

УДК 681.5:622; 62.19

А.Т. ИСКЕНДЕРОВА

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ГАЗОСБОРНЫХ ШЛЕЙФАХ ПО СКАЛЯРНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ СОСТОЯНИЯ

*В существующей практике рассматривается диагностирование гидратообразования в газосборных шлейфах, где в качестве переменных состояния используются температура и давление сырого газа в конце шлейфа. При этом, широко используемые статистические модели диагностирования типа баесовых моделей, анализируются в трехмерном пространстве, что связано с определенными трудностями. Поэтому представляет интерес рассмотрение возможности использования односкалярной переменной состояния, в частности, температуру для диагностирования ГО в шлейфе. При этом анализ модели значительно упрощается.*

**Ключевые слова:** диагностирование, шлейф, гидратообразование, переменная состояния, множество состояний, классификация

**1. Введение.** В газодобывающих предприятиях важное место занимает технологический процесс (ТП) транспортировки сырого газа по газосборному шлейфу (трубопроводу) из места добычи (куста скважин) до установки его комплексной подготовки. К одной установке комплексной подготовки газа (УКПГ) подключается несколько (от трех до десяти) газосборных шлейфов, по которым транспортируется сырой газ из соответствующих кустов скважин. Сырой газ, как правило, содержит механические примеси и частицы воды. Как известно, сырой газ, добываемый из каждой скважины, имеет определенные давление и температуру на его устье (наземной части) и, следовательно, в соответствующем кусте скважины. При транспортировке сырого газа по шлейфу из куста скважин до УКПГ происходит потеря давления газа и, следовательно, снижение температуры. В зимнее время в низких минусовых температурах в шлейфах происходит образование гидратов (гидратообразование), что вызывает резкое увеличение гидравлического сопротивления в шлейфе. А увеличение сопротивления в шлейфе, в свою очередь, приводит к существенной потере начальной потенциальной энергии газа и, следовательно, к экономической потере. Образование ледяной пробки в шлейфе приравнивается к аварийным ситуациям, при которых восстановление нормального режима сопровождается значительными экономическими потерями.

Одним из наиболее эффективных способов предупреждения гидратообразования в шлейфе, тем более образования водяной пробки в нем является диагностирование ГО и проведение определенных мероприятий для его предупреждения. Важным этапом в диагностировании любой системы, в том числе гидратообразования, является выбор характерных и составных переменных состояния (ПС) объекта диагностирования (ОД). Известно, что для каждого ОД увеличение числа ПС способствует повышению точности модели диагностирования. В то же время увеличение числа ПС приводит к значительному усложнению модели и, следовательно, алгоритма диагностирования. Поэтому исследователи данного направления при выборе ПС стараются минимизировать число последних при условии, что обеспечивается требуемая точность модели диагностирования.

В существующей практике диагностирования ГО в шлейфе в качестве ПС используется двухмерный вектор ПС – температура и давление сырого газа у входа УКПГ. В предлагаемой статье анализируются возможности диагностирования ГО по скалярной ПС, т.е. по одной из двух ПС.

**2. Постановка задачи.** Ввиду того, что характеристические показатели ГО не поддаются непосредственному контролю для его диагностирования, в качестве ПС используются косвенные показатели – температура  $t$  и давление  $p$  сырого газа в конце шлейфа, у входа в коллектор УКПГ, которые непосредственно контролируются.

На практике диагностирования ГО на основе указанных ПС широко используют детерминированные расчетные формулы [3, с.144-146]. Учитывая, что измеренные значения указанных ПС –  $t$  и  $p$  зависят от характеристических показателей шлейфа и сырого газа, эти ПС подвергаются корректированию с учетом последних. При корректировании  $t$  широко используют формулу, предложенную в НИИ Газа [3, с.145, 146].

Такие формулы, являясь детерминированными, недостаточно отражают реальность. В реальных ситуациях рассматриваемый ОД подвергается случайным возмущениям. Кроме этого, используемые формулы, являясь расчетными, не гарантируют оптимальность диагностирования. В связи со сказанным представляется важным оптимальное диагностирование ГО в шлейфах на основе статистических моделей, например, типа баесовой.

Диагностирование ГО в шлейфах с использованием баесовой модели по двухмерной ПС осуществляется в трехмерном пространстве, что вызывает определенное усложнение диагностирования. Исходя из этого, ниже исследуется возможность статистического диагностирования ГО в шлейфах по скалярной ПС. При этом опираемся на здравый смысл о том, что между ПС  $t$  и  $p$  имеется статистическая зависимость. Исследуемая задача заключается в построении такой зависимости, проверке ее достоверности и возможность использования скалярной ПС– $t$  для диагностирования ГО.

**3. Решение задачи.** В начале зависимость  $t$  от  $p$  представляется в линейном виде:

$$t = a_0 + a_1p \tag{3.1}$$

Коэффициент этой зависимости определяется методом наименьших квадратов, с использованием статистического материала, представленного в таблице:

**Таблица**

№	$t$	$p$	$P^2$	$tp$	$t^*-t_i$
1	-14,72	5,84	34,1056	-85,96	4,62
2	-14,57	5,62	31,5844	-81,88	4,00
3	-14,21	5,31	28,1961	-75,46	2,69
4	-13,97	4,81	23,1361	-67,20	1,96
5	-12,86	4,75	22,5625	-61,09	0,08
6	-13,68	4,38	19,1844	-59,92	1,23
7	-13,45	4,23	17,8929	-56,89	0,77
8	-13,19	4,09	16,7281	-53,95	0,38
9	-12,88	3,96	15,6816	-51,01	0,10
10	-12,71	3,72	13,8384	-47,38	0,02
11	-12,49	3,41	11,6281	-42,59	0,01
12	-12,22	3,32	11,0224	-40,57	0,12
13	-12,09	3,19	10,1761	-38,57	0,23
14	-11,83	2,85	8,1225	-33,72	0,55
15	-11,63	2,69	7,2361	-31,28	0,88
16	-11,44	2,57	6,6049	-29,40	1,27
17	-11,29	2,42	5,8564	-27,32	1,62
18	-10,98	2,29	5,2441	-25,14	2,53
19	-10,67	2,15	4,6225	-22,94	3,61
20	-10,43	1,87	3,4969	-19,50	4,58

По методу наименьших квадратов коэффициенты зависимости (3.1) определяется из условия

$$J = \sum_{i=1}^n (t^* - (a_0 + a_1 p_i))^2 \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

где  $i, n$  – номера и число экспериментальных данных. Значения коэффициентов, удовлетворяющих условию (3.2), находятся из решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial J}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^n (t_i - a_0 - a_1 p_i)(-1) = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^n (t_i - a_0 - a_1 p_i)(-p_i) = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

После группировки составляющих в правой части системы (3.3) получим:

$$\begin{cases} n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n p_i = \sum_{i=1}^n t_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n p_i + a_1 \sum_{i=1}^n p_i^2 = \sum_{i=1}^n t_i p_i \end{cases} \quad (3.4)$$

Подставляя значения соответствующих сумм, приведенных в таблице в систему (3.4) получаем:

$$\begin{cases} 20 a_0 + 73,47 a_1 = -251,31 \\ 73,47 a_0 + 296,93 a_1 = -951,77 \end{cases} \quad (3.5)$$

Из решения этой системы уравнений находим  $a_0 = -8,67, a_1 = -1,06$ . Таким образом, построенная зависимость (3.1) имеет вид:

$$t = -8,67 - 1,06 p \quad (3.6)$$

Для проверки адекватности полученной зависимости воспользуемся критерием Фишера:

$$F_T > F_P \quad (3.7)$$

где  $F_T, F_P$  – табличное и расчетное значения функции Фишера соответственно.  $F_P$  определяется из следующего соотношения:

$$F_P = \frac{\sigma_{t_0}^2}{\sigma_t^2} \quad (3.8)$$

где  $\sigma_{t_0}^2, \sigma_t^2$  – остаточная и общая дисперсии  $t$  и

$$\sigma_{t_0}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t^*_i - t_i)^2 \quad (3.9)$$

В выражении (3.9)  $t^*$  – среднее значение  $t$  и  $t^* = -12,57$ . Табличное значение функции Фишера определяется из специальной таблицы по степеням свободы и с вероятностью допустимой ошибки  $\alpha = 0,1 \div 0,05$ . При выполнении условия (3.7) построенная зависимость считается адекватной и скалярную ПС  $t$  можно использовать для прогнозирования ГО в шлейфе. Сказанное еще подтверждается значением коэффициента парной корреляции между  $t$  и  $p$ . По данным, приведенным в таблице, полученные из (3.9) значения составляют:  $\sigma_{t_0}^2 = 0,02, \sigma_t^2 = 1,63$ . Таким образом, расчетное значение функции Фишера, вычисленное из (3.8) составляет:  $F_P = 0,042$ , а его табличное значение, соответствующее степеням свободы  $\nu_0 = n - 1 = 19; \nu = n - 2 = 18$  и вероятности  $\alpha = 0,1$  составляет:  $F_t = 2,16$ . При этом  $F_T = 2,16 > F_P = 0,042$ . Следовательно, критерий Фишера выполняется и полученная зависимость адекватна в реальности.

$$z_{tp} = \frac{\sum_{i=1}^n (t^* - t_i)(p^* - p_i)}{\sigma_t \sigma_p}, \quad (3.10)$$

В выражении (3.10)  $\sigma_t, \sigma_p$  – средне квадратические отклонения соответственно  $t$  и  $p, p^*$  – среднее значение  $p$ . Из (3.10)  $z_{tp} = 0,664$ , что означает линейную статистическую связь (3.6) между ПС  $t$  и  $p$  практически можно считать достоверной.

С использованием ПС  $t$  легко можно осуществить трехальтернативное диагностирование на числовой оси  $t$ , где первое множество состояний выражает множество

нормальных, второе (промежуточное) – множество ненормальных, но работоспособных, а третье – множество ненормальных и неисправных состояний, которые характеризуются соответствующими функциями распределений ( рисунок 1 ).

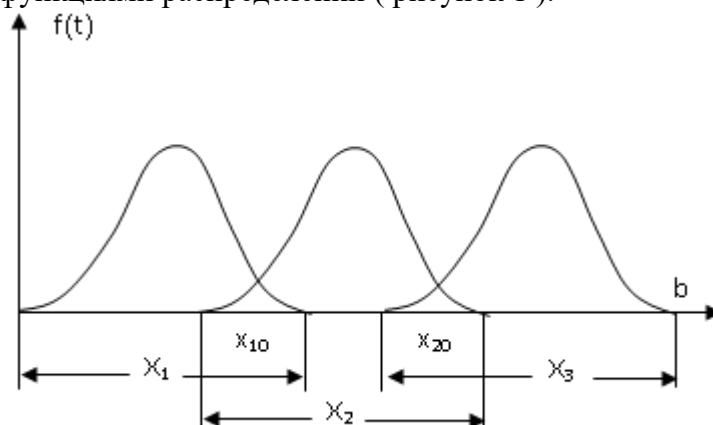


Рис. 1

На рис.1  $X_i$  –  $i$ -ое множество состояний;  $f_i(t)$  – функция распределения  $t$  на  $i$ -м множестве. Границы разделения множеств  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_2$ ,  $X_3$  определяются из условия:

$$X_{10} = \min(f_1(t), f_2(t)),$$

$$X_{20}(t) = \min(f_2(t), f_3(t)).$$

После определения границ разделения множеств, диагностирование по каждому  $i$ -му наблюдению (текущему значению)  $t-t^{(s)}$  определяется из следующего правила:

$$X^{(s)} = \begin{cases} X_1, & \text{если } 0 < X^{(s)} < X_{10}, \\ X_2, & \text{если } X_{10} < X^{(s)} < X_{20}, \\ X_3, & \text{если } X_{20} < X^{(s)} < b. \end{cases}$$

при  $X^{(s)} = X_{10}, X^{(s)} = X_{20}$  решение не принимается

**4. Заключение.** В статье анализирована и обоснована возможность использования скалярной ПС в байесовом диагностировании ГО в газосборном шлейфе. Показано, что использование скалярной ПС для диагностирования ГО в шлейфе способствует значительному упрощению решения как задачи классификации–определения границ разделения множеств состояния, так и задачи принятия решения путем отображения текущего значения скалярной ПС на подмножества состояний.

#### Литература

1. Биргер И.А. Техническая диагностика М.:Машиностроение, 1978г.
2. Искендерова А.Т. Бассово адаптивно-параметрическое диагностирование гидратообразования в шлейфах газодобывающих предприятий при недостаточной информации. (Изв. НАНА, серия физико-технических и математических наук, 2011 г., №6, стр.9-14).
3. Вахирев Р.И., Кортаев Ю.П., Кобанов Н.И. Теория и опыт добычи газа. (ОАО,Недра,1998г.).
4. Бакиров Т.М. Основные положения отраслевого стандарта–М.:ООО «Недра–БизнесЦентр, 1999г.
5. Аноненко А.Г., Ставкин Г.П., Андреев О.П. и др. АСУ ТП газопромисловых объектов–М.:Недра, 2003г.

UOT 681.5:622; 62.19

**A.T. İsgəndərova**

**Qazpaylayıcı şleyflərdə hidratin əmələ gəlməsinin skalyar dəyişəninə görə diaqnozlaşdırılması**

*Məqalədə qazpaylayıcı şleyfdə hidratin əmələ gəlməsinin (HƏG) vəziyyət dəyişəninə (VD) görə Bayes yanaşması ilə diaqnozlaşdırılmasının mümkünlüyü araşdırılmış və əsaslandırılmışdır. Göstərilmişdir ki, Bayes yanaşması əsasında skalyar VD-yə görə diaqnozlaşdırılmada həm təsnifat – vəziyyət çoxluqlarını ayırıcı sərhədlərin təyin edilməsi, həm də, VD-nin vəziyyət çoxluqlarına əks olunması yolu ilə qərar gəbuletmə məsələsi ciddi sürətdə sadələşir.*

**Açar sözlər:** diaqnozlaşdırma, şleyf, hidratin əmələ gəlməsi, vəziyyət dəyişəni, vəziyyət çoxluqları, klassifikasiya

**A.T. Iskenderova**

**Diagnostics of hydrate formation in the gas gathering loop based on scalar state variable**

*The author considers the current practice of diagnosing hydrate formation in gas gathering loops, where the temperature and pressure of the raw gas at the end of the loop are used as state variables. At the same time, widely used diagnostic statistical models such as Bayes models are analyzed in three-dimensional space, which is associated with certain difficulties. It is therefore of interest to consider the possibility of using scalar state variable, in particular, the temperature for the diagnosis of CS in the loop. This analysis model is simplified considerably.*

**Keywords:** diagnostics, loop, hydrate formation, state variable, set of states, classification

Институт Систем Управления НАН Азербайджана

Представлено 07.04.2016