

© А.Л. КОЛОСОВА, О.Н. КУЗЯКОВ

kolosova_alla@bk.ru, kuzyaakov@tsogu.ru

УДК 004.94:622.691.4

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В СРЕДЕ MATLAB

АННОТАЦИЯ. В статье представлена методика комплексной оценки развития коррозионных дефектов в магистральных газопроводах на основе системы нечеткого вывода, авторами проведены расчеты по методике и выполнена оценка их результатов.

SUMMARY. The article presents methods of complex estimation of corrosion defects emission in trunk gas pipelines which are based on fuzzy inference system. The authors of the article performed the calculations with the above-mentioned methodology and gave the assessment of the results.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Магистральный газопровод, коррозия, система, нечеткая логика.

KEY WORDS. Trunk gas pipeline, corrosion, system, fuzzy logic.

К настоящему времени разработаны и используются различные способы определения и прогнозирования развития коррозионных дефектов магистральных газопроводов (МГ) [1], [2]. Недостатком таких методов является то, что судить о состоянии газопроводной трубы предлагается посредством измерения и оценки одного или нескольких связанных параметров, что в конечном итоге дает одностороннюю и далеко не полную информацию о протекании разрушающих процессов в газопроводе.

При широких возможностях диагностики и оценки различных разрушающих и деформирующих факторов, действующих на газопровод, возникает необходимость объединения их в комплексную систему обнаружения и прогнозирования скорости коррозии труб МГ [3]. Понятно, что создание такой системы вызывает ряд трудностей при оценке влияния каждого из действующих факторов на скорость коррозионных процессов, связанности влияния факторов, а также определении состава влияющих факторов.

Известна методика решения задачи определения скорости протекания коррозионных процессов в МГ, описывающая многофункциональное воздействие грунта на газопровод [1]. Методика основана на математической модели, функционально описывающей проранжированные участки газопровода по степени их коррозионной опасности.

Каждый переменный фактор k_i можно численно оценить для учета степени его влияния на потенциально прогнозируемую скорость коррозии. Понятно, что численная величина будет лишь с некоторой долей вероятности отражать реальный вес любого из факторов. В этом случае было бы целесообразно воспользоваться такими методами оценки, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных. В связи с этим для оценки влияния всех указанных факторов на потенциально

прогнозируемую скорость коррозии предлагается создать нечеткую модель на основе системы нечеткого вывода.

При разработке методики комплексной оценки протекания коррозионных процессов в МГ ставилась задача оценки влияния всего спектра разрушающих и деформирующих факторов, действующих на МГ, с учетом неточности любых численных оценок этого влияния. Такими существенными факторами являются:

- 1) срок эксплуатации газопровода;
- 2) уровень напряжений в стенках газопровода;
- 3) степень анаэробности грунта;
- 4) удельное электрическое сопротивление грунта;
- 5) качество марки стали;
- 6) ионная сила грунтовой влаги;
- 7) окислительно-восстановительный потенциал грунта (редокс-потенциал);
- 8) средняя плотность катодного тока;
- 9) уровень рН грунта;
- 10) влажность грунта.

Эти данные могут быть получены из проектной документации на магистральные газопроводы, посредством проведения полевых исследований, получения данных от датчиков, станций электрохимической защиты МГ, а также за счет выполнения математических вычислений от измеренных значений косвенных факторов.

Выходным параметром служит оценка потенциально прогнозируемой скорости коррозии $V_{корр}$, которая является основой для дальнейших оценок технического ресурса газопровода и принятия решений по эксплуатации и срокам его ремонта.

С целью устранения влияния неполноты и неточности исходной информации анализ полученных данных осуществляется методами нечеткого моделирования с использованием возможностей среды MATLAB [4-7].

Функциональная схема системы нечеткого моделирования представлена на рис. 1.

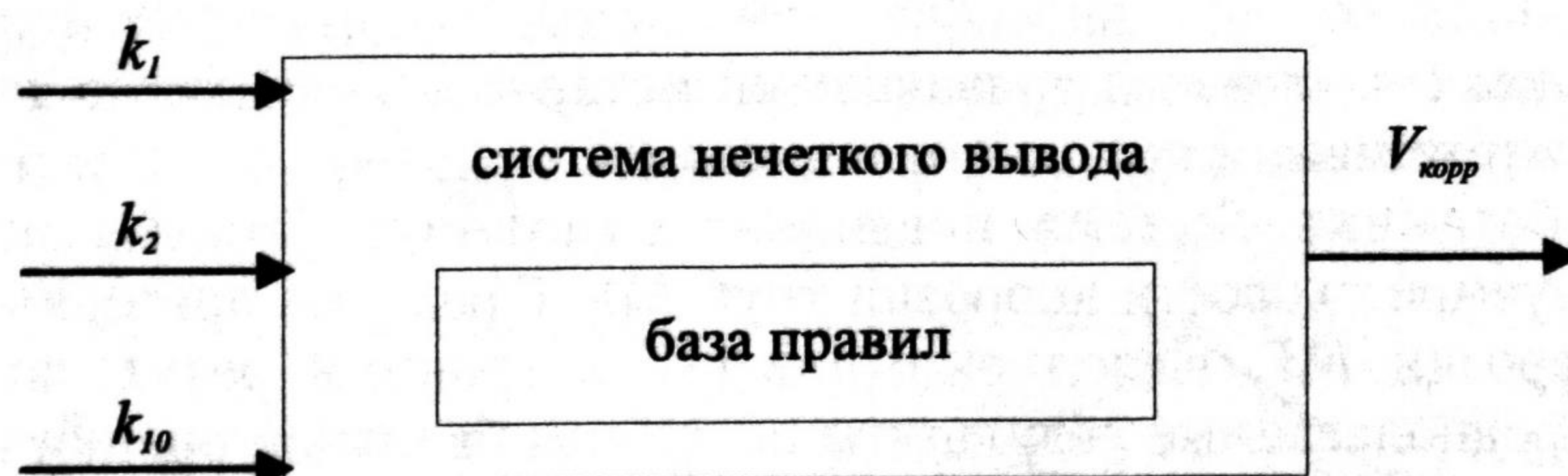


Рис. 1. Функциональная схема системы нечеткого вывода

Система организует нечеткий вывод, который может быть представлен в следующем виде:

Знание: «Если K_i есть A_i , то Y есть B »

Факт: « K_i есть A_i' »

Вывод: « Y есть B' »

Таким образом, изначально известны конкретные значения всех входных переменных, то есть множество значений

$$K' = \{k_1, k_2, \dots, k_{10}\}, k_{10} \in X_i,$$

где X_i — область определения лингвистической переменной K_i .

При этом A_i — нечеткое множество на X с известной функцией принадлежности $\mu(x)$. То есть $A_i = \{k_i; \mu(x)\}$. При этом значение k_i используется в качестве аргумента $\mu(x)$, тем самым находится количественное значение $b_i = \mu(k_i)$, которое и является результатом фаззификации подусловия « K_i есть A_i ».

Если условие состоит из нескольких подусловий, то определяется степень истинности сложного высказывания на основе известных значений истинности подусловий. Этот этап нечеткого вывода называется агрегированием.

Активация — процедура нахождения истинности каждого из подзаключений базы правил. В данном случае степень истинности подзаключения « Y есть B » каждого правила равна соответствующему значению истинности условия, определенного на этапе агрегирования. Этап активации считается законченным, когда определены значения истинности для выходной переменной $V_{корр}$ в каждом из правил нечетких продукций.

Следующим этапом нечеткого вывода является аккумуляция, которая представляет собой процедуру нахождения функции принадлежности выходной переменной $V_{корр}$. До начала этого этапа предполагаются известными значения истинности всех подзаключений, входящих в базу правил системы нечеткого вывода. Аккумуляция осуществляется как объединение нечетких множеств C_1, C_2, \dots, C_q , где q — количество подзаключений в базе правил:

$$\mu(V_{корр}) = C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_q.$$

Дефаззификация в системах нечеткого вывода представляет собой процедуру нахождения значения (не нечеткого) выходной переменной. Будем использовать метод центра тяжести, который основывается на формуле:

$$B' = \frac{\int_{\min}^{\max} V_{корр} \mu(V_{корр}) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(V_{корр}) dx},$$

где \min и \max — левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества рассматриваемой выходной переменной $V_{корр}$.

Разработанная система позволяет выполнить расчеты потенциально-прогнозируемой скорости коррозии труб МГ. Проведем повторный расчет скорости коррозии МГ, выполненный в [1], и сравним результаты. Исходные данные, предполагаемые результаты по итогам балльной оценки и полученные расчетные значения потенциально-прогнозируемой скорости коррозии по двум альтернативным методикам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет потенциально прогнозируемой скорости коррозии по двум альтернативным методикам

№ участка	1	2	3	4	5	6
Возраст, лет	20	20	20	20	20	20
Литология	торф + ожелезенная супесь	ожелезенная супесь	ожелезенная супесь	ожелезенная супесь	торф	торф + суглинок
Удел. эл. сопр. грунта, Ом·м	28	38	52	35	30	24

Окончание табл. 1

Влажность, %	18	20	26	28	25	12	
Марка стали	17 Г1С	17 Г2СФ	17 Г2СФ + 17 Г1С	17 Г1С	17 Г2СФ	17 Г1С	
Ионный состав, мг/кг	Cl ⁻	300	400	220	145	320	110
	SO ₄ ⁻²	150	100	80	25	100	50
	общ. щелочь	250	350	145	80	120	180
Редокс-потенциал	0,25	0,45	0,27	0,20	0,47	0,23	
Коэфф. потенциала защиты	0,0028	0,0018	0,0014	0,0017	0,0017	0,0016	
pH	8	8	6,4	6,1	7,1	6,7	
Коррозионная активность грунта, сумма баллов	средняя 7	слабая 4	средняя 7	средняя 7	средняя 9	средняя 7	
Скорость коррозии (методика [1]), мм/год	0,25	0,24	0,22	0,24	0,36	0,22	
Скорость коррозии (нечеткая модель), мм/год	0,281	0,253	0,275	0,272	0,449	0,277	

Результаты расчетов представлены в графическом виде на рис. 2. Как видно из графика, полученные по разработанной методике результаты точнее отражают полученные до проведения расчетов балльные оценки коррозионной активности грунта. Это может быть связано с тем, что при расчетах по методике [1] использовался диапазон параметров для оценки скорости коррозии труб МГ, отличный от диапазона параметров, принятого при проведении балльных оценок. В частности, не учитывались такие показатели, как влажность грунта и уровень грунтовых вод, зато были приняты во внимание марка стали, редокс-потенциал грунта, потенциал защиты трубопровода. При создании методики расчета на основе системы нечеткого вывода учитывался более широкий диапазон параметров, что привело к коррекции результатов вычислений.

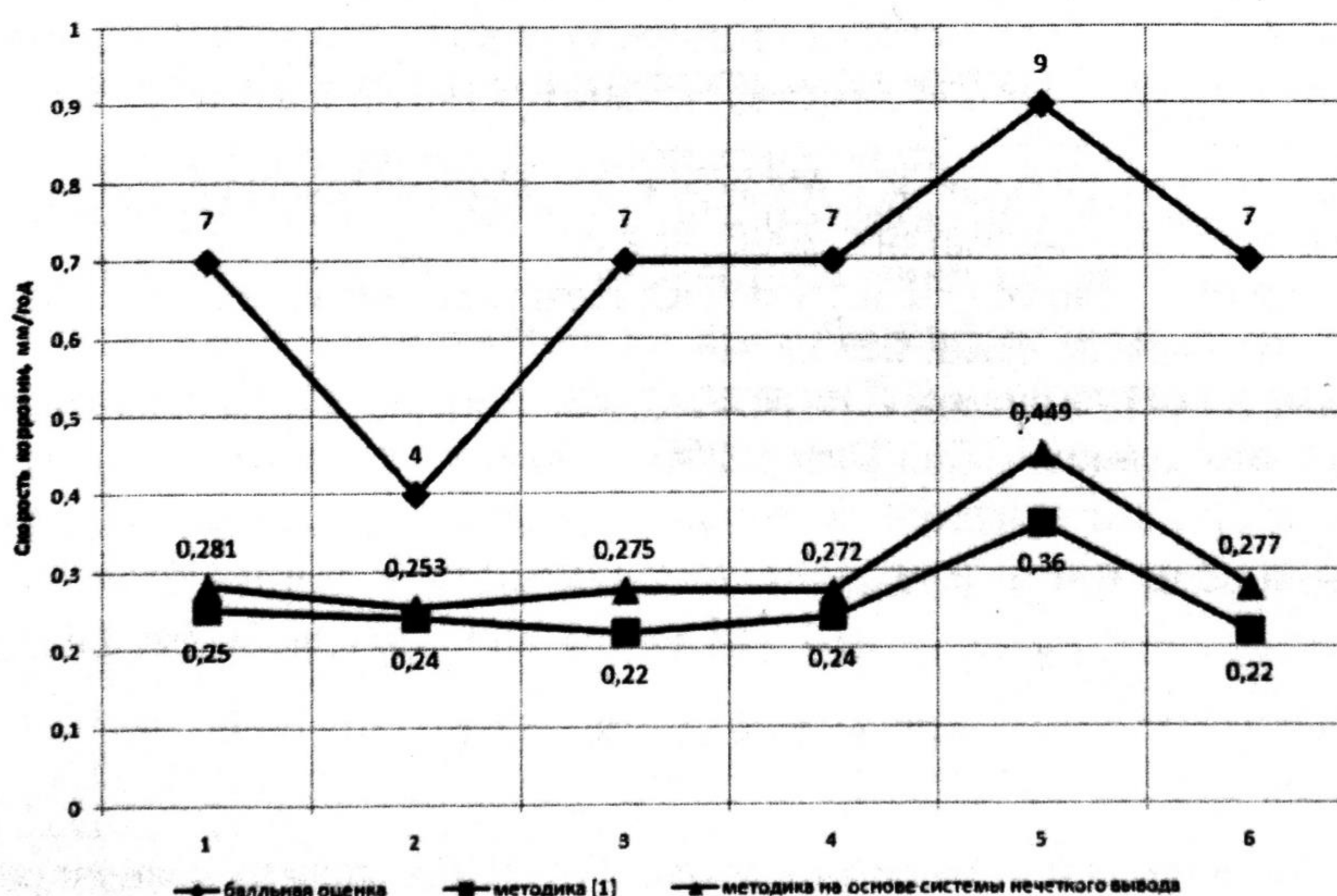


Рис. 2. Результаты расчетов потенциально прогнозируемой скорости коррозии по двум альтернативным методикам

Отклонение результатов вычислений по разработанной методике от полученных по методике [1] в сторону коррекции к ожидаемой скорости коррозии приведены в табл. 2.

Как видно из сравнения результатов вычислений, оценки величины потенциально-прогнозируемой скорости коррозии по разработанной методике на основе системы нечеткого вывода выше, так как в расчетах были учтены дополнительные параметры, влияние которых привело к коррекции результатов. Подобная коррекция рассматривается как уточнение результатов, поскольку они лучше коррелируют с полученными предварительными балльными оценками скорости коррозии.

Таблица 2

Отклонение результатов расчетов по методике на основе системы нечеткого вывода от результатов расчетов по методике [1]

	1	2	3	4	5	6
Абсолютная погрешность, мм/год	0,031	0,013	0,055	0,032	0,089	0,057
Относительная погрешность, %	12,4	5,41	25	13,33	24,72	25,91

Для более тонкой настройки построенной нечеткой модели возможно уточнение оценок отдельных количественных значений входных и выходной переменной. Такие оценки зависят от конкретного случая прокладки газопровода и могут подстраиваться в процессе его эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплинский Ю.А., Быков И.Ю. Управление эксплуатационной надежностью магистральных газопроводов. М.: Нефть и газ, 2007. 400 с.
2. Харионовский В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. М.: Недра, 2000. 467 с.
3. Corrosion Monitoring And Simulation Using SCADA//Pipeline & Gaz Journal. 2008. №3. С. 24-28.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 236 с.
5. Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. Математические принципы нечеткой логики. пер с англ. М.: Физматлит, 2006. 352 с.
6. Круглов В.В., Дли М.И. Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2001. 221 с.
7. Дьяконов А.П., Круглов В.В. MATLAB. Математические пакеты расширения. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. 480 с.