УДК 004.891.3

СИТУАЦИОННО-ФРЕЙМОВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ УТЕЧЕК ПРИРОДНОГО ГАЗА

Лытаев Е.П.

ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, e-mail: evgeny_lytaev@yahoo.com

Настоящая статья посвящена повышению эффективности диагностирования газораспределительных сетей на предмет возникновения неучтенного газа (утечек) при его транспортировке. На основании данного аспекта выявлена необходимость определения значимости факторов, влияющих на возникновение утечек природного газа. Определение значимости факторов возникновения утечек и неучтенного газа происходит путем организации и проведения экспертного опроса, а также оценки меры согласованности мнений экспертов. Рассмотрены не только виды факторов, влияющих на возникновение неучтенного газа, но и произведен расчет оценки их значимости, представленный в виде диаграммы весов факторов модели возникновения утечек и неучтенного газа. Выделенные механизмы формирования ситуационно-фреймовой модели позволили описать границы возможных отклонений факторов рассмотренной модели. Интерпретация результатов представлена в виде теоретико-множественной и ситуационно-фреймовой моделей.

Ключевые слова: газораспределительная сеть, неучтенный газ (утечки), экспертный опрос, коэффициент конкордации, теоретико-множественная модель

SITUATIONAL AND FRAME MODEL FOR IDENTIFICATION OF THE REASONS OF EMERGENCE OF LEAK OF NATURAL GAS

Lytaev E.P.

FGBOU VPO «Astrakhan state technical university», Astrakhan, e-mail: evgeny_lytaev@yahoo.com

The present article is devoted to increase of efficiency of diagnosing of gas-distributing networks regarding emergence of unaccounted gas (leaks) at its transportation. On the basis of this aspect need of determination of the importance of the factors influencing emergence of leak of natural gas is revealed. Determination of the importance of factors of emergence of leaks and unaccounted gas happens by the organization and carrying out expert poll and also an assessment of a measure of coherence of opinions of experts. Are considered not only types of the factors influencing emergence of unaccounted gas but also calculation of an assessment of their importance presented in the form of the chart of scales of factors of model of emergence of leaks and unaccounted gas is made. The allocated mechanisms of formation of situational and frame model allowed to describe borders of possible deviations of factors of the considered model. Interpretation of results it is presented in the form set-theoretic and situational and frame models.

Keywords: gas-distributing network, unaccounted gas (leaks), expert poll, konkordation coefficient, set-theoretic model

На основе анализа аварийности, технологических нарушений при транспортировке газа и аналитического обзора вопросов технического диагностирования в работе [3] поставлена задача повышения эффективности диагностирования газораспределительных сетей на предмет возникновения неучтенного газа (утечек) при его транспортировке. На основании данного аспекта выявлена необходимость определения значимости факторов [2], влияющих на возникновение утечек природного газа.

Постановка задачи. Цель работы – организация и проведение экспертного опроса [4] для выявления значимости факторов возникновения утечек и неучтенного газа, а также оценка меры согласованности мнений экспертов. Интерпретацию результатов требуется представить в виде теоретико-множественной и ситуационно-фреймовой моделях.

На основании природы возникновения, в результате системного анализа процесса транспортировки газа и изучения измерений расхода, количества и учета природного газа [3], все факторы были условно разделены на три группы: утечки газа из газопроводов и сооружений на них; утечки, зависящие от физико-технических свойств газа и окружающей среды, неучтенный газ, зависящий от состояния учета [2].

Организация и проведение экспертного опроса

Экспертная группа составлена из 5 экспертов, принципиальное значение при выборе экспертов имели следующие факторы: опыт работы, компетентность, объективность. Каждый из экспертов имеет стаж работы в организациях, связанных с транспортировкой газа, более 5 лет, является высококвалифицированным специалистом оперативно-диспетчерских и аварийных служб линейно-промысловых управлений магистральных газопроводов.

В качестве формы опроса использован опросный лист. С целью обеспечения независимости оценок исключено взаимовлияние экспертов и снижено воздействие посторонних факторов. Работа организована таким образом, что эксперт находился в привычной для него обстановке, при отсутствии влияния на оценку других лиц [5].

На основании имеющейся информации синтезирована диаграмма «Количество неучтенного газа», представленная в [3] и объединяющая факторы, возникающие в каждой из групп. С помощью диаграммы экспертам предлагалось оценить степень возможности возникновения каждого из факторов в своей группе с помощью метода ранжирования. Данный метод является наиболее простым для проведения процедуры упорядочения объектов и не требует трудоемкого обучения экспертов. Метод идеально подходит для упорядочения объектов, число которых не превышает 15 [6]. Среди объектов нет одинаковых по сравниваемым показателям, т.е. нет эквивалентных объектов. В этом случае между ними существует только отношение строгого порядка. Пример результатов ранжирования для удобства обработки представлен в табл. 1.

После того как данные опросных листов собраны, проводится обработка полученных оценок. При ранжировании объектов используется мера согласованности мнений группы экспертов – дисперсионный коэффициент конкордации. При оценке объектов исследования эксперты расходятся во мнениях по решаемой проблеме. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки степени согласия экспертов. Получение количественной меры согласованности позволяет обоснованно интерпретировать причины расхождения мнений.

Оценка согласованности мнений экспертов

Результаты опросов экспертов представлены в виде матрицы:

Факторы	1	2	3	4	s	d
x_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{1s}	r_{1d}
x_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	r_{2s}	r_{2d}
x_3	r_{31}	r_{32}	r_{33}	r_{34}	r_{3s}	r_{3d}
x_i	r_{i1}	r_{i2}	r_{i3}	r_{i4}	r_{is}	r_{id}
x_m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}	r_{m4}	r_{mi}	r_{md}

Для табл. 1 с представленными в ней результатами опроса экспертов в группе утечек, возникающих на газопроводах и сооружениях на них, вычислили r_{is} для фактора возникновения утечки на стыковых соединениях

$$r_{is1} = \sum_{s=1}^{5}\left(4+3+3+5+6\right)=21.$$

Рассчитаны суммы рангов для каждого фактора табл. 1:

$$r_{is2} = 25;\ r_{is3} = 24;\ r_{is4} = 8;\ r_{is5} = 19;\ r_{is6} = 8.$$

По результатам опроса экспертов в группе утечек, зависящих от физико-технических свойств газа и окружающей среды, получены суммы рангов для каждого из факторов: $r_{is1} = 10$; $r_{is2} = 9$; $r_{is3} = 21$ $r_{is4} = 20$. По результатам опроса экспертов в группе неучтенного газа, зависящего от состояния учета, получены суммы рангов для каждого из факторов: $r_{is1} = 15$; $r_{is2} = 25$; $r_{is3} = 10$. Проведена оценка математического ожидания для каждой группы факторов: $\overline{r_1} = 17{,}5$; $\overline{r_2} = 15$; $\overline{r_3} = 25$. Рассчитан коэффициент конкордации W, значение которого должно быть больше заданного $W_з$ ($W > W_з$). Обычно $W_з = 0{,}5$, т.е. при $W > 0{,}5$ выводы экспертов согласованы в большей мере, чем не согласованы. Таким образом, коэффициент конкордации для каждой из групп: $W_1 = 0{,}670857$; $W_2 = 0{,}976$; $W_3 = 0{,}881333$ [1].

Таблица 1

Результаты ранжирования факторов

Утечки газа из газопроводов	Э № 1	Э № 2	Э № 3	Э № 4	Э № 5
На стыковых соединениях	4	3	3	5	6
Через раковины в полиэтиленовых и стенки асбестоцементных труб	5	5	4	6	5
Коррозия труб	6	6	5	4	3
Повреждения землеройными механизмами	2	1	2	1	2
Утечки в арматуре	3	4	6	2	4
Эксплуатационные работы	1	2	1	3	1

Теоретико-множественная модель

Интерпретацией результатов будет служить теоретико-множественная модель [7–8]. Опишем подробно группы подмножеств, представленных в формуле (1) множества неучтенного газа и утечек.

Подмножество G – совокупность факторов возникновения утечек природного газа:

$$G = \{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6\}, \quad (1)$$

где g_1 – фактор возникновения утечки на стыковых соединениях; g_2 – фактор возникновения утечки через раковины в полиэтиленовых и стенки асбестоцементных труб; g_3 – фактор возникновения утечки в результате коррозии труб; g_4 – фактор возникновения утечки в результате повреждения газопровода землеройными механизмами; g_5 – фактор возникновения в результате утечки в арматуре; g_6 – фактор возникновения утечки в результате проведения эксплуатационных работ.

Подмножество F представляет собой совокупность факторов, влияющих на возникновение утечек в результате изменения физико-технических свойств газа и окружающей среды:

$$F = \{f_1, f_2, f_3, f_4\}, \quad (2)$$

где f_1 – фактор возникновения утечки в результате изменения температуры газа; f_2 – фактор возникновения утечки в результате изменения давления газа; f_3 – фактор возникновения утечки в результате изменения влажности газа; f_4 – фактор возникновения утечки в результате изменения плотности газа.

Подмножество W представляет собой совокупность факторов влияющих на возникновение неучтенного газа из-за состояния учета:

$$W = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8, w_9\}, \quad (3)$$

где w_1 – фактор возникновения неучтенного газа в результате неточного или неправильного измерения температуры и давления газа и окружающей среды; w_2 – фактор возникновения неучтенного газа в результате усреднения данных показаний измерительных приборов за слишком продолжительный промежуток времени, в течение которого расход сильно колеблется; w_3 – фактор возникновения неучтенного газа в результате неточного определения или пренебрежения поправками, которые необходимо вводить в расчетные формулы; w_4 – фактор возникновения неучтенного газа в результате неправильного или неточного определения фактической плотности учитываемого газа; w_5 – фактор возникновения неучтенного газа в результате несоответствия учтенного счетчиками газа фактическому расходу, из-за чего при малом расходе счетчик дает заниженные показания или вообще не работает; w_6 – фактор возникновения неучтенного газа в результате неправильного подбора диафрагм или дифманометров при измерении расходомерами, из-за чего перо «зашкаливает» или запись ведется в нижней части картограммы; w_7 – фактор возникновения неучтенного газа в результате несвоевременного обнаружения счетчиков, дающих неправильные показания; w_8 – фактор возникновения неучтенного газа в результате неправильной записи расхода газа по показаниям счетчиков; w_9 – фактор возникновения неучтенного газа в результате технических и арифметических ошибок при обработке картограммы и при подсчетах.

Используя формулу $P = \frac{\sum r_{is}}{r_{is}}$, рассчитаем веса каждого фактора в группе. Произведя вычисления, построим диаграмму весов факторов возникновения утечек и неучтенного газа.

Нечеткая ситуационно-фреймовая модель

Для формализации полученных знаний применим нечеткую ситуационно-фреймовую модель [9]. Модель представлена в виде формализованного образования факторов возникновения утечек и неучтенного газа.

Модель состоит из фреймов. Фрейм имеет определенную внутреннюю структуру, состоящую из множества элементов, называемых слотами, которым также присваиваются имена. Именами слотов будут служить факторы из подмножеств G, W, F. Каждый слот представляется определенной структурой данных с конкретным названием фактора возникновения утечки или неучтенного газа. За слотами следуют текущие значения слотов. В значении слота представляется конкретная информация, относящаяся к объекту, описываемому этим фреймом. Значения слотов будут выглядеть как качественные оценки факторов возникновения утечек и неучтенного газа, т.е. «маленькая величина», «средняя величина», «большая величина».

Удобство применения данной модели заключается в том, что значением слота может быть практически что угодно: числа, формулы, тексты на естественном языке или программы, правила вывода или ссылки на другие слоты данного фрейма или других фреймов. В качестве значения слота может выступать набор слотов более низкого уровня, что позволяет реализовывать во фреймовых представлениях «принцип матрешки».

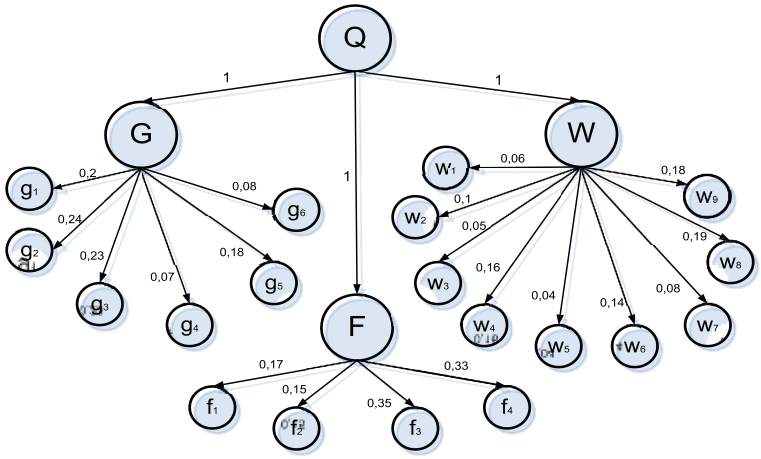

Диаграмма весов факторов модели возникновения утечек и неучтенного газа

Таблица 2

Типовые ситуации возникновения утечек и неучтенного газа на ЛЧ МГ

g_1	средняя величина	0,2
f_3	большая величина	0,35
…	…	…
w_7	маленькая величина	0,08

Далее следуют демоны. Демоном называется процедура, автоматически запускаемая при выполнении некоторого условия. Демоны автоматически запускаются при обращении к соответствующему слоту. Демон является разновидностью связанной процедуры. Демонами фреймов будут являться весовые показатели факторов, найденные ранее и отраженные в диаграмме на рисунке. Пример структуры фрейма представлен в табл. 2.

Основным преимуществом фреймов как модели представления знаний является то, что она отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также ее гибкость и наглядность. Значения слотов представляются в системе в единственном экземпляре, поскольку включаются только в один фрейм, описывающий наиболее понятия из всех тех, которые содержат слот с данным именем. Такое свойство систем фрейма обеспечивает экономное размещение базы знаний в памяти компьютера.

Так как значения слота имеют лингвистическую модификацию, то необходимо описать их при помощи нечеткого множества. Факторы возникновения утечек и неучтенного газа являются лингвистическими переменными. Представим их в виде терм-множеств. Например:

g_1 = {маленькая величина, средняя величина, большая величина}.

$$g_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{маленькая величина,} \\ \text{средняя величина,} \\ \text{большая величина} \end{array} \right\}.$$

Главной задачей при оперировании с нечеткими множествами является определение функции принадлежности. Введем переменные. Пусть K – универсальное множество и x – элемент K, описывающий лингвистическую переменную фактора возникновения утечки.

$$x = \begin{cases} x_1 - \text{малая величина;} \\ x_2 - \text{средняя величина;} \\ x_3 - \text{большая величина.} \end{cases} \quad (4)$$

В качестве функции принадлежности используем симметричную гауссовскую функцию принадлежности, которая имеет вид

$$\mu_k(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (5)$$

Все факторы возникновения утечек и неучтенного газа в физическом выражении обозначают величину объема V, измеряемую в м^3. Из этого следует, что единицей измерения универсального множества и его элементов также будет м^3.

Таблица 3

Границы значений универсального множества с указанием значений элементов

x, фактор возникновения утечки или неучтенного газа	K, м^3/ч	x_1, м^3/ч	x_2, м^3/ч	x_3, м^3/ч
g_1	0...350	50	150	330
g_2	0...500	100	200	450
g_3	0...450	70	180	420
g_4	0...100	10	50	90
g_5	0...300	30	140	280
g_6	0...150	20	70	140
f_1	0...10	1	5	8
f_2	0...5	0.5	2	4.5
f_3	0...25	3	13	24
f_4	0...20	2	10	18
w_1	0...15	1...5	7	14
w_2	0...40	5	20	35
w_3	0..10	1	5	9
w_4	0...60	6	30	55
w_5	0...10	2	5.5	8.5
w_6	0...50	4	25	47
w_7	0...30	3	15	27
w_8	0...80	9	40	75
w_9	0...70	8	35	67

Расчет возможных потерь будет точным, если мы будем знать участок исследования, а именно – состав газопровода, его диаметр, давление, наличие сооружений на газопроводе, наличие и перечень измерительных приборов, с указанием их технических характеристик и т.д. Зададим условные границы значений, характеризующие потери за единицу времени м^3/ч. В табл. 3 указаны возможные значения величины x.

Заключение

Полученные результаты вычислений коэффициента конкордации результатов опроса экспертов по группам свидетельствуют о согласованности суждений экспертов в полной мере, т.к значения коэффициента во всех случаях приближены к 1. Построена теоретико-множественная модель и рассчитаны веса факторов модели множества возникновения утечек и неучтенного газа. Для формализации полученных знаний применена нечеткая ситуационно-фреймовая модель.

Список литературы

1. Волкова В.Н., Денисов А.А.. Теория систем. – М.: Высшая школа, 2006. – 511 с.

2. Гордюхин А.И., Гордюхин Ю.А.. Измерение расхода и количества газа и его учет. – Л.: Недра, 1987. – 213 с.

3. Лытаев Е.П. Системный анализ источников недостоверных показаний при транспортировке газа / Е.П. Лытаев, И.А. Щербатов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 2. – С. 76–82.

4. Проталинский О.М. Система поддержки принятия решений для операторов слабоформализуемых ТП / О.М. Проталинский, И.А. Щербатов // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 7. – С. 41–45.

5. Проталинский О.М. Оптимальное управление технологическим процессом Клауса в условиях неопределенности / О.М. Проталинский, А.Н. Савельев, И.А. Щербатов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2006. – № 5. – С. 19–25.

6. Щербатов И.А. Управление сложными слабоформализуемыми многокомпонентными системами: монография. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2015. – 268 с.

7. Щербатов И.А., Математические модели сложных слабоформализуемых систем: компонентный подход // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – № 2 (22). – С. 70–78.

8. Щербатов И.А., Математическое моделирование сложных многокомпонентных систем / И.А. Щербатов, И.О. Проталинский // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – Т. 20. – № 1. – С. 17–26.

9. Shcherbatov I.A., Classification of pure formalized complex multicomponent technical system under conditions of uncertainty // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 2. – С. 9–12.

References

1. Volkova V.N., Denisov A.A.. Teorija sistem. M.: Vysshaja shkola, 2006. 511 p.

2. Gordjuhin A.I., Gordjuhin Ju.A.. Izmerenie rashoda i kolichestva gaza i ego uchet. L.: Nedra, 1987. 213 p.

3. Lytaev E.P. Sistemnyj analiz istochnikov nedostovernyh pokazanij pri transportirovke gaza / E.P. Lytaev, I.A. Shcherbatov // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitelnaja tehnika i informatika, 2009. no 2. pp. 76–82.

4. Protalinskij O.M. Sistema podderzhki prinjatija reshenij dlja operatorov slaboformalizuemyh TP / O.M. Protalinskij, I.A. Shcherbatov // Avtomatizacija v promyshlennosti, 2009. no 7 pp. 41–45.

5. Protalinskij O.M. Optimalnoe upravlenie tehnologicheskim processom Klausa v uslovijah neopredelennosti / O.M. Protalinskij, A.N. Savelev, I.A. Shcherbatov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Tehnicheskie nauki. 2006. no 5. pp. 19a–25.

6. Shcherbatov I.A. Upravlenie slozhnymi slaboformalizuemymi mnogokomponentnymi sistemami: monografija. Rostov n/D: Izd-vo JuNC RAN, 2015. 268 p.

7. Shcherbatov I.A., Matematicheskie modeli slozhnyh slaboformalizuemyh sistem: komponentnyj podhod // Sistemy. Metody. Tehnologii, 2014. no 2 (22). pp. 70–78.

8. Shcherbatov I.A., Matematicheskoe modelirovanie slozhnyh mnogokomponentnyh sistem / I.A. Shcherbatov, I.O. Protalinskij // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, 2014. Vol. 20. no 1. pp. 17–26.

9. Shcherbatov I.A., Classification of pure formalized complex multicomponent technical system under conditions of uncertainty // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitelnaja tehnika i informatika, 2012. no 2. pp. 9–12.

Рецензенты:

Попов Г.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность», ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань;

Ханова А.А., д.т.н., доцент кафедры «Прикладная информатика в экономике», ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань.