

Пономарева Марина Андреевна

Ponomareva Marina Andreevna

Балашовский институт Саратовского государственного университета

Balashov Institute of Saratov State University

Аспирант/Post graduate student

Строительная механика 05.23.17

E-Mail: Mig0109@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

Ovchinnikov Igor Georgievich

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Профессор/professor

E-Mail: bridgesar@mail.ru

Применение нечеткого моделирования при оценке работоспособности трубопровода

The use of fuzzy modeling in assessing the pipeline performance

Аннотация: Рассмотрен подход к ранжированию трубопроводов, нуждающихся в ремонте, с помощью экспертной оценки. Для оценки критериев выхода трубопровода в ремонт использован нечетко-множественный подход. Для построения нечеткой модели используется модель Мамдани. Построены поверхности нечетко-логического вывода для поддержки принятия решений о целесообразности вывода трубопровода в ремонт

The Abstract: An approach to ranking pipes in need of repair, with the help of expert evaluation is considered. Fuzzy-set approach for assessing the pipeline repair criteria are used. To construct the fuzzy model, the model Mamdani is used. The surfaces of fuzzy inference in order to support decision-making on whether taking the pipeline to be repaired are obtained

Ключевые слова. Прочность трубопровода, нечетко-множественный подход, напряженное состояние, неполная информация

Keywords: The strength of the pipeline, fuzzy-set approach, stress state, incomplete information.

По исследованию, проведенному Газпромом в конце 2008г., были выявлены основные причины отказов и аварий на газопроводах, большую часть из них (45%) [1] занимают технические причины, такие как: дефекты геометрии трубопровода, дефекты типа потери металла, уменьшающие толщину стенки трубопровода, поперечные трещины и трещиноподобные дефекты в кольцевых сварных швах, продольные трещины в теле трубы, продольные трещины и трещиноподобные дефекты в продольных сварных швах. Линейная часть магистральных трубопроводов - одно из немногих сооружений, которые испытываются без полного воспроизведения эксплуатационных нагрузок (температурных, динамических, возможного изменения схемы нагружения и др.). Поэтому в период эксплуатации необходимо проводить постоянную диагностику прочности трубопровода, чтобы повысить гарантию работоспособности, а также создать базу наблюдений за развитием возможных дефектов.

Основной целью диагностики магистральных газопроводов является обеспечение бесперебойного транспорта газа в соответствии с планом и минимизация рисков техногенного и природного характера. После проведения диагностики эксплуатирующая организация ранжирует элементы газопровода (на основании перечня обнаруженных дефектов, отклонений от проектных решений, нарушений охранных зон и т.д.) по очередности проведения капитального ремонта [2, 3].

При определении приоритетности вывода участков линейной части магистральных трубопроводов (ЛЧМГ) в капитальный ремонт учитывается множество факторов таких как: сведения о коррозии, состояние металла и изоляционного покрытия, срок эксплуатации трубопровода и другие. Подробнее влияние различных показателей рассмотрено в статье [4]. Для оценки надежности магистрального газопровода длиной L необходимо разбить его на несколько подсистем, с последующим анализом их надежности. Для выделения отдельных подсистем нужно провести структурный анализ, при котором газопровод рассматривается как протяженная механическая система, состоящая из однородных по способу прокладки, грунтово-геологическим, климатическим и эксплуатационным условиям участков (рис.1). При этом выделение однородных участков осуществляется в соответствии с принципом равной надежности [3].



Рис.1. Выделение участков магистрального газопровода

Надежность линейной части магистрального трубопровода длиной L за период эксплуатации t с учетом разбиения на N групп однородных участков (элементов) может быть оценена по формуле

$$H(t, L) = \prod_{i=1}^N H_i(t, \Delta L_i),$$

где $H_i(t, \Delta L_i)$ – надежность i -ой однородной группы (элемента) суммарной протяженностью ΔL_i ($L = \sum_{i=1}^N \Delta L_i$), при этом предполагается независимость отказов на каждом из выделенных участков [3].

Для оценки надежности системы, состоящей из N последовательно соединенных элементов с коррелированными отказами, используется приближенная формула модели цепи

$$\frac{1}{H(t)} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{H_i(t)} - (N - 1).$$

Здесь $H(t)$ – надежность системы; $H_i(t)$ – надежность i -го элемента [3].

Одним из основных показателей, рассчитываемых в процессе проектирования ЛЧМГ, является напряженно-деформированное состояние σ . Однако значительное влияние на приоритетность вывода участка ЛЧМГ в ремонт вносят не только факторы, непосредственно влияющие на напряженно-деформированное состояние трубопровода, но и конструкция газопровода, наличие переходов через преграды, размеры охранной зоны газопровода, экономические факторы, объем недопоставок газа в случае возникновения аварии и т.д.

Для оценки таких показателей используют либо данные анкетирования, выраженные в баллах, либо экспертные оценки типа «высокое давление», «низкие затраты на ремонт». Такая неопределенность исходных данных связана с невозможностью дорогих полномасштабных исследований, а также с недоступностью всех необходимых для исследования данных. В указанных условиях с помощью традиционных подходов трудно получать адекватные модели приоритетности вывода ЛЧМГ в ремонт, учитывающие доступные данные. Превращать такие экспертные правила в математическую модель удобно с помощью теории нечетких множеств. Существующие качественные и количественные подходы к прогнозированию ставят своей целью увеличение точности прогноза в максимальной степени, при всем том, традиционные методы не могут применяться к задачам, в которых исторические данные представлены не в привычном числовом виде, а в вербальной (словесной) форме. Нечеткие временные ряды (fuzzy time series) позволяют преодолеть эту проблему, открывая реальную перспективу возможности обработки как лингвистических, так и числовых данных. Прогнозирование, основанное на нечетких временных рядах (НВР), привлекает повышенное внимание ученых в течение последних 15 лет. Вопрос разработки моделей прогнозирования на основании нечетких временных рядов анализируется в трудах Л. Х. Ванга (L.H. Wang), Л.В. Ли (L.W. Lee), К. Сонга (Q. Song), С.М. Чена (S.M.Chen), Б.С. Чиссома (B.S. Chissom) [5].

При использовании математического аппарата ТНМ экспертам необходимо формализовать свои представления о возможных значениях оцениваемого параметра в терминах задания характеристической функции (функции принадлежности) множества значений, которые он может принимать. После того как формализация входных параметров сложной системы (в рассматриваемом случае ЛЧМГ) произведена, можно рассчитать распределение возможности выходного параметра (показателя эффективности ИП) u по « α -уровнему принципу обобщения» или «принципу обобщения Заде». Для оценки долговечности трубопровода введем понятие «риск аварии газопровода». Точного определения риска аварии с точки зрения нечетких множеств не существует, однако, можно представить риск аварии как соотношение предельных показателей системы и реальных.

Так как даже в простейшем случае, состояние газопровода зависит от множества факторов: давления, радиуса трубы, толщины трубы, на которую влияет коррозия и другие факторы. При этом целесообразно описать нормативное состояние газопровода с помощью аппарата нечеткой логики уже на стадии проектирования, так как в процессе эксплуатации эта величина σ_n будет изменяться. В то же время реальное напряженно-деформированное состояние σ_p будет также нечетким числом, так как влияние всех факторов на газопровод невозможно определить точным числом. В итоге будет получено два нечетких множества: σ_n и σ_p .

Критерием приоритетности вывода газопровода в ремонт (в дальнейшем критерий приоритетности) назовем число $Q \in [0;1]$. Чем больше значение этого критерия, тем быстрее необходимо провести капитальный ремонт рассматриваемого участка ЛЧМГ. На приоритетность влияет много эксплуатационных, механических, экономических и других факторов. Обозначим их через x_1, x_2, \dots, x_n , тогда модель приоритетности будет представлять функциональное отображение вида:

$$X = (x_1, x_2 \dots x_n) \rightarrow Q \in [0;1],$$

где X - вектор влияющих факторов.

При большом числе факторов их влияние удобно классифицировать в виде иерархического дерева логического вывода. Предлагается иерархическая классификация влияющих факторов в виде такого дерева (рис. 2). Элементы дерева интерпретируются так:

- корень дерева – приоритетность вывода ЛЧМГ в ремонт;
- терминальные вершины - частные влияющие факторы влияния;
- нетерминальные вершины - свертки влияющих факторов;

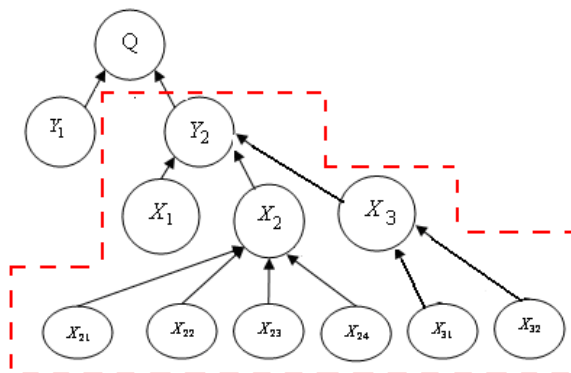


Рис. 2. Описание факторов приведено в табл. 1.

Таблица 1.

Влияющие факторы

Наименование фактора	Описание фактора
Y_1	Риск возникновения аварии, рассчитанный на основе реального и предельного значений напряженно-деформированного состояния трубопровода
Y_2	Данные, полученные с помощью экспертных оценок
X_1	Баллы анкетирования
X_2	Оценка нечетких параметров эксплуатации трубопровода
X_3	Нечеткая оценка последствий вывода участка в ремонт
X_{21}	Расстояние между трубопроводом и переходами через автомобильные и железные дороги
X_{22}	Близость трубопровода к населенным пунктам
X_{23}	Количество узлов, деталей по отношению к длине рассматриваемого участка трубопровода
X_{24}	Количество отказов по отношению к длине рассматриваемого участка трубопровода
X_{31}	Объем недопоставок газа
X_{32}	Затраты на ликвидацию последствий возможной аварии

В данной статье мы будем рассматривать только блоки, выделенные пунктиром. Подробно вопрос расчет риска возникновения аварии рассмотрен в статье [6]. Для оценки долговечности трубопровода введем понятие «риск аварии газопровода». Точного определения

риска аварии с точки зрения нечетких множеств не существует, однако, можно представить риск аварии как соотношение предельных показателей системы и реальных.

Для расчета фактора X_1 рассматриваемому участку газопровода начисляются баллы от 0 до 5 по 10 факторам (таким как: защищенность средствами ЭХЗ, категория газопровода и т.д.). Для расчета фактора X_1 рассматриваемому участку газопровода начисляются баллы от 0 до 5 по 10 факторам. Анкета для определения баллов представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Анкета для определения фактора X_1

Факторы	Характеристика фактора		Оценка в баллах
	Категория, а/д	Количество ж/д путей	
Категория перехода	1	2 и более	5
	2		4
	3	1	3
	4		2
	5		1
Подается ли газ на экспорт?	да		5
	нет		0
Находится ли газопровод в пределах КС, ГРС, СПХБ, ПРТ	Да, более 3 объектов		5
	Да, 1-3 объекта		2
	Нет		0
Подается ли газ на предприятия с непрерывным газовым циклом?	Да		5
	Нет		0
Находится ли газопровод в сейсмически опасных районах?	Да		5
	Нет		0
Находится ли газопровод на переходах через ЛЭП 500кВ и более?	Да		5
	Нет		0
Есть ли пересечения с другими трубопроводами?	Да		5
	Нет		0
Есть ли нарушения охранной зоны?	Да		2
	Нет		0
Участок газопровода	Начальный		5
	Средний		2
	Отдаленный от КС		0
Защищенность средствами ЭХЗ	Недозащита трубы		5
	Нет защиты футляра		2
	Обеспечена защита, как трубы, так и футляра		0

Для нечеткой оценки параметров эксплуатации трубопровода используются экспертные базы знаний типа Мамдани, элементы antecedентов нечетких правил связаны логической операцией «И». В качестве базы знаний были сформулированы 81 правило управления. Для иллюстрации укажем только несколько:

Таблица 3.

Нечеткая база знаний по оценке эксплуатации газопровода.

X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_2
Близко	Близко	Мало	Мало	Высокая
Близко	Близко	Мало	Много	Очень высокая
...
Далеко	Далеко	Среднее	Много	Средняя
Далеко	Далеко	Среднее	Мало	Низкая

Для нечеткой оценки параметров эксплуатации трубопровода используются экспертные базы знаний типа Мамдани, элементы antecedентов нечетких правил связаны логической операцией «И» [7]. В качестве базы знаний были сформулированы 81 правило управления.

Построим нечеткую модель оценки приоритетности вывода в ремонт участка ЛЧМГ с помощью программы MatLab и ее приложения Fuzzy Logic (рис.3.). Для представления данных выберем треугольную форму функции принадлежности. Такие функции применяются на практике достаточно часто, что обусловлено их простотой. Существенным преимуществом треугольных функций принадлежности является то, что для их определения требуется наименьший по сравнению с остальными функциями объем информации, который в данной случае ограничивается данными об угловых точках, что является весьма важным обстоятельством при моделировании систем в условиях ограниченности объема исходных данных [7].

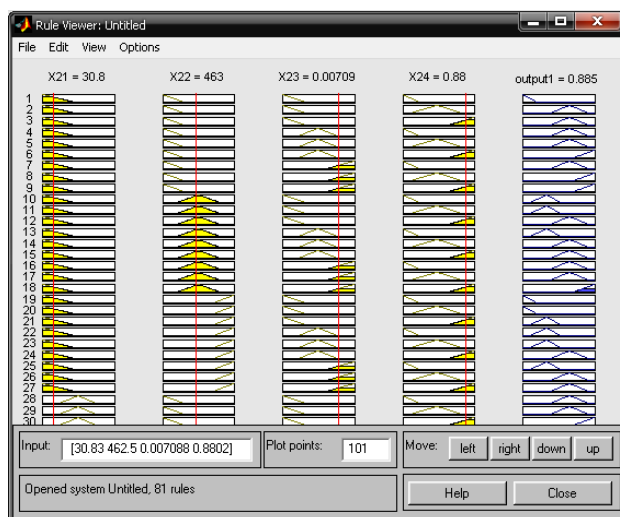


Рис. 3.

Для построения нечеткой модели используется модель Мамдани. Она представляет собой множество правил, где каждое правило задает в указанном пространстве некоторую нечеткую точку. На основе множества нечетких точек формируется нечеткий график. Аналогично задаются правила для расчета нечеткого значения X_3 (рис.4).

```

1. If {X31 is mf1} and {X32 is mf1} then {output1 is mf2} (1)
2. If {X31 is mf1} and {X32 is mf2} then {output1 is mf2} (1)
3. If {X31 is mf1} and {X32 is mf3} then {output1 is mf2} (1)
4. If {X31 is mf1} and {X32 is mf4} then {output1 is mf1} (1)
5. If {X31 is mf2} and {X32 is mf1} then {output1 is mf3} (1)
6. If {X31 is mf2} and {X32 is mf2} then {output1 is mf3} (1)
7. If {X31 is mf2} and {X32 is mf3} then {output1 is mf2} (1)
8. If {X31 is mf2} and {X32 is mf4} then {output1 is mf2} (1)
9. If {X31 is mf3} and {X32 is mf1} then {output1 is mf4} (1)
10. If {X31 is mf3} and {X32 is mf2} then {output1 is mf3} (1)
11. If {X31 is mf3} and {X32 is mf3} then {output1 is mf3} (1)
12. If {X31 is mf3} and {X32 is mf4} then {output1 is mf3} (1)
13. If {X31 is mf4} and {X32 is mf1} then {output1 is mf4} (1)
14. If {X31 is mf4} and {X32 is mf2} then {output1 is mf4} (1)
15. If {X31 is mf4} and {X32 is mf3} then {output1 is mf4} (1)
16. If {X31 is mf4} and {X32 is mf4} then {output1 is mf3} (1)
    
```

Рис. 4.

Для вычисления итоговой переменной Y_2 построим нечеткую базу знаний, основанной на различных сочетаниях значений переменных X_1, X_2, X_3 (рис.5).

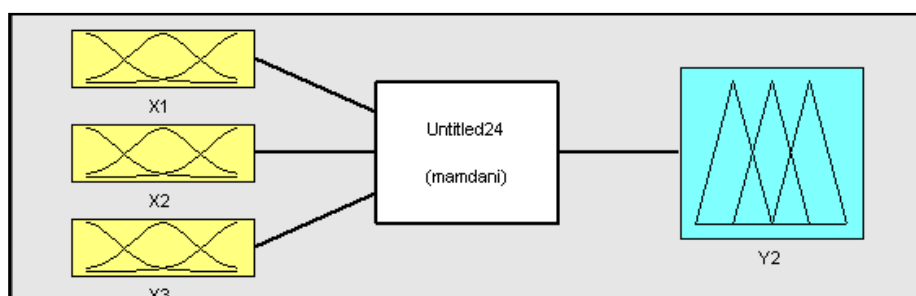


Рис. 5.

С помощью поверхностей нечеткого вывода нетрудно определить какой из составляющих факторов наиболее сильно влияет на переменную Y_2 . На рис. 6 представлено влияние факторов X_2 и X_1 , график практически симметричен, что означает, что влияние факторов X_1, X_2 примерно одинаково, в то время как X_1 оказывает большее влияние на Y_2 в отличие от X_3 (рис.7). Это обусловлено тем, что в действительности экономические факторы в меньшей степени оказывают влияние на порядок выхода газопровода в ремонт.

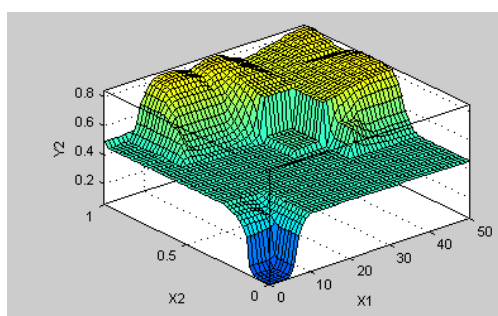


Рис. 6.

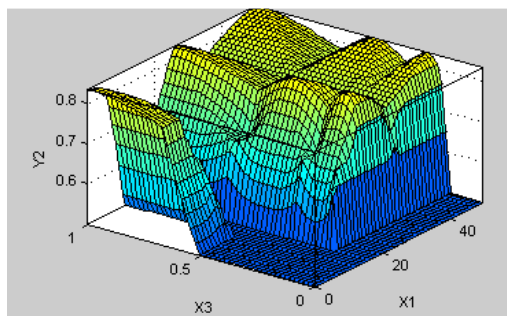


Рис. 7.

Вывод. Подводя итог, можно сказать, что использование теории нечетких множеств в моделировании механических систем практически безгранично. Однако для того, чтобы привести точность моделируемой системы к максимуму, необходимо верно подобрать входные параметры, задать весовые коэффициенты и выбрать функцию принадлежности, которая будет соответствовать изучаемому процессу.

Оценка принимаемых решений является сложным видом деятельности. Особенно, когда принимается решения в условиях неопределённости, на основе данных с размытыми зна-

чениями истинности. Поэтому так важен интеллектуальный анализ знаний и компьютерная поддержка принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов, С.Г. Разработка технологии оценки геоэкологической безопасности газопроводов в условиях возникновения аварийных ситуаций [Текст]: автореф. ... канд. тех.наук: 25.00.36/ С.Г. Павлов.– М.,2009.–24с.

2. Овчинников И.Г., Дворянчиков Н.В. Экспертная диагностика магистральных газопроводов// М. Изд-во «Газ-ойл Пресс сервис» 1996. 78 с.

3. Методические рекомендации по расчетам конструктивной надежности магистральных газопроводов [Электронный ресурс] –М., 1997. – Режим доступа: <http://stroy.databases.ru/Data1/1/1760/index.htm>, – Загл. с экрана. – 2009.

4. Пономарева М.А. К вопросу об оценке критериев безопасности газопровода [Текст]/ М.А. Пономарева // «Техногенная и природная безопасность». Сборник научных трудов Первой Всероссийской научно-практической конференции.- Саратов: ИЦ «Наука», 2011, С.153-158

5. Мамедова, М.Г., Джабраилова, З.Г.: Применение нечеткой логики в демографическом прогнозе. Информационные Технологии 3 (2004) <http://www.informika.ru/windows/magaz/it/2004/03/inftech.html#8>

6. Пономарева М.А. К вопросу о нечетком подходе к оценке риска аварии линейной части магистрального газопровода [Текст] // М.А. Пономарева / Инновации в транспортном строительстве. Безопасность движения. Охрана окружающей среды. Материалы международной научно-практической конференции. – Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2010.

7. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст]/ А. Пегат. - М.: Лаборатория знаний, 2009.- 798с.