

У статті проводиться математичне моделювання нестационарних режимів роботи багатониткових лінійних ділянок газотранспортної системи при розриві ділянки трубопроводу та пропонується метод виявлення розривів ділянок трубопроводу

Ключові слова: повний розрив ділянки, газотранспортна система

В статье проводится математическое моделирование нестационарных режимов работы многониточных линейных участков газотранспортной системы при разрыве участка трубопровода и предлагается метод обнаружения разрывов участков трубопровода

Ключевые слова: полный разрыв участка, газотранспортная система

The article presents a mathematical modeling of non-stationary modes of the multi-threads linear sections of gas transport system at break of the pipeline and proposes the method for detecting breaks sections of the pipeline

Keywords: a complete break of the pipeline, gas transport system

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ РАЗРЫВЕ УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА

И.Г. Гусарова

Кандидат технических наук, профессор*

А.В. Каминская

Инженер I-й категории*

*Кафедра прикладной математики

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: (057) 702-14-36

1. Введение

Газотранспортная система (ГТС) является одной из главных составляющих топливно-энергетический комплекса (ТЭК) Украины. Стратегическую важную роль украинская ГТС играет в осуществлении транзита российского газа в страны Европейского Союза, поскольку бесперебойность и надежность поставок газа потребителям в значительной мере зависят от стабильного функционирования и развития ГТС Украины. Учитывая, что больше половины общей длины газопроводов были построены в 60-80-е гг. XX в., то на сегодня состояние украинской ГТС имеет высокую степень износа технологического оборудования, влияющего на энергетическую безопасность Украины.

Длительный эксплуатационный срок службы многониточных линейных участков (МЛУ) ГТС, дефекты сварных соединений, коррозионные разрушения, механические воздействия, человеческий фактор и многое другое ведет к риску возникновения аварийных ситуаций, которые в большинстве случаев влияют на безопасность производственного объекта, могут причинить вред здоровью человека и нанести ущерб окружающей среде. Наиболее опасны аварии, связанные с частичным или полным разрывом трубопровода. Поэтому на сегодняшний день вопрос обеспечения безаварийной работы МЛУ ГТС является актуальным.

Для устранения последствий и предотвращения аварийных ситуаций необходимо моделировать такие ситуации с целью определения безопасных технологических режимов работы МЛУ ГТС. Не менее важной проблемой является обнаружение разрывов участков

трубопровода (УТ), которая также может быть решена с помощью методов расчета нестационарных неизотермических режимов работы (ННПП) МЛУ ГТС при разрывах трубопровода и критериев обнаружения разрывов УТ на основе этих методов. Таким образом, целью работы является математическое моделирование (ММ) ННПП МЛУ ГТС при разрыве УТ, разработка метода обнаружения разрывов УТ, основанного на сравнении результатов расчета ННПП МЛУ ГТС при моделировании разрывов трубопровода, обладающий необходимой точностью, с результатами измерений SCADA-системами значений газового потока (давление, массовый расход, температура), а также определение потерь природного газа вследствие полного разрыва УТ и время его опорожнения.

В работах [4,6] авторы подробно проанализировали патенты разных стран в области обнаружения разрывов на ГТС. Все они относятся к двум группам, базирующиеся на анализе воздействия разрыва на окружающую среду и на параметры газового потока. У всех этих методов есть как преимущества, так и недостатки. Главными недостатками первой группы обнаружения разрывов является невозможность обнаружения аварийной нитки МЛУ ГТС и высокая стоимость систем фиксирующих аварии. Недостатком второй группы является надежность и достоверность данных получаемых средствами измерения параметров газового потока, а также возможность использования данных методов только в стационарном режиме работы ГТС. А в случае ННПП МЛУ ГТС все эти методы мало пригодны.

Высокая стоимость реализации, предлагаемых способов обнаружения разрывов, специфика украинской

ГТС (отсутствие необходимого числа датчиков изменения) диктуют необходимость создания отечественных методов обнаружения разрывов трубопроводов.

2. Математические постановки задач исследования

2.1. Математическая модель ННРП МЛУ ГТС

В работе представлена разработанная авторами ММ и метод расчета ННРП МЛГ ГТС, которые наиболее подробно рассмотрены ранее в работах [1-3, 7].

Модель структуры МЛУ ГТС можно задать с помощью ориентированного графа $G=(V,M)$, где V – множество узлов графа, M – множество дуг графа. Узлы графа представляют собой места соединения технологических элементов между собой. Множество дуг $M=M_1 \cup M_2$, где M_1 – множество дуг графа соответствующих УТ, M_2 – множество дуг графа соответствующих кранам. Множество узлов $V=V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup V_4 \cup V_5$, где V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 – множество входов МЛУ ГТС, множество промежуточных узлов, множество выходов МЛУ ГТС, множество входов и выходов всех кранов из M_2 .

Математическая модель ННРП МЛУ ГТС записывается в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных, соответствующей i -ой ($i \in M_1$) дуге графа, описывающего МЛУ ГТС:

$$\frac{\partial W^i}{\partial t} + (1 - \alpha S^i T^i \frac{(W^i)^2}{(P^i)^2}) \frac{\partial P^i}{\partial x} + 2\alpha S^i T^i \frac{W^i}{P^i} \frac{\partial W^i}{\partial x} + \beta S^i T^i \frac{W^i |W^i|}{P^i} + \frac{g}{\alpha S^i T^i} \frac{P^i}{dx} \frac{dh}{dx} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial P^i}{\partial t} + \alpha S^i T^i \frac{\partial W^i}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T^i}{\partial t} + \alpha \gamma S^i T^i \frac{W^i}{P^i} \frac{\partial T^i}{\partial x} + \alpha S^i (\gamma - 1) \frac{(T^i)^2}{P^i} \frac{\partial W^i}{\partial x} + \frac{4K}{D^i} (\gamma - 1) \frac{T^i}{P^i} (T^i - T_{гр}) + g(\gamma - 1) \frac{W^i T^i}{P^i} \frac{dh}{dx} = 0, \quad (3)$$

где $\alpha = \frac{z^i g R}{S^i}, \beta = \frac{\lambda \alpha}{2D^i}, \gamma = \frac{C_p}{C_p - z^i g R},$

S^i – площадь поперечного сечения трубы, C_p – удельная теплоемкость газа, z^i – коэффициент сжимаемости газа, $W^i(x,t), T^i(x,t), P^i(x,t)$ – удельный массовый расход, температура, давление газа, t – временная координата, x – пространственная координата, D^i – диаметр трубы, K – коэффициент теплопередачи от трубы к грунту, $T_{гр}$ – температура грунта, h – глубина залегания трубы, g – ускорение свободного падения.

Система нелинейных алгебраических уравнений для i -ой дуги, соответствующая крану ($i \in M_2$), а также система нелинейных алгебраических уравнений, соответствующая условиям согласования параметров газового потока в промежуточном m -м узле ($m \in V_2 \cup V_3 \cup V_4$) графа, описывающего структуру МЛУ ГТС, имеют вид [1,3]:

$$P^i(x^{++},t) = P^i(x^+,t) - \zeta \frac{Rg}{2(S^j)^2} \frac{T^i(x^{++},t) z^i}{P^i(x^{++},t)} (G^i(x^+,t))^2, i \in M_2, \quad (4)$$

$$T^i(x^{++},t) = T^i(x^+,t) - D_i (P^i(x^+,t) - P^i(x^{++},t)), \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V_m^+} G^j(x^{++},t) = \sum_{i \in V_m^-} G^i(x^+,t), m \in V_2, \quad (6)$$

$$P_{y3}^m(t) = P^i(x^{++},t) = P^i(x^+,t), j \in V_m^+, i \in V_m^-, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V_m^+} ((G^j(x^{++},t))^+ \cdot T^j(x^{++},t)) + \sum_{i \in V_m^-} ((G^i(x^+,t))^- \cdot T^i(x^+,t)) = T_{cp}^m \cdot (\sum_{j \in V_m^+} ((G^j(x^{++},t))^+ + \sum_{i \in V_m^-} (G^i(x^+,t))^-), \quad (8)$$

если $G^j(x^{++},t) < 0$, то $T^j(x^{++},t) = T_{cp}^m(t), j \in V_m^+$,

если $G^i(x^+,t) > 0$, то $T^i(x^+,t) = T_{cp}^m(t), i \in V_m^-$,

где x^+, x^{++} – начало и конец i -ой дуги, V_m^+, V_m^- – множество индексов дуг, входящих и выходящих из m -го ($m \in V_2 \cup V_3 \cup V_4$) узла графа, $G(x,t), T(x,t), P(x,t)$ – массовый расход, давление и температура в начале или в конце i -ой дуги графа соответственно, S^j – площадь поперечного сечения j -ой ($j \in M_1$) дуги, прилегающей к концу i -ой ($i \in M_2$) дуги, соответствующей крану.

В качестве начального условия берутся распределения параметров газового потока (распределение расходов, давлений и температур) в начальный момент времени:

$$W_i(x,0) = W_i^0(x), P_i(x,0) = P_i^0(x), T_i(x,0) = T_i^0(x), \quad (9)$$

где $x \in [x_i^+, x_i^{++}], i \in M_1, W_i^0(x), P_i^0(x), T_i^0(x)$ – известные функции.

Граничные условия в узлах графа, задаются I, II, III типов и состоят в задании соответственно давления, расхода, температуры как функций времени:

$$P_{y3}^m(t) = P^m(t), G_v^m(t) = G^m(t), T_{y3}^m(t) = T^m(t), \quad (10)$$

где m – номер узла, в котором задано соответствующее условие $P_{y3}^m(t), G_v^m(t), T_{y3}^m(t)$ – давление, расход и температура газа для m -го узла графа соответственно.

В результате разработанной математической модели ННРП МЛУ ГТС ставятся различные классы краевых задач, связанных с изменением граничных условий и структуры расчетного графа.

2.1. Задача моделирования аварийных ситуаций, связанных с разрывами УТ МЛУ ГТС

Задача моделирования аварийных ситуаций, связанных с разрывами УТ МЛУ ГТС относится к классу задач, связанных с изменением граничных условий и структуры моделируемого графа МЛУ ГТС, а, следовательно, и изменению структуры расчетного графа.

В случае полного разрыва i -го УТ время возникновения разрыва $t_p^i \in [0, T]$ и место начала разрыва $L_p^i \in [0, L_i]$ считаем определенными, где L^i – длина i -го УТ t_p^i – время разрыва i -го УТ, а T – период времени,

на котором проводится моделирование ННРР МЛУ ГТС. Тогда до момента $t_p^i \in [0, T]$ моделирование ННРР МЛУ ГТС представляет собой вид, описанный в п. 2.1, а именно, решение краевой задачи (1)-(8) с начальными условиями (9) и граничными условиями вида:

$$\begin{cases} P^k(x^+, t) = P^m(t), & \begin{cases} P^j(x^{++}, t) = P^{m_1}(t), \\ G^j(x^{++}, t) = G^{m_1}(t), \\ T^j(x^{++}, t) = T^{m_1}(t), \end{cases} \\ G^k(x^+, t) = G^m(t), \\ T^k(x^+, t) = T^m(t), \end{cases}$$

$$k \in V_m^+, j \in V_{m_1}^-, m \in V_1, m_1 \in V_3,$$

а на открытых концах трубы, начиная с момента времени t_p^i задаются граничные условия IV типа:

$$\Phi(P_{yz}^m(t), G_v^m(t)) = 0. \tag{11}$$

3. Метод решения

3.1. Метод расчета ННРР МЛУ ГТС

Для решения общей системы уравнений математической модели (1)-(3) используется метод конечных разностей. Аппроксимация уравнений системы на УТ проводится разностными уравнениями с использованием неявной конечно-разностной схемы, определенной на равномерном (пятиточечном или четырехточечном) шаблоне [7]. После замены частных производных в системе дифференциальных уравнений их разностными аналогами для УТ получаем систему нелинейных алгебраических уравнений, которая является дискретным аналогом системы уравнений общей ММ ННРР МЛУ ГТС. Решение дискретного аналога осуществляется методом Ньютона путем его линеаризации.

Дополняем полученную линейную систему уравнений линеаризованными уравнениями (4)-(5), описывающие ННРР МЛУ ГТС через кран и линеаризованными условиями согласования (6)-(8) параметров газового потока для m-го промежуточного узла.

Полученная линейная система уравнений решается относительно векторов поправок к неизвестным методом Гаусса с выбором главного элемента. Метод, предложенный авторами, позволяет существенно сократить размерность линейной системы путем специальных преобразований, подробно описанных в работах [1-3,7].

3.2. Метод расчета задачи математического моделирования и численного анализа ситуаций, связанных с разрывами МЛУ ГТС

Решение задачи математического моделирования и численного анализа нештатных ситуаций, связанных с разрывами МЛУ ГТС сводится к следующему. Моделирование ННРР МЛУ ГТС до момента разрыва происходит по математической модели и методу, которые описаны в п.2.1 и п.3.1. Далее рассматривается полный разрыв одной из ниток МЛУ ГТС, для которого из исходного графа структуры МЛУ ГТС в соответствии с рассматриваемой задачей строится моделируемый граф, который в момент разрыва изменяется. То есть рассматриваем моделируемый граф МЛУ ГТС $G = (V, M)$ и соответствующий ему расчетный граф, который в момент разрыва t_p^i одного из УТ изменяется

на граф $G' = (V', M')$. Соответственно расчетный граф для $G' = (V', M')$ также изменяется. При разрыве в момент времени t_p^i i-ый УТ с длиной L^i точкой разрыва разбивается на два УТ с длинами L_p^i и $L^i - L_p^i$.

В момент разрыва выполняются следующие условия.

Граничные условия на открытом конце УТ задаются граничными условиями IV типа (11).

Действительно, граничные условия на открытом конце трубы имеют вид:

$$\begin{cases} v = c, & \text{при } P(X, t) \geq P_a, \\ P(X, t) = P_a, & \text{при } v < c, \end{cases} \tag{12}$$

где v – скорость газового потока, c – скорость звука в газе, $P(X, t)$ – давление газа, P_a – атмосферное давление, X – точка разрыва УТ, $X \in \{L_p^i, L^i - L_p^i\}$.

Используя уравнение $W = \rho v$, где W – удельный массовый расход газа, ρ – плотность газа, граничные условия (12) на открытом конце УТ примут вид:

$$\begin{cases} W(X, t) = \frac{P(X, t)}{c}, & \text{при } P(X, t) \geq P_a, \\ P(X, t) = P_a, & \text{при } \frac{W(X, t)}{P(X, t)} < \frac{1}{c}. \end{cases}$$

При возникновении разрыва расчет ННРР МЛУ ГТС ведется по методу, описанному в п. 3.1 для расчетного графа, построенного на основании графа $G' = (V', M')$ и с граничными условиями (12) на открытых концах УТ до момента обнаружения разрыва [5].

Что же касается идентификации аварийного УТ при полном разрыве МЛУ ГТС, то в работе предложен следующий метод. Необходимо отметить, что процесс истечения газа при полном разрыве УТ характеризуется следующими ярко выраженными закономерностями. В момент разрыва УТ давление начинает резко падать с обеих сторон от местоположения разрыва, а расход газа начинает резко возрастать, причем после места разрыва меняется направление газа в сторону разрыва [6]. Процесс истечения газа заканчивается, когда авария ликвидируется или, когда газ прекращает выходить из отверстия, то есть когда давление внутри УТ в месте разрыва снижается до атмосферного. Строится критерий принятия решений в аварийной ситуации при полном разрыве УТ на основании сравнения результатов измерения, полученных с помощью SCADA-системы, с расчетными оценками параметров течения, найденные с применением ММ ННРР МЛУ ГТС в режиме реального времени. Наиболее быстро изменяющимся параметром при разрыве УТ является давление, поэтому предложенный в работе критерий обнаружения разрыва УТ основан на изменении давления природного газа. В процессе ММ ННРР МЛУ ГТС получаем для каждого j-го УТ в l-ых замерных узлах (ЗУ) ($l = n, n + 1$) следующие выражения:

$$\Delta P_1^{k,j} = |P_1^{k,j} - P_1^{k-1,j}|, \tag{13}$$

где $P_1^{k,j}$, $P_1^{k-1,j}$ – значение давлений природного газа на j-ом УТ на k-ом и (k-1)-ом временном слое при расчете ННРР МЛУ ГТС в l-ых ЗУ ($l = n, n + 1$).

Разница значений давлений

$$\Delta P_1^{40Bj} = |P_1^{40Bj}(t) - P_1^{40Bj}(t-1)|,$$

полученных с ЗУ SCADA-системой, в моменты времени t и $(t-1)$, соответствующие k -му и $(k-1)$ -му временному слою, сравниваются со значением ΔP_1^{kj} ($l=p, p+1$), полученным из выражения (13). Если эти величины отличаются на величину точности датчиков SCADA-системы, то можно судить об отсутствии разрыва на j -ом УТ МЛУ ГТС. В противном случае, при сравнении этих величин можно судить о наличии разрыва на рассматриваемом j -ом УТ. Условие наличия аварийного истечения газа из j -ого УТ можно описать в виде выполнения следующего неравенства:

$$|\Delta P_1^{kj} - \Delta P_1^{40Bj}| \leq m \cdot \Delta t, \tag{14}$$

m – пороговое значение критерия, которое определяется в результате настройки системы ММ ННРР МЛУ ГТС, Δt – временной шаг разностной сетки, шаг которой в данном случае не превышает времени получения SCADA-системой параметров газового потока с замерных узлов, расположенных на МЛУ ГТС.

Выражение (14) подтверждается многочисленными численными примерами по ММ разрывов на МЛУ ГТС. Этот метод позволяет своевременно обнаружить разрыв УТ и оперативно локализовать аварийный УТ с помощью перекрытия ближайших к месту разрыва кранов, а значит, сократить объемы потерь газа и предотвратить возможный ущерб, наносимый людям и окружающей среде.

Определить потери газа и время опорожнения УТ при полном его разрыве возможно исходя из нормативного документа «ОНТП 51-1-85 Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы».

Время опорожнения УТ при авариях определяется по номограмме [8].

Расход Q при истечении газа в результате аварии УТ определяется по формуле [9]:

$$Q = \mu \cdot S_o \sqrt{\frac{2\Delta P(x,t)}{\rho(x,t)}}, \tag{15}$$

где μ – коэффициента расхода отверстия, S_o – фактической площадь сечения отверстия, $\Delta P(x,t)$ – перепад давления, под действием которого происходит истечение газа через отверстие, $\rho(x,t)$ – плотность газа.

Плотность газа определяется как [6]

$$\rho(x,t) = \rho_2 \Delta \frac{T_c P(x,t)}{T(x,t) P_c z(x,t)},$$

где $z(x,t)$ – коэффициента сжимаемости природного газа, Δ – относительная плотность газа по воздуху, $T(x,t)$, $P(x,t)$ – температура и давление газа соответственно, ρ_2 – плотность газа по воздуху, $T_c(x,t)$, $P_c(x,t)$ – температура и давление газа при стандартных условиях соответственно.

4. Практическая реализация

Для моделирования ННРР МЛУ ГТС и полного разрыва УТ используются разработанные модели и методы расчета, описанные в п.2 и п.3. Непрерывный мониторинг параметров газового потока (давления, массового расхода и температуры природного газа) с ЗУ и метод идентификации аварийных участков трубопровода, описанный в п.3.2, позволяет оперативно обнаруживать аварии на УТ МЛУ ГТС при полном разрыве.

Проведено множество тестовых примеров, которые подтвердили работоспособность предложенных методов. В частности, рассматривалась схема МЛУ ГТС, представленная на рис. 1.

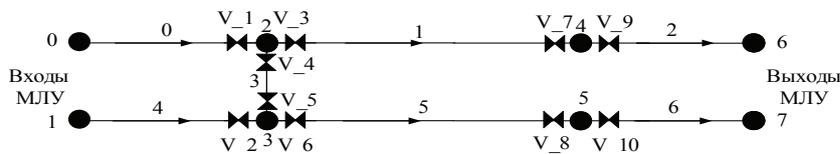


Рис. 1. Расчетная схема МЛУ ГТС

Внутренний диаметр верхней нитки МЛУ ГТС – 981 мм, а нижней – 802 мм, суммарная длина первой нитки – 24.254 км (0-й УТ – 7.5 км, 1-й УТ – 9.3 км, 2-й УТ – 7.454 км), второй – 15.9 км (4-й УТ – 3.3 км, 5-й УТ – 8.0 км, 6-й УТ – 4.6 км), толщина стенок $h=10$ мм, шероховатость труб – 0.03 мм, удельная теплоемкость газа $C_p = 0.655952$ ккал/(кг. $^{\circ}$ С), относительная плотность газа по воздуху $\Delta = 0.604707$, коэффициент теплопередачи от газа к грунту $K = 1.4$ ккал/($m^2 \cdot ч \cdot ^{\circ}$ С), температура грунта на глубине заложения газопровода $t_{гп} = 3^{\circ}$ С. Коэффициент эффективности $E = 0.40189$. Расчет проводился в течение 24-х часов с шагом разностной сетки по времени 0.5 мин. и шагом по пространству равным 0.5 км. Граничные условия представлены в табл. 1.

Таблица 1

Граничные условия	
на входе в УТ	
$P^0(t) = 28.343 \text{ атм}$	$T^0(t) = 3^{\circ}\text{C}$
$P^1(t) = 28.343 \text{ атм}$	$T^1(t) = 3^{\circ}\text{C}$
на выходе из УТ	
$q^6(t) = 7.5264 \text{ млн. м}^3 \text{ в сут.}, t \geq 0 \text{ мин.}$	
$q^7(t) = 2.3 \text{ млн. м}^3 \text{ в сут.}, t \geq 0 \text{ мин.}$	

В качестве начального условия для расчета ННРР по МЛУ ГТС взято стационарное течение газа с давлением на входах $P = 28.343 \text{ атм}$, температурой на входах $T = 3^{\circ}\text{C}$ и суммарным расходом природного газа равным 9.8264 млн. m^3 в сут. на выходах из МЛУ.

Моделировался полный разрыв на выходе из МЛУ ГТС в 6-ом узле. Время разрыва $t_p = 30$ мин.

После подтверждения наличия разрыва в 6-ом узле по критерию (14), происходит локализация аварийно-

го УТ перекрытием линейного крана V_9. Когда давление на 2-ом УТ снижается до атмосферного, процесс истечения природного газа завершается.

Время полного опорожнения 33.5 мин от начала аварии.

Потери природного газа при полном разрыве УТ в 6-ом узле от начала аварии до ее полной локализации в соответствии с формулой (15) составили $Q = 240.5511$ млн.м³ в сут.

Графики распределения давления, температуры и расхода природного газа при моделировании и идентификации полного разрыва вдоль УТ, на котором произошел разрыв, представлены на рис. 2. Графики изменения давления, расхода и температуры от времени в начале и конце аварийного УТ на рис. 3-4.

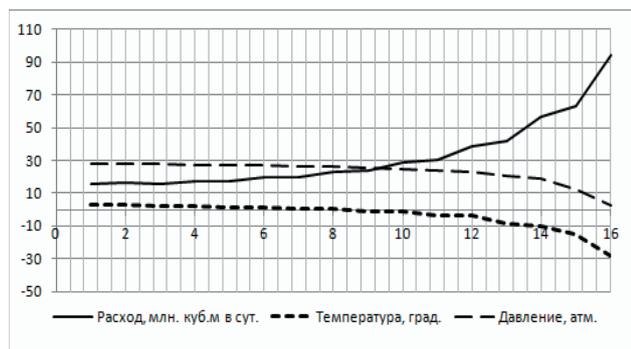


Рис. 2. Графики изменения давления, расхода и температуры вдоль УТ в момент разрыва УТ



Рис. 3. Графики изменения давления, расхода и температуры от времени в начале аварийного УТ

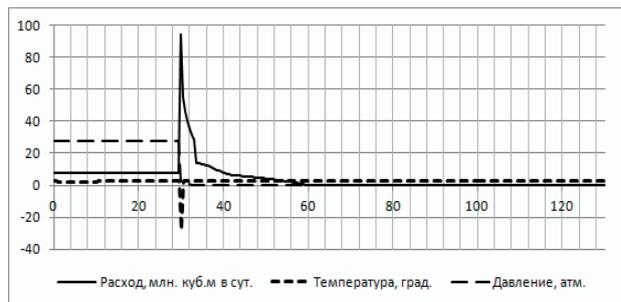


Рис. 4. Графики изменения давления, расхода и температуры от времени в конце аварийного УТ

5. Вывод

Научная новизна – впервые предложен метод идентификации аварийных ситуаций, связанных с полным разрывом УТ МЛУ ГТС, отличающийся от известных методов критерием сравнения расчетных оценок параметров течения природного газа, найденных на основании метода расчета ННРР МЛУ ГТС в режиме реального времени, с результатами измерения, полученными с помощью систем диспетчерского управления и сбора данных и, позволяющий оперативно обнаруживать разрывы УТ на МЛУ ГТС и определить потери газа и время опорожнения УТ с целью предотвращения катастрофических последствий аварий.

Результаты расчета параметров газового потока при полном разрыве УТ МЛУ ГТС и обнаружение разрывов УТ по предложенному методу показали свою работоспособность, и тем самым метод обнаружения разрывов гарантирует надежный и стабильный процесс поставок газа конечному потребителю.

Практическая значимость – с каждым днем повышение уровня безопасности объектов ГТС становится все более актуальной задачей. Решением данной задачи в первую очередь является снижение количества возникающих аварийных ситуаций на УТ МЛУ ГТС. Наибольший вред наносят человеку и окружающей среде аварии, вызванные полным разрывом УТ. Поэтому предложенный в работе метод обнаружения разрывов УТ МЛУ ГТС, повышает степень технической и экологической безопасности ГТС, а определение величины потерь газа позволяет оценить экономический ущерб от аварии.

Литература

1. Каминская, А.В. Численный анализ нестационарных режимов работы многониточных линейных участков газотранспортной системы при различных режимах работы запорной арматуры [Текст] / А.В. Каминская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – 6/3 (42). – С. 21-25.
2. Тевяшев, А.Д. Эффективный метод и алгоритм расчета нестационарных неизоотермических режимов транспорта газа в газотранспортной сети произвольной структуры [Текст] / А.Д. Тевяшев, И.Г. Гусарова, А.В. Чуркина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – 2/3 (20). – С. 45-52.
3. Тевяшев, А.Д. Учет динамики работы запорной арматуры при моделировании нестационарных режимов транспорта газа в магистральных газопроводах [Текст] / А.Д. Тевяшев, И.Г. Гусарова, А.В. Каминская // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2009. – № 147. – С. 104-113.
4. Селезнев, В.Е., Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели и алгоритмы [Текст] / В.Е. Селезнев, В.В. Алешин, С.Н. Прялов. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 695 с.

5. Гусарова, И.Г. Метод анализа существенно нестационарных неизотермических режимов транспорта газа по системе магистральных газопроводов: Дис. канд. техн. наук: 05.13.01; – Защищена 21.02.92; Утверж. 05.06.92. – Х., 1991. – 189 с.: ил. – Библиогр.: с. 179-188.
6. Сарданашвили, С.А. Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа) [Текст] / С.А. Сарданашвили. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. – 577 с.
7. Тевяшев, А.Д. Математическая модель и метод расчета нестационарных режимов в линейных участках магистральных газопроводов / А.Д. Тевяшев, И.Г. Гусарова, А.В. Каминская // Научно-технический журнал «Радиоэлектроника и информатика». – 2007. – №2(37). – С. 144-150.
8. ОНТП 51-1-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть I. Газопроводы. - Взамен ВСН 51-2-79; Введ.01.01.1986. - М.: Мингазпром, 1986. – 95 с.
9. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов. 4 изд., доп. и перераб. [Текст] / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982 – 672с.

Вирішено задачу сегментації багатомірних часових рядів у режимі online. Запропоновано модифікацію метода нечіткої кластеризації Гата-Гевы, що дозволяє вимірювати однорідність сегментів та будувати нечіткі множини для представлення сегментів у часі

Ключові слова: нечітка сегментація, багатомірний часовий ряд

Решена задача сегментации многомерных временных рядов в режиме online. Предложена модификация метода нечеткой кластеризации Гата-Гевы, позволяющая измерять однородность сегментов и строить нечеткие множества для представления сегментов во времени

Ключевые слова: нечеткая сегментация, многомерный временной ряд

The task of online multidimensional time-series segmentation is solved. Gath-Geva modified fuzzy clusterization method is proposed. It allows to measure segments' homogeneity and to build fuzzy sets to represent segments in time domain

Keywords: fuzzy segmentation, multidimensional time-series

УДК 004.032.26

СЕГМЕНТАЦИЯ МНОГОМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

А.К. Тищенко

Аспирант*

Контактный тел.: 050-607-90-89

E-mail: lehatish@mail.ru

И.П. Плисс

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
старший научный сотрудник*

Контактный тел.: (057) 702-18-90

E-mail: pliss@kture.kharkov.ua

*Проблемная научно-исследовательская лаборатория
автоматизированных систем управления
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Введение

Разбиение временного ряда на внутренние однородные сегменты занимает важное место среди задач интеллектуального анализа данных [1,2], так как позволяет по сути выделять из больших объемов информации ключевые характеристики временного ряда в более компактной форме. Изменения свойств многомерного временного ряда обычно слабо уловимы и не фокусируются на какой-то определенной временной точке. Поэтому использование четких границ сегментов не имеет смысла с практической

точки зрения. Ключевой проблемой применения нечеткой кластеризации в задачах сегментации временных рядов является выбор количества сегментов для кластеризации.

В общем случае задача сегментации временного ряда может быть сформулирована следующим образом: найти в некотором смысле лучшее разбиение временного ряда на некоторое количество внутренне однородных сегментов. Как правило, в практических задачах нужно одновременно отслеживать множество параметров, а большинство алгоритмов сегментации используются для анализа лишь какого-то одного.