



УДК 51.74  
ББК 32.973

## РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НА ОСНОВЕ РИСКА

*И.Г. Овчинников, М.А. Пономарева*

Авторы рассматривают вопрос о необходимости создания инновационной информационной системы, которая позволила бы вовремя реагировать на неполадки, возникающие в линейной части магистрального газопровода, и осуществляла поддержку принятия решения. Для прогнозирования количественных характеристик газопровода используется теория нечетких множеств. В статье построена блок-схема моделирующего алгоритма системы, рассмотрены основные блоки, описан расчет риска, приведены формулы.

**Ключевые слова:** нечеткое множество, риск аварии, функция принадлежности, магистральный газопровод, напряженно-деформированное состояние, система поддержки принятия решений.

Под воздействием окружающей среды при эксплуатации трубопровода возникает риск аварий и других чрезвычайных ситуаций. С учетом того, что в нашей стране возраст более 20 % газопроводов составляет 30 и более лет, необходимо проявлять повышенное внимание к проблемам оценки состояния трасс газопроводов [5].

В настоящее время Газпром ставит перед собой задачу по совершенствованию системы управления состоянием и целостностью линейной части магистральных газопроводов (далее – ЛЧМГ) [2].

Создание информационной системы поддержки принятия решений, которая будет вовремя реагировать на возникающие неполадки в ходе работы газопровода, позволит сократить расходы и уменьшить риск возникновения чрезвычайных ситуаций. Рассматриваемая система должна осуществлять контроль, прогноз и управление при значительной неопределенности информации, управлять самим процессом диагностики и помогать разработчику в процессе принятия самых различных

решений. В задачах диагностики необходимо учитывать все свойства объекта, при этом для увеличения достоверности принимаемого решения нужно использовать комплекс характеристик. Под диагностикой состояния системы будем понимать процесс, при котором на основании имеющихся данных наблюдений и исследований системы определяются несколько наиболее существенных, но недоступных для непосредственного измерения показателей системы, полно характеризующих ее с позиций определенной цели и позволяющих непрерывно следить за переходом системы из начального в интересующее нас состояние [1].

Для разработки системы оценки надежности газопровода необходимо рассмотреть все факторы, влияющие на его техническое состояние. Особенность управления системой трубопроводов в том, что даже незначительное колебание внутритрубногo давления и расходов сверх определенных пределов могут привести к авариям. Даже в простейшем случае состояние газопровода зависит от множества факторов: давления, радиуса трубы, толщины трубы, на которую влияет коррозия и других факторов. Прогнозирование количественных параметров сложных систем является значимой проблемой как на этапе создания таких систем, так и на эта-

пе их последующего функционирования. Задача усложняется, когда решение приходится принимать при использовании информации высокой степени гранулированности. Такая ситуация возникает, например, когда отсутствует возможность получения достаточного объема релевантной информации о прогнозируемых параметрах. При управлении подобными системами приходится ориентироваться на самое неблагоприятное (экстремальное) сочетание факторов и принимать решение в условиях неопределенности.

Поэтому было решено применить теорию нечетких множеств, которая позволяет задать значение исходных параметров в виде нечеткого числа. Методы, базирующиеся на теории нечетких множеств (далее – ТНМ), относятся к методам оценки и принятия решений в условиях неопределенности. Их использование предполагает формализацию исходных параметров и целевых показателей сложной системы в виде вектора интервальных значений (нечеткого интервала), попадание в каждый интервал которого характеризуется некоторой степенью неопределенности. Осуществляя арифметические и другие операции с такими нечеткими интервалами по правилам нечеткой математики, эксперты и лицо, принимающее решение (далее – ЛПР), получают результирующий нечеткий интервал для целевого показателя [4]. 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  $\mu_y(y)$  выходного параметра (показателя эффективности ИП)  $y$  по « $\alpha$ -уровнему принципу обобщения» или «принципу обобщения Заде» [там же].

Построим блок-схему разрабатываемой системы контроля (см. рис. 1). Одним из основных требований к системе контроля является то, что она должна не только описывать состояние системы, но и позволяла бы выявить необходимость и виды воздействия на состояние системы и получить количественные оцен-

ки результатов таких воздействий. Верно обработав исходные данные и имея начальный временной фрагмент, мы можем получить оценку состояния процессов и дать прогноз наиболее вероятного хода этих процессов.

Рассмотрим блок-схему подробнее.

1. **Техническая документация.** В процессе изучения технической документации должна быть получена следующая информация: срок службы газопровода, диаметры и начальная толщина стенки труб газопровода, количество сварных стыков на газопроводах, характеристики примененных при строительстве материалов, арматуры, приборов [6]. Эти данные определяются на этапе проектирования газопровода и остаются неизменными в течение всего времени его эксплуатации.

2. **Визуальный осмотр.** Визуально оценку производят по следующим основным характеристикам эксплуатации газопровода: агрессивность среды, возможность механических повреждений, конденсация влаги на газопроводе, наличие рядом с газопроводом других инженерных коммуникаций [6].

3. **Приборная диагностика.** Приборная диагностика линейной части газопровода обеспечивает оценку текущего технического состояния газопровода. Текущее состояние газопровода определяется следующими основными параметрами: остаточной толщиной стенки труб газопровода, напряженно-деформированным состоянием газопровода, наличием и степенью коррозии металла трубы, качеством сварных стыков газопровода, дефектами тела трубы.

4. Блок «**Анализ данных**» является блоком-условием. Если при визуальном осмотре и приборной диагностике не выявлено повреждений (состояние газопровода сравнивается с заявленным по технической документации), то продолжается эксплуатация газопровода без ограничений. В противном случае необходимо принять решение о целесообразности дальнейшей эксплуатации.

5. **Фазификация данных.** В блоке происходит преобразование исходных данных, представленных четким числом, в нечеткое множество.

6. **Выбор методики расчета  $\sigma$ .** Основным критерием надежности газопровода является его напряженно-деформированное состояние. Расчету напряженного состояния га-

зопроводов с учетом различных повреждений посвящено много исследований. На выбор методики расчета влияют механические характеристики материала труб, кинетика коррозионных процессов, температурные факторы и прочие параметры. Таким образом, в зависимости от множества исходных данных (формы, материала, степени коррозии трубопровода) выбирается методика, по которой будет рассчитано напряженное состояние газопровода. Обозначим предельное напряжение, рассчитанное на этапе проектирования трубопровода  $\sigma_n$  (предельное значение), а напряжение, возникающее в результате эксплуатации  $\sigma_p$  (реальное значение). При этом целесообразно описать предельное состояние газопровода с помощью аппарата нечеткой логики уже на стадии проектирования, так как в процессе эксплуатации эта величина будет изменяться. В то же время реальное напряженно-деформированное состояние будет также нечетким числом, так как влияние всех факторов на газопровод невозможно определить точным чис-

лом. В итоге будет получено два нечетких множества:  $\sigma_n$  и  $\sigma_p$ .

**7. Расчет риска R.** На сегодняшний день нет единого подхода к определению и расчету риска аварии газопровода. Для контроля состояния сложных систем обычно используют процедуру сравнения контролируемого параметра с эталонным или предельным значением. При этом становится возможным констатировать не только выход системы из строя (в данном случае при  $\sigma_p > \sigma_n$ ) или ее отклонение от заданного режима, но и величину близости системы к предельному состоянию или степень отклонения ее от заданной величины. Поскольку понятие «риск» и «степень неопределенности» технического состояния объекта являются тесно связанными понятиями, оценку риска аварии целесообразно осуществлять или на основе логико-вероятностного подхода, базирующегося на теоремах теории вероятностей или методах теории размытых множеств, приемах нечеткой логики и методах принятия решений в условиях неопределенности [3].

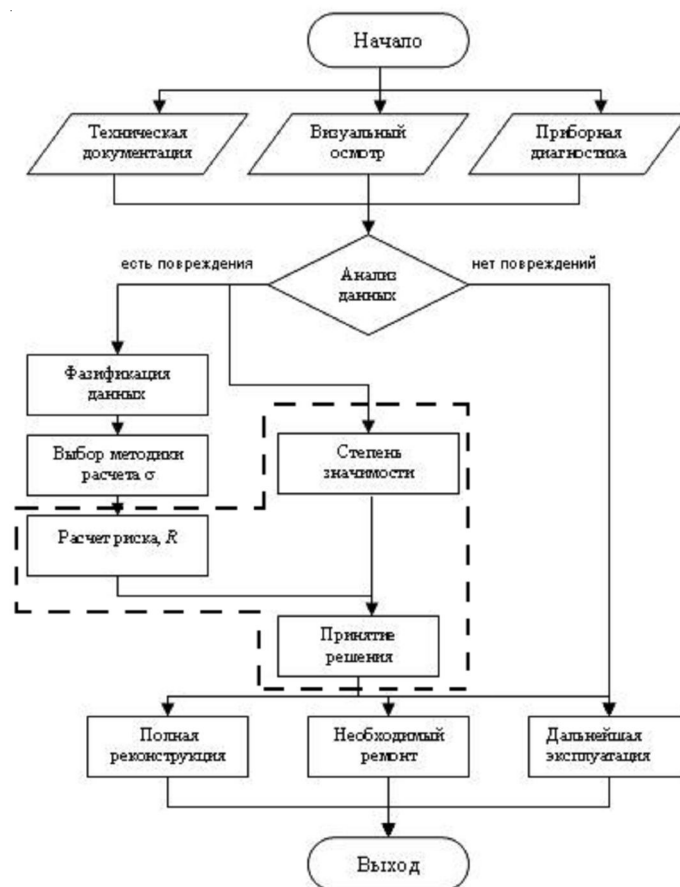


Рис. 1. Структурная схема моделирующего алгоритма системы

8. В блоке «*Степень значимости*» учитываются возможные последствия аварии на газопроводе, такие как масштаб загрязнения окружающей среды, близость к транспортным магистралям, населенным пунктам и т. д. Так как критерии, по которым оценивается степень значимости, не являются однозначными, то каждому из них заданы весовые коэффициенты. Степень значимости проекта находится в диапазоне  $[0, 1]$ , причем единичное значение соответствует тому трубопроводу, авария на котором повлечет более опасные последствия, а нулевое – трубопроводу, авария на котором повлечет минимальные последствия.

9. *Принятие решения.* Окончательный анализ результатов оценки надежности газопровода включает в себя: рассмотрение и оценку реальных условий эксплуатации системы, установление причин образования и развития обнаруженных дефектов и повреждений, степень их влияния на параметры системы внутреннего газоснабжения, оценку параметров технического состояния системы, их соответствие требованиям нормативной и проектной документации. В этом блоке происходит дефазификация входных параметров (превращение нечеткого множества в четкое число) и принимается решение либо о проведении ремонтных работ (от полной реконструкции до исправления небольших дефектов), либо о дальнейшей эксплуатации газопровода.

Система блоков, выделенных пунктиром, собственно, и является разрабатываемой системой. Она имеет: входные параметры «Расчет риска» и «Степень значимости»; базу знаний, содержащую информацию о зависимости между входными и выходными переменными в виде лингвистических правил «Если – то»; блок нечеткого логического вывода, задающий значение выходной переменной в виде нечеткого множества в соответствии с нечеткими значениями входных переменных; дефазификатор, преобразующий выходное нечеткое множество в четкое число; выходной параметр «Принятие решения».

Рассмотрим подробнее один из основных блоков системы «Расчет риска». Риск возникновения аварии с позиции нечетких множеств – это, по мнению авторов, выявление степени риска как геометрической вероятности события попадания точки  $(\sigma_p, \sigma_n)$  в зону предельно-

го напряженно-деформированного состояния газопровода и вычисление на ее основе итогового (интегрального) значения степени риска аварии. Для этого теоретически не требуется знать значения вероятности рискового события. Практически это означает, что в тех случаях, когда вероятность риска неизвестна, недостоверна или не может быть вычислена на основе статистики или свойств системы, то мера риска будет достоверно (и объективно) обозначать измеряемую опасность.

В блоке «Выбор методики расчета  $\sigma$ » были получены два нечетких числа  $\sigma_p$  и  $\sigma_n$ . На рисунке 2 представлены функции принадлежности  $\sigma_p$  и критерияльного значения  $\sigma_n$ .

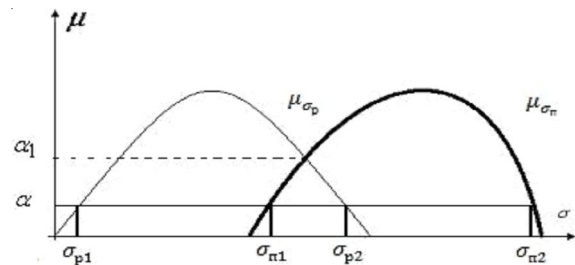


Рис. 2. Соотношение  $\sigma_n$  и  $\sigma_p$

Точкой пересечения этих двух функций принадлежности является точка с ординатой  $\alpha_1$ . Выберем произвольный уровень принадлежности  $\alpha$  и определим соответствующие интервалы  $[\sigma_{p1}, \sigma_{p2}]$  и  $[\sigma_{n1}, \sigma_{n2}]$ . Уровень  $\alpha_1$  уместно назвать верхней границей зоны риска. При  $0 \leq \alpha \leq \alpha_1$  интервалы пересекаются.

Рассмотрим возможные соотношения функций принадлежности  $\sigma_n$  и  $\sigma_p$ .

При соотношении  $\sigma_{p1} \geq \sigma_{n2}$  положение функций принадлежности показано на рисунке 3.

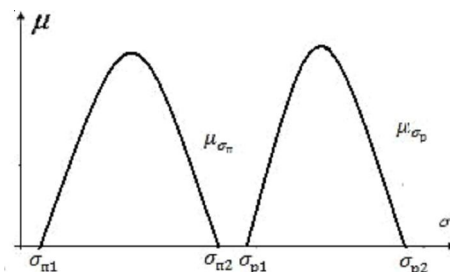


Рис. 3. Соотношение  $\sigma_n$  и  $\sigma_p$

На рисунке 4 выделена зона риска, ограниченная прямыми  $\sigma_n = \sigma_{n1}$ ,  $\sigma_n = \sigma_{n2}$ ,  $\sigma_p = \sigma_{p1}$ ,  $\sigma_p = \sigma_{p2}$  и биссектрисой координатного угла  $\sigma_n = \sigma_p$ .

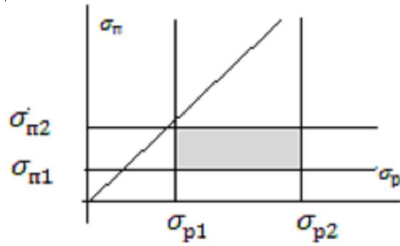


Рис. 4. Зона риска

Взаимные соотношения параметров  $[\sigma_{p1}, \sigma_{p2}]$  и  $[\sigma_{n1}, \sigma_{n2}]$  дают следующий расчет для площади выделенной плоской фигуры:

$$S_a = (s_{p2} - s_{p1})(s_{n2} - s_{n1}). \quad (1)$$

Аналогичным образом рассчитывается площадь зоны риска для других соотношений  $[\sigma_{p1}, \sigma_{p2}]$  и  $[\sigma_{n1}, \sigma_{n2}]$ . Таким образом,

$$S_a = \begin{cases} (s_{p2} - s_{p1})(s_{n2} - s_{n1}), \text{прис } p_1 \leq s_{n2}, \\ (s_{p2} - s_{p1})(s_{n2} - s_{n1}) - \frac{(s_{n2} - s_{p1})^2}{2}, \text{прис } n_2 > s_{p1} \leq s_{n1}, \\ (s_{n2} - s_{n1})(2s_{p2} - 2s_{p1} - s_{n1} + s_{n2}), \text{прис } p_1 < s_{n1}, s_{p2} \leq s_{n2}, \\ \frac{(s_{p2} - s_{n1})^2}{2}, \text{прис } p_1 < s_{n1} \leq s_{p2}, s_{p2} < s_{n2}, \\ 0, \text{прис } p_2 \leq s_{n1} \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку все реализации  $(\sigma_p, \sigma_n)$  при заданном уровне принадлежности  $\alpha$  равновозможны, то степень риска возникновения аварии на газопроводе  $\varphi(\alpha)$  есть геометрическая вероятность события попадания точки  $(\sigma_p, \sigma_n)$  в зону риска:

$$j(a) = S_a (s_{n2} - s_{n1})(s_{p2} - s_{p1}), \quad (3)$$

таким образом,

$$j(a) = \begin{cases} 1, \text{если } s_{p1} \leq s_{n2} \\ \frac{2(s_{n2} - s_{n1})(s_{p2} - s_{p1}) - (s_{n2} - s_{p1})^2}{(s_{n2} - s_{n1})(s_{p2} - s_{p1})}, \text{если } n_2 > s_{p1} \leq s_{n1}, s_{p2} \leq s_{n2} \\ \frac{2s_{p2} - 2s_{p1} - s_{n1} + s_{n2}}{(s_{p2} - s_{p1})}, \text{если } p_1 < s_{n1}, s_{p2} \leq s_{n2} \\ \frac{(s_{p2} - s_{n1})^2}{2(s_{n2} - s_{n1})(s_{p2} - s_{p1})}, \text{если } p_1 < s_{n1} \leq s_{p2}, s_{p2} < s_{n2} \\ 0, \text{если } p_2 \leq s_{n1} \end{cases} \quad (4)$$

Тогда итоговое значение степени риска возникновения аварии:

$$R = \int_0^{a_1} j(a) da. \quad (5)$$

В важном частном случае, когда ограничение  $\sigma_n$  определено четко уровнем  $\sigma_n$ , то предельный переход при  $\sigma_{n1} \rightarrow \sigma_{n2} = \sigma_n$  дает:

$$j(a) = \begin{cases} 1, \text{если } p_1 < s_n \\ \frac{s_{p2} - s_n}{s_{p2} - s_{p1}}, \text{если } p_1 \leq s_n \leq s_{p2} \\ 0, \text{если } p_2 < s_n \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, риск аварии  $R$  принимает значения от 0 до 1. Лицо, принимающее решение, исходя из своих предпочтений, может классифицировать значения  $R$ , выделив для себя отрезок неприемлемых значений риска. В зависимости от полученного значения риска можно говорить о диагностике поведения газопроводной системы и предупреждении аварий. Поэтому при выборе подхода к оценке риска необходимо тщательно исследовать газопроводную систему, возможность получения эмпирических и статистических данных для использования вероятностного подхода, а в случае неточности и неполноты исходных данных целесообразно использовать нечетко-множественный подход для оценки риска аварии.

Создание информационной системы диагностики и оценки надежности линейной части газопровода, основанной на теории нечетких множеств, позволит максимально оперативно реагировать на возникающие неполадки, принимать решение о целесообразности проведения ремонтных работ и тем самым «повысить контроль за надежностью и безопасностью работы газопроводов с одновременной оптимизацией затрат» [2].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алтунин, А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : монография / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень : Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2000. – 352 с.
2. В ООО «Газпром ВНИИГАЗ» открылась III Международная конференция «Актуальные вопросы противокоррозионной защиты». – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа : <http://sunlike77.blox.ua/2009/10/VOOO-Gazprom-VNIIGAZ-otkrylas-III-Mezhdunarodnaya.html>. – Загл. с экрана.
3. Мельчаков, А. П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объек-

тов : учеб. пособие / А. П. Мельчаков. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 49 с.

4. Оценка проектов в условиях неопределенности. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: [http://www.cfin.ru/finanalysis/invest/fuzzy\\_analysis.shtml](http://www.cfin.ru/finanalysis/invest/fuzzy_analysis.shtml). – Загл. с экрана.

5. Павлов, С. Г. Разработка технологии оценки геоэкологической безопасности газопроводов в

условиях возникновения аварийных ситуаций : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.36 / Павлов Сергей Георгиевич. – М., 2009. – 24 с.

6. Положение о диагностировании технического состояния внутренних газопроводов жилых и общественных зданий. – Электрон. текстовые дан. – М. : ГУП ЦПП, 2000. – Режим доступа: <http://runorm.ru/idd.php?line=str-32033>. – Загл. с экрана.

## **THE DEVELOPMENT OF INNOVATION INFORMATION SYSTEM ASSESSES THE RELIABILITY OF THE LINEAR PART OF THE MAIN GAS PIPELINE ON THE BASIS OF RISK**

*I.G. Ovchinnikov, M.A. Ponomareva*

The authors discuss the need for an innovation information system, which allows enough time to respond to problems arising in the linear part of the main gas pipeline and maintains the decision. To predict the quantitative characteristics of the gas used by the theory of fuzzy sets. In this paper authors represent block diagram of the simulation algorithm of the system, describe the basic blocks in detail the calculation of risk and the formulas.

**Key words:** *fuzzy set, risk of accidents, membership function, main gas pipeline, stress-strain state, decision support system.*