
УДК 628.147.25

Д.Ф. Гончаренко, О.В. Старкова, А.И. Алейникова

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Представлены факторы, влияющие на выбор способа восстановления водораспределительной сети, на основе которых выбраны переменные и интервалы их изменения. Разработана автоматизированная информационная система для выбора способа восстановления, учитывающая наиболее значимые факторы.

Ключевые слова: *способ восстановления, факторы, водораспределительная система, нечеткая логика.*

Постановка проблемы, анализ исследований и публикаций

В современных экономических условиях целесообразно принимать обоснованные решения относительно выбора наиболее выгодного способа восстановления изношенного трубопровода водоснабжения, основываясь на оценке факторов, влияющих на выбор способа проведения работ и опираясь на ресурсные возможности эксплуатационной организации.

Одним из наиболее часто применяемых способов ремонта водопроводных сетей является открытый способ, который основывается на непосредственной разработке грунта, вскрытии траншеи, удалении старой трубы и монтаже новой. Такой способ проведения работ достаточно дорогостоящий при большой глубине заложения трубопровода [1 – 3]. Открытый способ ремонта и восстановления трубо-

проводов мало отличается по технологической последовательности проведения работ от нового строительства, за исключением демонтажа вышедшего из строя трубопровода [4].

В процессе выбора способа восстановления водовода необходимо учитывать факторы, влияющие на принятие решения относительно ремонта изношенного участка (табл. 1, 2). Исследованию этих факторов посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [1 – 6].

В работах [7, 8] предложен подход к выбору наиболее эффективного метода восстановления водоотводящей сети, который учитывает класс состояния участков, а также возможности эксплуатационной организации. Для сетей водоснабжения этот подход применить нельзя, так как факторы, влияющие на условия эксплуатации этих сетей, отличаются.

Таблица 1

Факторы, влияющие на выбор способа ремонта водораспределительной сети

№ п/п	Фактор	Степень влияния при выборе способа восстановления		
		низкая	средняя	высокая
1	Длина участка ремонта		+	
2	Глубина заложения трубопровода			+
3	Материал трубопровода	+		
4	Степень износа		+	
5	Номинальный диаметр трубопровода (DN)	+		
6	Наличие подземных коммуникаций вблизи участка восстановления		+	
7	Наличие и применение специального оборудования и механизмов для производства работ			+
8	Густая застройка, наличие дорожного покрытия, густых зеленых насаждений в районе проведения восстановительных работ			+
9	Ограждение зоны проведения работ, неудобство для населения		+	
10	Место проведения работ		+	
11	Свойства грунта	+		

Таблица 2

Приоритетность применения открытого и закрытого способа восстановления

№ п/п	Критерий	Способ восстановления	
		открытый	закрытый
1	2	3	4
1	Длина участка ремонта, м ≤ 20 20 – 50 50 – 150 > 150	++ + + –	+ + ++ ++
2	Глубина заложения трубопровода, м ≤ 2 2 – 4 > 4	++ + –	+ + ++
3	Наличие подземных коммуникаций вблизи участка восстановления: множество незначительно или отсутствуют неизвестно	– + –	++ + ++
4	Степень износа (в результате обследования): высокая (значительная коррозия, зарастание, наличие свищей, трещины и т.д.) средняя (наличие коррозии, зарастаний и т.д.) низкая (появление коррозии, единичные повреждения)	+ + +	+ + +
5	Номинальный диаметр трубопровода (DN), мм: DN ≤ 100 DN 100 – 300 DN 300 – 500 DN > 500	* * * *	* * * ++
6	Материал изношенного трубопровода: сталь (Ст) чугун (СЧ, ВЧ) асбестоцемент (АЦ) полимеры (ПЭ, ПВХ)	* * * *	* * * *
7	Наличие специального оборудования и механизмов для производства работ: в наличии нет в наличии	– ++	++ –

Окончание табл. 2

1	2	3	4
8	Условия проведения работ: густая застройка, наличие дорожного покрытия, густых зеленых насаждений отсутствие асфальтного покрытия, незначительные зеленые насаждения	– +	++ +
9	Ограждение зоны проведения работ, неудобство для населения	–	++
10	Место проведения работ: центральный район города, исторический центр другие районы в черте города загород	– + +	+ + +
11	Свойства грунта, необходимость обеспечения водопонижения: требуется водопонижение водопонижение не требуется	– +	+ +
12	Необходимость значительно увеличить диаметр ремонтируемого трубопровода	++	–

++ предпочтительный способ

+ подходящий способ

– неподходящий способ

* незначительное влияние критерия на выбор способа восстановления

Целью настоящей статьи является разработка автоматизированной информационной системы, которая бы позволяла на основе совокупности факторов, влияющих на сеть водоснабжения, делать вывод о наиболее приоритетном способе ее восстановления. Разработка данной системы осуществлена с использованием аппарата нечеткой логики и пакета Fuzzy Logic Toolbox в MATLAB.

Основной материал

Для разработки информационной системы выбора эффективного способа восстановления водоводов применен аппарат нечеткой логики [9].

Математическая теория нечетких множеств и нечеткая логика являются обобщением классической теории множеств и классической формальной логики. При построении моделей систем и процессов с применением нечеткомножественного подхода и аппарата нечеткой логики все входящие и исходящие переменные представляются как лингвистические, принимающие значения из множества слов или словосочетаний какого-либо природного или искусственного языка.

При этом для описания лингвистической переменной необходимо задать ее имя (X), множество допустимых значений или терм-множество (T), каждый элемент которого (терм) является нечетким множеством на универсальном множестве U ; синтаксические правила (G), порождающие названия термов; семантические правила (M), задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G [9].

Функция принадлежности позволяет вычислить степень принадлежности нечеткому множеству произвольного элемента универсального множества.

Преобразование нечеткого множества в четкое число происходит с помощью процедуры дефаззификации, которая в теории нечетких множеств является аналогом нахождения характеристик положения (математического ожидания, моды, медианы) случайных величин в теории вероятности.

Аппроксимация зависимости «входы-выход» при использовании аппарата нечеткой логики, называемая также нечетким логическим выводом, осуществляется на основании правил типа «ЕСЛИ-ТО» и операций над нечеткими множествами.

В общем случае механизм логического вывода включает четыре этапа: ввод нечеткости (фаззификация), нечеткий вывод, композиция и приведение к четкости (дефаззификация).

Одним из наиболее распространенных способов логического вывода в нечетких системах является алгоритм Мамдани, в основе которого лежит использование минимаксной композиции нечетких множеств для аппроксимации исходных данных [9].

При построении модели по алгоритму Мамдани взаимосвязь между входами и выходом Y определяется нечеткой базой знаний типа Мамдани следующего формата:

ЕСЛИ $(x_1 = a_1^{j1})$ И $(x_2 = a_2^{j2})$ И...И $(x_n = a_n^{jn})$;

ИЛИ $(x_1 = a_1^{j2})$ И $(x_2 = a_2^{j2})$ И...И $(x_n = a_n^{jn})$;

....

ИЛИ $(x_1 = a_1^{jk})$ И $(x_2 = a_2^{jk})$ И...И $(x_n = a_n^{jn})$, ТО $(y = d_j)$,

для всех $j = \overline{1, m}$, где a_p^{jk} – нечеткий терм, которым оценивается переменная x_i в строчке с номером jp ($p = \overline{1, k}$); k – количество строк-конъюнкций, в кото-

рых вход u оценивается нечетким термом d_j , $j = \overline{1, m}$; m – количество термов, которые используются для лингвистической оценки исходящего параметра u .

С помощью операций \cup (ИЛИ) и \cap (И) нечеткая база знаний записывается компактнее:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \right) \rightarrow (y = d_j), j = \overline{1, m}.$$

Нечеткий логический взвод позволяет с помощью нечеткой базы знаний и операций над нечеткими множествами построить аппроксимацию зависимости $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

В общем случае при n входящих переменных и одной исходящей переменной $\mu_{jp}(x_i)$ – функция принадлежности входа x_i нечеткому терму a_p^{jk} , т.е.

$$a_p^{jk} = \int_{\underline{x}_i}^{\overline{x}_i} \mu_{jp}(x_i) / x_i, \quad x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i];$$

$\mu_{d_j}(y)$ – функция принадлежности выхода u нечеткому терму d_j , т.е.

$$d_j = \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} \mu_{d_j}(y) / y, \quad y \in [\underline{y}, \overline{y}];$$

из базы знаний определяется следующей системой логических уравнений:

$$\mu_{d_j}(X^*) = \bigvee_{p=1, k} w_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1, n} [\mu_{ip}(x_i^*)], \quad j = \overline{1, m},$$

где \bigwedge (\bigvee) – операция s-нормы (t-нормы), то есть множество реализаций логической операции ИЛИ (И). Наиболее часто используются следующие реализации: для операции ИЛИ – нахождение максимума, для операции И – нахождение минимума.

Нечеткое множество \tilde{y} , которое соответствует входному вектору X^* , определяется таким образом:

$$\tilde{y} = \text{agg}_{j=1, m} \left(\int_{\underline{y}}^{\overline{y}} \min(\mu_{d_j}(X^*), \mu_{d_j}(y) / y) \right),$$

где agg – агрегация нечетких множеств, которая наиболее часто реализуется операцией нахождения максимума. Записывается следующим образом:

$$\tilde{y} = \frac{\mu_{d_1}(X^*)}{d_1} + \frac{\mu_{d_2}(X^*)}{d_2} + \dots + \frac{\mu_{d_m}(X^*)}{d_m}.$$

Особенностью этого нечеткого множества является то, что универсальным множеством для него является терм-множество переменной u .

Нечеткий логический вывод по алгоритму Мамдани выполняется на основании нечеткой базы знаний:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_i^{jp} \text{ с весом } \omega_{jp} \right) \rightarrow (y = d_j), j = \overline{1, m},$$

в которой значения входящих и исходящих переменных заданы нечеткими множествами.

Для разработки информационной системы выбора способа восстановления водоводов на основании факторов, представленных в табл. 2, сформированы входные и исходящая переменные (терм-множества), термы и их описания (табл. 3).

Система нечеткого логического вывода реализована средствами Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB, который содержит набор GUI-модулей, обеспечивающих проведение этапа структурной идентификации в диалоговом режиме.

Для предварительного конструирования системы были выбраны три фактора, которые отмечены как наиболее значимые в табл. 1.

Фаззификация одной из входящих переменных и дефаззификация исходящей переменной представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

На рис. 3 представлена база знаний разработанной системы. Результат работы системы показан на рис. 4. Так, при глубине заложения трубопровода 2,5 м, отсутствии специального оборудования и густой застройке система предлагает закрытый способ ремонта, который будет наиболее эффективен в указанных условиях.

Выводы

Условия современности накладывают значительные ограничения на ресурсы организаций, оказывающих услуги водоснабжения. В таких условиях принятие обоснованных решений по выбору наиболее выгодного способа восстановления изношенного трубопровода водоснабжения является актуальным. Разработанная система позволяет принимать такие решения, основываясь на оценке факторов, влияющих на выбор способа проведения работ. В дальнейшем планируется развитие системы таким образом, чтобы выбор осуществлялся на основании всех критериев, оказывающих влияние на способ производства ремонтно-восстановительных работ водовода.

Таблица 3

Переменные, терм-множества и термы

Переменная	Терм-множество	Термы	Описание
1	2	3	4
Входящие переменные			
X1	Длина участка ремонта	[0;20] [21;50] [51;150] [151;∞]	до 20 м от 21 до 50 м от 51 до 150 м более 151 м

1	2	3	4
X2	Глубина заложения трубопровода	[0;2] [2,1;4] [4,1;∞]	до 2 м от 2 до 4 м более 4 м
X3	Наличие подземных коммуникаций вблизи участка восстановления	[0,8;1] [0,31;0,79] [0;0,3]	множество незначительно или отсутствуют неизвестно
X4	Степень износа (в результате обследования)	[0,8;1] [0,31;0,79] [0;0,3]	высокий средний низкий
X5	Номинальный диаметр трубопровода	[0;100] [100;300] [300;500] [500; ∞]	до 100 мм от 100 до 300 мм от 300 до 500 мм более 500 мм
X6	Материал изношенного трубопровода	[0;1] [1,1;2] [2,1;3] [3,1;4]	сталь чугун асбестоцемент полимеры
X7	Наличие специального оборудования и механизмов для производства работ	[0,51;1] [0;0,5]	в наличии нет в наличии
X8	Условия проведения работ	[0,51;1] [0;0,5]	густая застройка отсутствие асфальтного покрытия
X9	Ограждение зоны проведения работ, неудобство для населения	[0,51;1] [0;0,5]	да нет
X10	Место проведения работ	[0,8;1] [0,31;0,79] [0;0,3]	центр другие районы загород
X11	Свойства грунта, необходимость обеспечения водопонижения	[0,51;1] [0;0,5]	требуется водопонижение водопонижение не требуется
X12	Необходимость значительно увеличить диаметр ремонтируемого трубопровода	[0,51;1] [0;0,5]	да нет
Исходящая переменная			
Y	Способ восстановления	[0,51;1] [0;0,5]	закрытый открытый

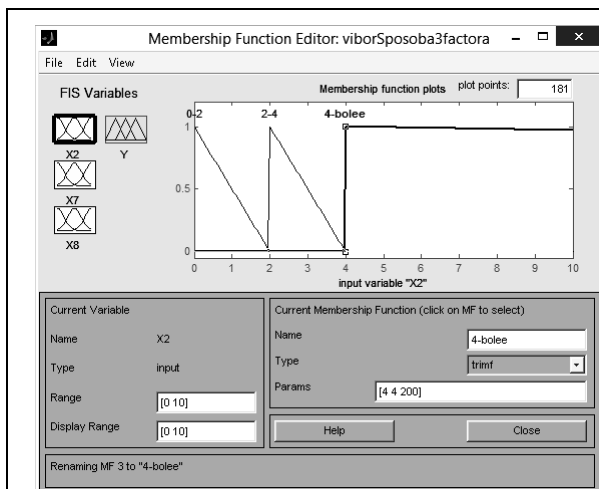


Рис. 1. Фаззификация переменной X2, учитывающей глубину заложения трубопровода

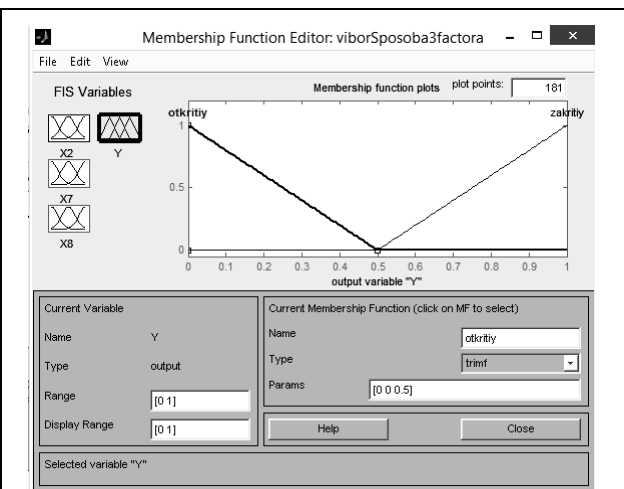


Рис. 2. Дефаззификация переменной Y (способ восстановления)

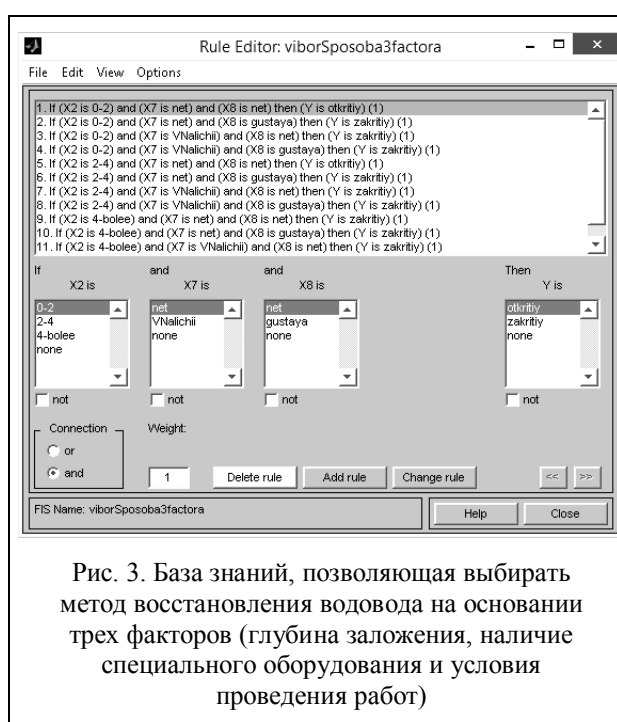


Рис. 3. База знаний, позволяющая выбрать метод восстановления водовода на основании трех факторов (глубина заложения, наличие специального оборудования и условия проведения работ)

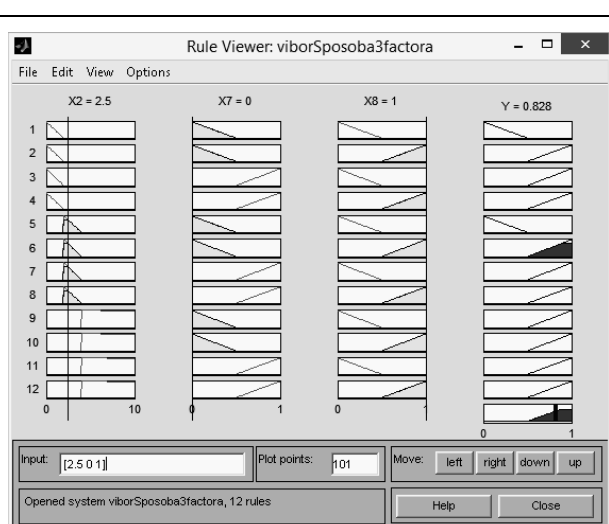


Рис. 4. Результат работы системы нечеткого логического вывода по выбору метода восстановления водовода

Список литературы

1. Schleicht H. *Instandhaltung von Wasser-verteilungsanlagen* / H. Schleicht // *Jahresmagazine*. – 2006. – №12. – P. 16-21.
2. Böhm A. *Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung des Wasserrohrnetzes* / A. Böhm. – Vulkan-Verlag Essen, 1993. – 92 p.
3. Храменков С.В. *Оценка надежности трубопроводов системы водоснабжения Москвы* / С.В. Храменков, О.Г. Примин // *Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ)*. – 1998. – Вып. 7. – С. 6-9.
4. Храменков Г.В. *Безопаснейшие методы восстановления водопроводных и водоотводящих сетей* / С.В. Храменков, О.Г. Примин, В.А. Орлов. – М.: ТИИР, 2000. – 177 с.
5. Гончаренко Д.Ф. *Ремонтно-восстановительные работы на канализационных сетях в водонасыщенных грунтах* / Д.Ф. Гончаренко, Е.Б. Клейн, И.В. Коринько. – Х.: Прапор, 1999. – 158 с.
6. Орлов В.А. *Эксплуатация, реконструкция и строительство водопроводных и водоотводящих сетей с учетом экологического фактора* / В.А. Орлов // *Строительство и архитектура*. – 1997. – Вып. 2. – С. 70.

7. Старкова О.В. *Моделирование выбора метода восстановления сетей водоотведения* / О.В. Старкова, Е.А. Шаповалова, Л.А. Гнучих // *Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб.* – К.: Техника, 2008. – Вып. 85. – С. 19-26.

8. Старкова О.В. *Выбор оптимальных параметров восстановления сетей водоотведения* / О.В. Старкова, Е.А. Шаповалова, Л.А. Гнучих // *Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб.* – К.: Техника, 2008. – Вып. 87. – С. 17-23.

9. Заде Л.А. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений* / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 342 с.

Поступила в редколлегию 9.09.2014

Рецензент д-р физ.-мат. наук, проф. Н.Д. Сизова, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ ВОДОВОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Д.Ф. Гончаренко, О.В. Старкова, А.І. Алейнікова

Представлено фактори, що впливають на вибір способу відновлення водорозподільної мережі, на основі яких обрані змінні і інтервали їх коливання. Розроблено автоматизовану інформаційну систему для вибору способу відновлення, що враховує найбільш значущі фактори.

Ключові слова: спосіб відновлення, фактори, водорозподільна мережа, нечітка логіка.

DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM SELECTION METHOD FOR REDUCING WATER LINES USING FUZZY LOGIC

D.F. Goncharenko, O.V. Starkova, A.I. Aleynikova

Presents factors influencing the choice of method for reducing the water distribution network, which are selected on the basis of the variables and their change intervals. An automated information system for selecting the method of recovery, taking into account the most important factors.

Keywords: method of recovery, factors, water distribution system, fuzzy logic.