{нС}(y_3) \wedge \mu_B(y_4); \quad (5)$$

$$\mu_C(Y) = \mu_{чОт}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{От}(y_1) \wedge$$

$$\wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_B(y_4) \vee \mu_П(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_M(y_4); \quad (6)$$

$$\mu_{вС}(Y) = \mu_{От}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{чОт}(y_1) \wedge$$

$$\wedge \mu_{вС}(y_2) \wedge \mu_{вС}(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{От}(y_1) \wedge \mu_{вС}(y_2) \wedge \mu_{вС}(y_3) \wedge \mu_C(y_4); \quad (7)$$

$$\mu_B(Y) = \mu_{От}(y_1) \wedge \mu_{вС}(y_2) \wedge \mu_B(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{От}(y_1) \wedge \mu_B(y_2) \wedge \mu_B(y_3) \wedge \mu_M(y_4). \quad (8)$$

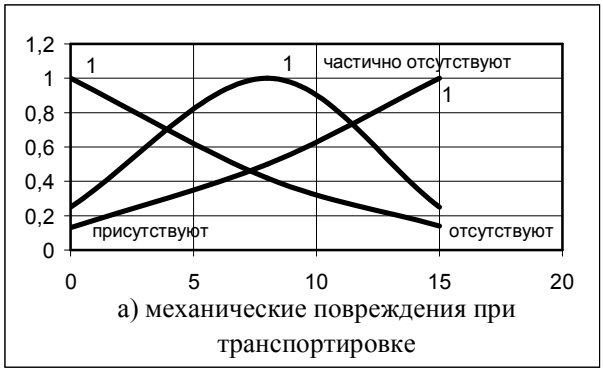
Использование нечетких логических уравнений предусматривает определение функции принадлежности $\mu_m(u)$ всех нечетких термов. Построение функций принадлежности предусматривает фазификацию нечетких оценок факторов влияния, в которую входит выбор нечетких термов (табл. 1). Потом составляем матрицу, которая отображает парные сравнения разных величин факторов влияния с точки зрения их близости к термам, в результате чего получаем степени принадлежности оценочных термов. Полученные результаты функций принадлежности нормируем на единицу путем деления на наибольший степень принадлежности. Функции принадлежности для лингвистических переменных, которые описывают строительно-монтажные работы системы газоснабжения, представлены на рис. 1. Функции принадлежности не могут быть использованы, если входная переменная изменяется непрерывно. Входная переменная может принимать значение не только u_i $(\mathrm{i} = \overline{1,5})$, но и промежуточные. Использование линейной интерполяции позволяет пренебречь этим ограничением. Если известно, что $\mu_m(u_i) = \mu_i$ и $\mu_m(u_{i+1}) = \mu_{i+1}$ то значение $\mu_m(u^*)$, где $u^* \in (U_i, U_{i+1})$, находится из соотношения [4, 5]:

$$\mu_m(u^*) = \frac{u^*(\mu_{i+1} - \mu_i) + \mu_i(u_{i+1} - u_i) - u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)}{u_{i+1} - u_i}. \quad (9)$$

Анализ переменных (y_1, y_2, y_3, y_4) только на дискретном универсальном множестве не позволяет учитывать случаи, когда на проектные решения влияют смешанные факторы. С целью избегания этого ограничения задаем в качестве области определение переменной условный интервал, на котором каждому элементу множества соответствуют определённые значения. Используя функции принадлежности (рис. 1) и формулу (9), находим аналитические модели функции принадлежности оценок входных переменных для всех термов, которые описываются системой уравнений вида

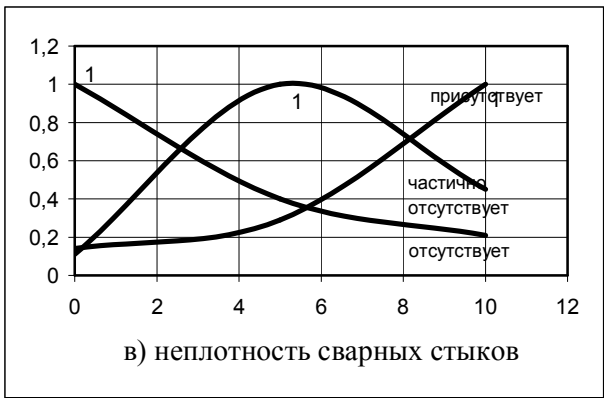
$$\mu_m(u^*) = \frac{au^* + b}{c}, \quad (10)$$

где $a = \mu_{i+1} - \mu_i$; $b = \mu_i (u_{i+1} - u_i) - u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)$; $c = u_{i+1} - u_i$.



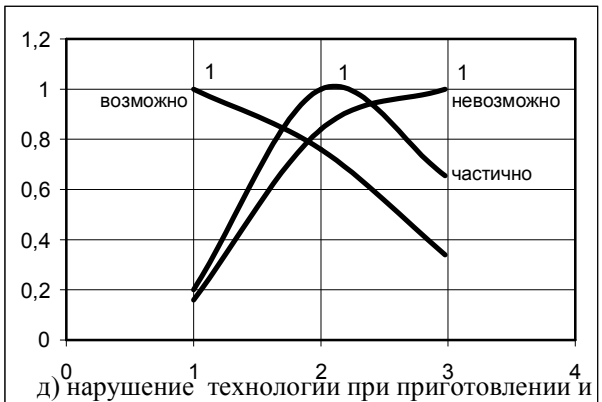
а) механические повреждения при транспортировке

б) трещины любых размеров и направлений



в) неплотность сварных стыков

г) газовые поры и зашлакованость сварного шва



д) нарушение технологии при приготовлении и нанесение изоляционного покрытия

е) некачественная подготовка подушки под газопровод

ж) образование монтажого напряжения

Рис. 1. Функции принадлежности для лингвистических переменных, которые описывают строительно-монтажные работы

Чтобы перейти от полученных нечетких множеств к количественной оценке, необходимо выполнить процедуру дефазификации, то есть превращение нечеткой информации в четкую форму. Среди разных методов дефазификации наиболее распространённым является метод

нахождения "центра веса" плоской фигуры, которая ограничена функцией принадлежности нечеткого множества и горизонтальной координатой [4, 5]. Дефазификация нечетких множеств за принципом “центра веса” дает количественную оценку технического состояния системы газоснабжения C_R* при заданных значениях факторов влияния

$$C_R\, Y^* = (y_1, y_2, y_3, y_4) = \frac{\sum_{i=1}^{l} Y^{d_i} \cdot \mu_{d_i}(Y)}{\sum_{i=1}^{l} \mu_{d_i}(Y)}, \qquad (11)$$

где l – количество нечетких термов для оценки переменной C_R; d_i – название i-го терма, $i = \overline{1,l}$; $\mu_{qi}(Y)$ – степень принадлежности Y к терму d_i.

Используя аналитические формулы (4) – (8) и значение функций принадлежности переменных y_1, y_2, y_3, y_4 (рис. 1), получаем значение функций принадлежности терм-оценок переменной Y:

$\mu_H(Y) = 0{,}64 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}12 \vee 0{,}64 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}12 = 0{,}76 \cdot 0{,}76 = 0{,}76$;

$\mu_{нС}(Y) = 0{,}64 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}64 \vee 0{,}64 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}64 \vee 0{,}84 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}12 = 0{,}84 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}84 = 0{,}84$;

$\mu_C(Y) = 0{,}84 \cdot 1 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}99 \vee 0{,}35 \cdot 1 \cdot 0{,}88 \cdot 0{,}12 \vee 0{,}64 \cdot 1 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}99 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$;

$\mu_{вС}(Y) = 0{,}35 \cdot 1 \cdot 0{,}88 \cdot 0{,}99 \vee 0{,}84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}99 \vee 0{,}35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}64 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$;

$\mu_B(Y) = 0{,}35 \cdot 1 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}99 \vee 0{,}35 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}99 = 1 \cdot 0{,}99 = 0{,}99$.

Полученные значения функций принадлежности переменной Y позволят в комплексе со значениями функций принадлежности переменных X – проектные решения и Z – эксплуатация системы получить прогнозируемую оценку технического состояния системы газоснабжения. При этом полученное решение будет основываться на результатах виртуального эксперимента, который проводится с использованием экспертной базы знаний.

Выводы

1. Предложенная модель служит менеджерам проекта для оценки технического состояния системы газоснабжения средством для интеллектуальной поддержки принятия независимых управленческих решений с учетом количественных и качественных возбуждающих факторов, которые влияют на надежность газораспределительной системы.

2. На основании полученных с помощью теории нечеткой логики и лингвистических переменных прогнозируемых характеристик состояния системы газоснабжения разрабатываются организационно-технологические мероприятия по ее совершенствованию и реконструкции, которые будут способствовать повышению надежности обеспечения газом потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сідак В. С. / Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання / В. С. Сідак. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 227 с.

2. Ратушняк Г. С. / Моделювання процесу інтелектуальної підтримки прийняття рішення щодо оцінки стану системи газопостачання методом парних порівнянь / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія. – 2010. – № 1 (17). – с. 52 – 55.

3. 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. – № 1. – с. 97 – 103.

4. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Вінниця.: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.

5. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии индентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

6. 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.

7. Ратушняк Г. С. / Розроблення моделі оцінювання технічного стану розподільчих газопроводів для створення

муніципальної гіс підсистеми газопостачання / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку. Київ. – 2010. – № 4. – с. 234 – 237.

Ратушняк Георгий Сергеевич – к. т. н., профессор, заведующий кафедрой теплогазоснабжения, директор института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения, тел.: (0432) 46-52-04: e-mail: ratushnyak@inbtegp.vstu.vinnica.ua.

Ободянская Ольга Игоревна – аспирант кафедры теплогазоснабжения, тел.: +380674304208: e-mail: olha.obodyanska@i.ua.

Винницкий национальный технический университет.