

УДК 004.896

**О.Е. ФЕДОРОВИЧ, А.В. ПРОХОРОВ, К.В. ГОЛОВАНЬ**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ**

Рассмотрены перспективы перехода от традиционных систем анализа данных к системам, основанным на знаниях. Показаны перспективы использования гибридных моделей представления знаний и механизмы взаимодействия между продукционной и фреймовой моделями. Приведен пример логического вывода на продукциях для решения задачи нахождения оптимального потенциала «труба – земля» при заданных внешних условиях.

**интегрированные экспертные системы принятия решений, модели представления знаний, гибридные модели, продукционно-фреймовая модель, механизмы логического вывода**

### **Введение**

Для интеграции Украины в западноевропейскую газотранспортную систему необходимо выполнить требования, связанные с обеспечением надежности магистральных газопроводов. Сама по себе диагностика параметров электрохимической защиты (ЭХЗ), без систематизации данных и их анализа в комплексе с паспортными данными газопровода, не позволяет получить полной картины о его реальном состоянии, ведь результаты обследования газопровода – это информация о тысячах дефектов, которые нужно классифицировать по степени опасности, определиться со сроками и методами ремонта каждой группы дефектов, определить их действительное местонахождение непосредственно на трубопроводе, выполнить ремонт и внести изменения в паспорт газопровода для получения реальной картины его технического состояния после ремонта. Традиционные методы работы с результатами мониторинга параметров ЭХЗ явно не могут обеспечить быструю и качественную обработку таких больших объемов информации, что усложняет принятие подразделениями, эксплуатирующими газопроводы, адекватных технических решений. Как следствие – снижаются темпы и эффективность выполнения

ремонтных работ. К этому необходимо добавить и проблему физического износа и утраты архивных данных, хранящихся, как правило, в бумажном виде. Отказы и аварийные ситуации, возникающие все чаще и чаще, требуют экстренного и квалифицированного реагирования [1, 2].

В связи с этим, в настоящее время в газотранспортной отрасли проводится комплексная автоматизация управления процессами электрохимической защиты газопроводов от коррозии. Внедрение автоматизированных систем управления позволило получать оперативную информацию о состоянии газопроводов и принимать своевременные управленческие решения. Однако, для принятия адекватного решения необходимо учитывать значительное количество параметров (тип грунта в районе прокладки газопровода, состояние изоляционного покрытия, повреждения газопровода, наличие блуждающих токов, водорастворимых солей, концентрацию бактерий и др.). Принятие решений в таких условиях требует постоянного привлечения квалифицированных специалистов – экспертов и является трудоемким и длительным процессом. Вместе с тем оперативность принятия решений является одним из главных требований, предъявляемых к управлению в газотранспортной отрасли.

Таким образом, *актуальным* является переход от традиционных систем, основанных на анализе данных, к системам, основанным на знаниях специалистов – экспертным системам (ЭС). Интеграция и использование ЭС в АСУ позволяет не просто добиться некоторого усовершенствования, а получить существенное повышение эффективности управления за счет перехода к динамичным моделям процессов электрохимической защиты, распознаванию ситуаций, адаптивности к изменениям внешней среды и построения иерархических систем управления с поддержкой принятия решений.

### Интеллектуальное управление процессами ЭХЗ газопроводов от коррозии

На рис. 1 представлена структура интеллектуальной АСУ процессами ЭХЗ газопроводов от коррозии.

В традиционной АСУ процессами ЭХЗ информация о состоянии газопровода по информационным каналам (локальной сети, телефонной линии связи, GSM-связи, радиосвязи) передается на автоматизированное рабочее место (АРМ) линейно-производственного управления (ЛПУ). АРМ-ЛПУ передает информацию на центральный сервер, который реализован на базе одной из популярных СУБД (Oracle, SQL Server, Sybase, Informix, DB2). В таких системах центральный сервер располагается, как правило, на региональном (АРМ управления магистральными газопроводами (УМГ)) либо на административном (АРМ центра) уровне.

Объектами дистанционного управления в такой автоматизированной системе являются катодные преобразователи (КП). Связь между КП и АРМ-ЛПУ происходит при помощи специальных блоков дистанционного контроля и регулирования (БДКР) по определенному заранее протоколу.

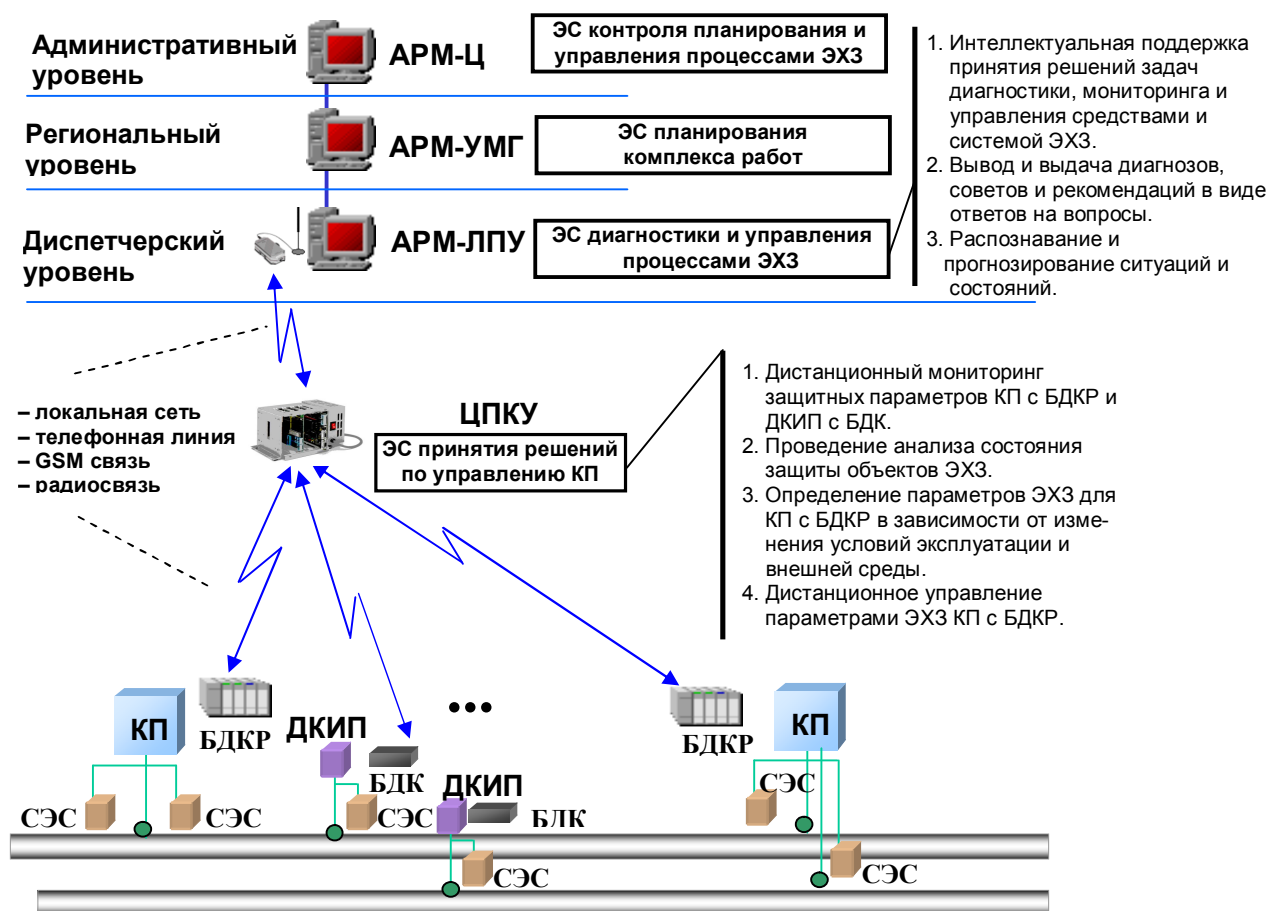


Рис. 1. АСУ процессами ЭХЗ газопроводов от коррозии

Объектами дистанционного мониторинга в системе являются КП и дистанционные контрольно-измерительные пункты (ДКИП). Связь между ДКИП и АРМ-ЛПУ происходит при помощи специальных блоков дистанционного контроля (БДК) по определенному заранее протоколу.

Информация о значениях потенциалов «труба-земля» и поляризованного снимается с газопровода при помощи стационарных электродов сравнения (СЭС) и является определяющей для принятия решения.

Решение по управлению параметрами (защитным током, напряжением либо потенциалом) в таких системах принимается экспертом на диспетчерском уровне.

При переходе к интеллектуальному управлению процессами ЭХЗ в системе предполагается добавление нового элемента – центрального пункта контроля и управления (ЦПКУ) (рис. 1). ЦПКУ осуществляет принятие и исполнение решений по управлению КП, за счет интегрированной в него экспертной системы. В интеллектуальной АСУ процессами ЭХЗ предполагается внедрение ЭС на всех уровнях управления, однако данная работа предполагает рассмотрение ЭС уровня ЦПКУ и ЛПУ. Задачи, решаемые каждой из ЭС, приведены на рис. 1.

### Разработка моделей знаний для ЭС уровня ЦПКУ и ЛПУ

В настоящее время наиболее перспективным направлением при выборе рациональной модели представления знаний (МПЗ) является использование так называемых гибридных моделей, сочетающих в себе достоинства основных МПЗ. Таким образом, во-первых, появляется возможность использования в интеллектуальной системе максимально широкого спектра экспертных знаний о предметной области, а, во-вторых, возможно организовать взаимообмен знаниями между различными модулями интеллектуальной системы, использующими различные парадигмы представления и получения экспертных зна-

ний [3]. В работе предлагается использование продукционно-фреймового представления знаний, в котором статические знания о предметной области представляются в виде фреймовой иерархии, а в качестве динамических знаний о переходах между состояниями используются продукционные системы прямого и обратного вывода, сгруппированные вокруг соответствующих фреймов и слотов [4]. Фрейм рассматривается как набор слотов, каждый из которых может содержать значение заранее определенного или произвольного типа. При обращении к некоторому слоту фрейма может вызываться процедура (модуль) нахождения значения слота. В системе предполагается использование трех типов модулей: расчетные, логические и расчетно-логические.

Логический модуль предполагает использование механизма логического вывода на продукциях для получения значения соответствующего слота.

Рассмотрим фрагменты модели знаний ЭС принятия решений по управлению КП. Одной из основных задач такой ЭС является определение оптимального значения защитного потенциала с омической составляющей («труба-земля») для электрода сравнения. Основным критерием для нахождения оптимального потенциала «труба-земля» является информация о наличии блуждающих токов. При этом потенциал «труба-земля» должен быть близким к минимально допустимому, иначе может возникнуть опасность водородного охрупчивания трубы под напряжением. В случае, если потенциал становится меньше минимально допустимого, происходит коррозия. На рис. 2 показаны зоны «недостаточная защита», «водородное охрупчивание» и зоны «опт. 1» – оптимальное значение потенциала при отсутствии блуждающих токов и «опт. 2» – оптимальное значение потенциала при наличии блуждающих токов [5].

Формализовано правила определения оптимального потенциала «труба-земля» запишем в виде:

1.1 **ЕСЛИ** Возм\_Бл\_Токи  $\Rightarrow$   
EL\_POTENTIAL\_OPTIMAL=MIN\_ZP\_O – 0,1 В

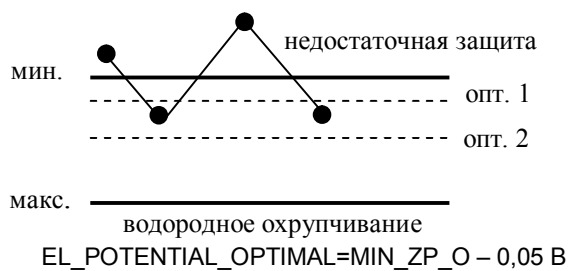
1.2 ЕСЛИ НЕ Возм\_Бл\_Токи  $\Rightarrow$ 

Рис.2. Определение оптимального потенциала

Продукционные правила нахождения оптимального потенциала «труба–земля» относятся к слоту «Оптимальный\_потенциал» фрейма «Электрод сравнения».

Из правил 1.1 и 1.2 видно, что для нахождения оптимального потенциала «труба земля» необходимо найти значение минимального защитного потенциала ( $Min\_ZP\_O$ ).  $Min\_ZP\_O$  является значением слота «Минимальный\_потенциал» фрейма «Электрод сравнения». Его вычисление также происходит при помощи логического модуля, содержащего следующую систему продукций:

- 2.1 ЕСЛИ  $T_{газа} \leq 40^{\circ}C$  И ( $\rho \geq 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  ИЛИ  $ВРС \leq 1 \text{ г/1кг}$  грунта)  $\Rightarrow Min\_ZP\_O = -0,9 \text{ В}$   
 2.2 ЕСЛИ  $T_{газа} \leq 40^{\circ}C$  И ( $\rho < 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  И  $ВРС > 1 \text{ г/1кг}$  грунта)  $\Rightarrow Min\_ZP\_O = -0,95 \text{ В}$   
 2.3 ЕСЛИ  $T_{газа} > 40^{\circ}C$  И  $T_{газа} \leq 60^{\circ}C$  И (Возм\_МБК ИЛИ Возм\_Бл\_Токи ИЛИ  $\rho \geq 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  ИЛИ  $ВРС > 1 \text{ г/1кг}$  грунта)  $\Rightarrow Min\_ZP\_O = -1,0 \text{ В}$   
 2.4 ЕСЛИ  $T_{газа} > 40^{\circ}C$  И  $T_{газа} \leq 60^{\circ}C$  И (НЕ Возм\_МБК И НЕ Возм\_Бл\_Токи И  $\rho < 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  И  $ВРС \leq 1 \text{ г/1кг}$  грунта)  $\Rightarrow Min\_ZP\_O = -1,05 \text{ В}$   
 2.5 ЕСЛИ  $T_{газа} > 60^{\circ}C$  И  $T_{газа} \leq 80^{\circ}C \Rightarrow Min\_ZP\_O = -1,1 \text{ В}$   
 2.6 ЕСЛИ  $T_{газа} > 80^{\circ}C \Rightarrow Min\_ZP\_O = -1,2 \text{ В}$ ,

где  $T_{газа}$  – температура газа,  $\rho$  – удельное сопротивление грунта,  $ВРС$  – концентрация водорастворимых солей, Возм\_МБК – возможность микробиологической коррозии.

Возможность наличия блуждающих токов определяется системой продукций:

- 3.1 ЕСЛИ (Тип\_Перехода='Силовой кабель') ИЛИ (Тип\_Перехода='ЛЭП') ИЛИ (Тип\_Перехода='Трамвайный путь') ИЛИ (Тип\_Перехода='Переход ж/д')  $\Rightarrow$  Возм\_Бл\_Токи  
 3.2 ЕСЛИ (НЕ Тип\_Перехода='Силовой кабель') И (НЕ Тип\_Перехода='ЛЭП') И (НЕ Тип\_Перехода='Трамвайный путь') И (НЕ Тип\_Перехода='Переход ж/д')  $\Rightarrow$  НЕ

Возм\_Бл\_Токи.

Возможность микробиологической коррозии определяется системой продукций:

- 4.1 ЕСЛИ (Наличие\_бактерий=True) И (Количество\_бактерий  $\geq 10\,000 \text{ ед./м}^2$ )  $\Rightarrow$  Возм\_МБК  
 4.2 ЕСЛИ (Наличие\_бактерий=False) ИЛИ (Количество\_бактерий  $< 10\,000 \text{ ед./м}^2$ )  $\Rightarrow$  НЕ Возм\_МБК.

Наличие бактерий определяется системой продукций:

- 5.1 ЕСЛИ (Тип\_Грунта='Торфяной')  $\Rightarrow$  Наличие\_бактерий=False  
 5.2 ЕСЛИ (Тип\_Грунта='Черноземный')  $\Rightarrow$  Наличие\_бактерий=False  
 ....

Температура газа определяется на основе расчетного модуля по формуле

$$T_{газа} = T_1 - l/L(T_1 - T_2)$$

где  $L$  – длина участка между компрессорными станциями (КС);  $l$  – длина участка от КС до точки измерения,  $T_1$  и  $T_2$  – температура газа на выходе из предыдущей КС и на входе в следующую КС соответственно.

Пусть в базе фактов экспертной системы имеется следующий набор фактов: длина участка между КС – 20 км; длина участка от КС до точки измерения – 10 км; температура газа на выходе из предыдущей КС и на входе в следующую КС соответственно 80 и 20°C. Тип грунта в районе прокладки газопровода – торфяной, тип перехода через газопровод – луг. В табл. 1 приведено содержимое рабочей памяти системы на каждом шаге логического вывода, конфликтное множество правил и номер активизируемого правила. Для разрешения конфликтов в системе предусмотрены следующие механизмы:

- выбор первой продукции (поиск в ширину);
- выбор последней продукции (поиск в глубину);
- выбор наиболее часто используемой продукции;
- выбор продукции с наиболее длинным условием;
- выбор продукции согласно приоритету;
- выбор продукции на основании метаправил.

В примере использован поиск в ширину.

Таблица 1

Пример реализации логического вывода на продукциях для определения оптимального защитного потенциала «труба–земля»

№ шага	Рабочая память	Конфликтное множество	Активизируемое правило
0	L=20 км; l=10 км; T1=80°C; T2=20°C; Тип_грунта='Торфяной'; Тип_Перехода = 'Луг'	-	-
1	Tгаза=50°C; Тип_грунта='Торфяной'; Тип_Перехода = 'Луг'	3,2; 5,1	3,2
2	Tгаза=50°C; Тип_грунта='Торфяной'; Тип_Перехода = 'Луг'; НЕ Возм_Бл_Токи	5,1; 1,2	5,1
3	Tгаза=50°C; Тип_грунта='Торфяной'; Тип_Перехода = 'Луг'; НЕ Возм_Бл_Токи; Наличие_бактерий=False; ρ=5 Ом*м; ВРС<=1г/1кг	4,2; 1,2	4,2
4	Tгаза=50°C; Тип_грунта='Торфяной'; Тип_Перехода = 'Луг'; НЕ Возм_Бл_Токи; Наличие_бактерий=False; ρ=5 Ом*м; ВРС<=1г/1кг; НЕ Возм_МБК	2,4; 1,2	2,4
5	Tгаза=50°C; Тип_грунта='Торфяной'; Тип_Перехода = 'Луг'; НЕ Возм_Бл_Токи; Наличие_бактерий=False; ρ=5 Ом*м; ВРС<=1г/1кг; НЕ Возм_МБК; Min_ZP_O= - 1,05 В	1,2	1,2
6	Tгаза=50°C; Тип_грунта='Торфяной'; Тип_Перехода = 'Луг'; НЕ Возм_Бл_Токи; Наличие_бактерий=False; ρ=5 Ом*м; ВРС<=1г/1кг; НЕ Возм_МБК; Min_ZP_O= - 1,05 В; <b>EI_Potential_optimal= - 1,1 В</b>	-	-

### Заключение

В работе на примере АСУ ЭХЗ показаны основные преимущества перехода от традиционных систем, основанных на анализе данных, к системам, основанным на знаниях. Рассмотрены основные достоинства гибридных МПЗ и механизмы взаимодействия между фреймами и продукционными системами. Приведены фрагменты продукционно-фреймовой модели знаний, используемой для анализа состояния защиты объектов ЭХЗ, распознавания и прогнозирования ситуаций и выдачи управляющих воздействий. Приведен пример логического вывода на продукциях для решения задачи нахождения оптимального потенциала «труба-земля» при заданных внешних условиях.

### Литература

1. Тычкин И.А. Обеспечение эффективной противокоррозионной защиты и диагностики коррозии

с использованием систем коррозионного мониторинга. – М.: ИРЦ Газпром, 2000. – С. 7 – 10.

2. ДСТУ 3626-97. Базові програмно-технічні комплекси локального рівня для розосереджених автоматизованих систем керування технологічними процесами. Загальні вимоги.

3. Попов Э.В. Экспертные системы реального времени // Открытые системы. – 1995. – № 2. – С. 41 – 48.

4. Сошников Д.В. Построение распределенных интеллектуальных систем на основе распределенной фреймовой иерархии // Информационные технологии в образовании. Тез. докл. – Шахты. – 2001.

5. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії.

Поступила в редакцию 27.04.05

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Э.Г. Петров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.