

2. Міхалева, М. С. Дослідження сучасного стану метрологічного забезпечення, нормування якості харчової продукції, національна стратегія вирішення проблем її якості та безпечності в Україні [Текст] / М. С. Міхалева, О. В. Кутенська // Вісник НУ «Львівська політехніка». — Автоматика, вимірювання та керування. — 2008. — № 608. — С. 143–149.

3. Міхалева, М. С. Шляхи вдосконалення нормування показників якості водних середовищ [Текст] / М. С. Міхалева, П. Г. Столярчук, Т. Г. Бойко, Т. З. Бубела // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2008. — № 2. — С. 34–37.

4. Міхалева, М. Проблеми нормування якості водних середовищ, стічних вод, апаратне і метрологічне забезпечення системи гідро моніторингу [Текст] / М. Міхалева, П. Столярчук // Вимірвальна техніка та метрологія. — 2008. — Вип. 68. — С. 199–203.

5. Нечаев, А. П. Пищевая химия [Текст] / А. П. Нечаев, С. Е. Траубенберг, А. А. Кочеткова и др.; под ред. А. П. Нечаева. — СПб.: ГИОРД, 2001. — 592 с.

6. Міхалева, М. С. Розвиток нормативно-технічного забезпечення оперативного визначення характеристик рідин для контролю стічних вод [Текст] : рукопис, автореферат / М. С. Міхалева. — Львів, 2012.

7. Majewski, J. Zastosowanie sensorów pojemnościowych do szybkiej kontroli parametrów roztworów wieloskładnikowych [Text] / J. Majewski, P. Malaczewski, V. Yatsuk, P. Stolyarczuk, M. Michalewa // Przegląd Elektrotechniczny. — 2010. — Nr 10. — P. 92–95.

8. Stolyarczuk, P. Electric Sensors for Express-Method Checking of Liquid Quality Level Monitoring [Text] / P. Stolyarczuk, V. Yatsuk, Y. Pokhodylo, M. Mikhalieva, T. Boyko, O. Basalkevych // Sensors&Transducers Journal. — 2010. — № 2, Vol. 8. — P. 88–98.

9. Міхалева, М. С. Результати експериментальних досліджень модельних водних розчинів новим електричним імпедансним

методом [Текст] / М. С. Міхалева // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». — Автоматика, вимірювання та керування. — 2010. — № 665. — С. 169–173.

10. Stolyarchuk, P. Multicomponent Liquids' Research [Text] / P. Stolyarchuk, M. Mikhalieva, V. Yatsuk, Ye. Pokhodylo, O. Basalkevych // Sensors and Transducers Journal. — January 2013. — Vol. 148, Issue 1. — P. 95–99. — e-ISSN 1726-5479, ISSN 2306-8515.

КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Представлен анализ результатов экспериментальных исследований водных экстрактов твердого сыра в широком электромагнитном поле частот. Выявлены индивидуальные спектральные характеристики для жидкостей с содержанием пищевой добавки E 225. Предложен метод быстрого контроля концентрации E 225 без лабораторных условий и стоимостной аппаратуры.

Ключевые слова: контроль пищевых продуктов, E 225, комплексная проводимость, кондуктометрическая ячейка, многокомпонентная жидкость.

Міхалева Марина Станіславівна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: galmih@ukr.net.

Михалева Марина Станиславовна, кандидат технических наук, старший научный работник, доцент, кафедра метрологии, стандартизации и сертификации, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Mikhalieva Maryna, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: galmih@ukr.net

УДК [519.85 + 519.2]: 66.662.7

**Тевяшев А. Д.,
Асаенко Ю. С.**

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ
КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА
ТРАНСПОРТА ПРИРОДНОГО ГАЗА
ПО УЧАСТКУ ТРУБОПРОВОДА**

В статье приводятся результаты сравнения метода имитационного моделирования и метода статистической линеаризации для анализа статистических свойств стохастической модели квазистационарного неизотермического режима транспорта природного газа на линейном участке магистрального газопровода. Метод статистической линеаризации может быть использован для улучшения скорости обработки данных, метод имитационного моделирования обеспечивает высокую точность.

Ключевые слова: стохастическая модель, линейный участок, метод статистической линеаризации, метод имитационного моделирования.

1. Введение

Природный газ в Украине является одним из базовых энергоносителей. Он является предметом коммерческих сделок между добывающей компанией, газотранспортными компаниями, региональными компаниями поставщиков газа и конечными потребителями.

Проблема моделирования и оптимизации режимов работы газотранспортных систем (ГТС) была и остается

одной из актуальных проблем в трубопроводных системах энергетики.

**2. Анализ литературных данных
и постановка проблемы**

В настоящее время накоплен значительный опыт по математическому моделированию и оптимизации режимов транспорта и распределения природного газа

в ГТС [1–10]. Однако решение задачи оптимизации стационарных режимов на заданном интервале времени с использованием детерминированных моделей установившегося потокораспределения (при точно заданных значениях всех параметров математических моделей технологического оборудования ГТС и точно заданных значений граничных условий) приводит к тому, что получаемые оптимальные решения находятся, как правило, на границе области допустимых режимов (ОДР). Более того, время существования стационарных режимов работы ГТС практически бесконечно мало по сравнению с заданным интервалом оптимизации [0–T]. На практике это означает, что оптимизация проводится не для интервала времени, а для какого-то момента времени $t \in [0-T]$. Аналогичная ситуация возникает и при использовании детерминированных моделей нестационарного неизоэтермического течения природного газа в ГТС.

Для практической реализации имеющегося в ГТС потенциала оптимизации необходимо перейти к более адекватным стохастическим моделям квазистационарных неизоэтермических режимов транспорта и распределения целевых продуктов в ГТС [1].

Целью проведенных исследований является сравнительный анализ метода имитационного моделирования (ИМ) и метода статистической линеаризации (СЛ) для исследования зависимости статистических свойств зависимых переменных от статистических свойств независимых переменных стохастической модели квазистационарных неизоэтермических режимов транспорта природного газа по участку трубопровода.

3. Стохастическая модель квазистационарного неизоэтермического режима транспорта природного газа на участке магистрального газопровода

Стохастическая модель квазистационарного неизоэтермического режима транспорта природного газа на участке магистрального газопровода имеет вид [2]:

$$M_{\omega} \{ P_n^2(\omega) - P_k^2(\omega) - \beta(\omega)q^2(\omega) \} = 0, \tag{1}$$

$$M_{\omega} \{ T_k(\omega) - T_{гр}(\omega) + (T_n(\omega) - T_{igr}(\omega))e^{-a(\omega)L} \} = 0. \tag{2}$$

Для разрешимости системы (1, 2) необходимо задать следующие условия: $P_n(\omega)$ — начальное давление газа (атмосферы), $T_n(\omega)$ — начальная температура (градусы Цельсия), $q(\omega)$ — расход газа (миллионов m^3 в сутки), $Kt(\omega)$ — теплопередачи конденсата в грунт ($вт/(m^*c)$), $E(\omega)$ — коэффициент эффективности, $\beta(\omega)$ — гидравлическое сопротивление, $P_k(\omega)$ — конечное давление газа, атмосферы $T_k(\omega)$ — конечная температура. Пусть $\omega \in \Omega$, (Ω, B, P) — вероятностное пространство, Ω — пространство элементарных событий; B — σ -алгебра событий из Ω ; P — вероятностная мера на B . $M_{\omega}\{\xi\}$ — символ математического ожидания случайной величины ξ . Где:

$$\beta(\omega) = \frac{\Delta L P_0 T_{cp}(\omega) Z_{cp} q(\omega)^2 \alpha \lambda}{D^{5.2} E(\omega)^2 g \pi^2 R v T_0^2}, \tag{3}$$

$$a(\omega) = \frac{62,6 KB(\omega) D v}{10^6 q(\omega) \Delta S}. \tag{4}$$

Константы: T_0 — температура почвы, D — внутренний диаметр участка трубопровода, Dv — внешний диаметр участка трубопровода, L — длина участка трубопровода, ρ_0 — плотность газа при стандартных условиях, Δ — относительная плотность газа по воздуху, k — коэффициент шерховатости, g — коэффициент свободного падения, R — газовая постоянная, P_0 — давление окружающей среды.

Для исследования статистических свойств зависимых переменных модели (1, 2) от статистических свойств независимых переменных будем использовать 2 метода — метод ИМ и метод СЛ.

4. Метод имитационного моделирования

Для анализа статистических свойств стохастической модели методом ИМ будем использовать датчик случайных чисел «RandomReal» программного пакета «Wolfram Mathematica 9.0», с помощью которого будем генерировать значения случайных величин $P_n(\tilde{\omega})$, $T_n(\tilde{\omega})$, $q(\tilde{\omega})$, $Kt(\tilde{\omega})$, $E(\tilde{\omega})$, с заданными статистическими свойствами. Не нарушая общности, будем предполагать, все случайные величины имеют нормальное распределение $\xi(\omega) \equiv N(\bar{\xi}, \delta_{\xi}^2)$ (табл. 1) и подставляются в стохастическую модель.

Таблица 1

Независимые случайные величины

ξ	Теоретическая оценка \bar{m}_{ξ}	Реальная оценка \bar{m}_{ξ}	Теоретическая оценка δ_{ξ}	Реальная оценка δ_{ξ}	Ассиметрия	Эксцесс
$P_n(\tilde{\omega})$	50,165	50,145	3,34433	3,324	0,0140	2,97775
$T_n(\tilde{\omega})$	56,792	56,7822	3,78613	3,79514	0,0235	3,01881
$q(\tilde{\omega})$	12,1	12,0891	0,806667	0,804787	0,0009	3,06951
$Kt(\tilde{\omega})$	1,34	1,34031	0,0893333	0,0883486	0,0099	2,99548
$E(\tilde{\omega})$	0,95	0,949889	0,0158333	0,0156946	0,0207	3,0251

При заданных значениях случайных величин получаем на 5000 зависимые переменные и определяем их статистические свойства (табл. 2).

Таблица 2

Зависимые переменные

ξ	Теоретическая оценка \bar{m}_{ξ}	Реальная оценка \bar{m}_{ξ}	Теоретическая оценка δ_{ξ}	Реальная оценка δ_{ξ}	Ассиметрия
$P_k(\tilde{\omega})$	41,410	41,1185	4,3691	0,2318	3,1881
$T_r(\tilde{\omega})$	29,011	29,0591	8,9067	0,0320	3,1449

5. Метод статистической линеаризации

Методом СЛ из уравнений (1, 2) получим явное аналитическое выражения для функций $P_k(\omega)$, $T_k(\omega)$. Функции $P_k(\omega)$, $T_k(\omega)$ будем рассматривать как явно детерминированные функции от случайных аргументов:

$$P_k(\omega) = \sqrt{P_n^2(\omega) - \frac{\Delta L P_0 T_{cp}(\omega) Z_{cp} q(\omega)^2 \alpha \lambda}{D^{5.2} E(\omega)^2 g \pi^2 R v T_0^2}}, \tag{5}$$

$$T_k(\omega) = T_{гр} + (T_n(\omega) - T_{гр}) e^{-\frac{62.6 KB(\omega) D_{вЛ}}{10^6 q(\omega) \Delta S}} \quad (6)$$

Метод статистической линеаризации заключается в разложении нелинейных функций в ряд Тейлора в заданной точке, соответствующей математическим ожиданиям с сохранением линейных членов. Тогда дисперсия величин $P_k(\omega)$, $T_k(\omega)$ определится по формуле [3]:

$$\sigma_{P_k}^2 = \left(\frac{\partial P_k}{\partial P_n}\right)_{\hat{P}_n}^2 \sigma_{P_n}^2 + \left(\frac{\partial P_k}{\partial \hat{T}_n}\right)_{\hat{T}_n}^2 \sigma_{T_n}^2 + \left(\frac{\partial P_k}{\partial q}\right)_{\hat{q}}^2 \sigma_q^2 + \left(\frac{\partial P_k}{\partial Kt}\right)_{\hat{Kt}}^2 \sigma_{Kt}^2 + \left(\frac{\partial P_k}{\partial E}\right)_{\hat{E}}^2 \sigma_E^2, \quad (13)$$

$$\sigma_{T_k}^2 = \left(\frac{\partial T_k}{\partial P_n}\right)_{\hat{P}_n}^2 \sigma_{P_n}^2 + \left(\frac{\partial T_k}{\partial \hat{T}_n}\right)_{\hat{T}_n}^2 \sigma_{T_n}^2 + \left(\frac{\partial T_k}{\partial q}\right)_{\hat{q}}^2 \sigma_q^2 + \left(\frac{\partial T_k}{\partial Kt}\right)_{\hat{Kt}}^2 \sigma_{Kt}^2 + \left(\frac{\partial T_k}{\partial E}\right)_{\hat{E}}^2 \sigma_E^2. \quad (14)$$

По данным, полученным методом ИМ и методом СЛ и составим таблицу результатов.

6. Результаты сравнительного анализа методов ИМ и СЛ

Для сравнительного анализа для всех случайных величин было принято: $3\delta_f = 0,03 * m_f$, где f — случайная величина, m_f — математическое ожидание, δ_f — среднеквадратическое отклонение (табл. 3).

Таблица 3

Результаты сравнительного анализа

Метод	σ_{P_n}	σ_{T_n}	σ_q	σ_E	σ_{P_k}	σ_{T_k}
ИМ	0,5016	0,5679	0,121	0,01583	0,0134	0,7233
СЛ	0,4980	0,5712	0,120	0,01569	0,01341	0,7228

7. Выводы

В данной работе было произведено исследование стохастической математической модели процесса транспортирования газа по линейному участку газопровода. Был проведен сравнительный анализ метода ИМ и метода СЛ.

В результате метод СЛ был признан более эффективным, так как он позволяет получить такие же результаты с низкой погрешностью, как и метод имитационного моделирования, но при этом количество вычислений было значительно уменьшено. Это позволяет повысить скорость вычисления параметров отдельного участка трубопровода и модели газотранспортной сети в целом.

Литература

1. Тевяшев, А. Д. Стохастические модели и методы оптимизации режимов работы газотранспортных систем [Текст] / А. Д. Тевяшев // Технологический аудит и резервы производства. — 2013. — Т. 6, № 4(14). — С. 49–51.
2. Тевяшев, А. Д. Статистический анализ свойств стохастической модели квазистационарных режимов транспорта и распре-

- ления природного газа в газотранспортных системах [Текст] / А. Д. Тевяшев, Ю. С. Асаенко // 19-я Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии» ИСТ-2013. — С. 37.
3. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. — 4-е изд. — Москва: Наука, 1969. — 576 с.
4. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. — Харьков: Вища школа, 1980. — 144 с.
5. Новицкий, Н. Н. Трубопроводные системы энергетики: математическое моделирование и оптимизация [Текст] / Н. Н. Новицкий, М. Г. Сухарев, А. Д. Тевяшев и др. — Новосибирск: Наука, 2010. — 419 с.
6. Тевяшев, А. Д. Об одной стратегии оптимизации режимов работы газотранспортных систем [Текст] / А. Д. Тевяшев, О. А. Тевяшева, В. С. Смирнова, В. А. Фролов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — Т. 4, № 3(46). — С. 48–52.
7. Тевяшев, А. Д. Об одном классе стохастических моделей квазистационарных режимов работы газотранспортных систем [Текст] / А. Д. Тевяшев, О. А. Тевяшева, В. А. Фролов // Радиоэлектроника и информатика. — 2011. — № 3. — С. 75–81.
8. Лурье, М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа [Текст] / М. В. Лурье. — М.: ФГУП «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. — 336 с.
9. Сарданашвили, С. А. Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа) [Текст] / С. А. Сарданашвили. — М.: ФГУП «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. — 577 с.
10. Меренков, А. П. Математическое моделирование и оптимизация систем, тепло-, водо-, нефте- и газопотребления [Текст] / А. П. Меренков, Е. В. Сепнова, С. В. Сумарков и др. — Новосибирск: В. О. «Наука», 1992. — 406 с.

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛІ КВАЗИСТАЦІОНАРНОГО РЕЖИМУ ТРАНСПОРТУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ

У статті наводяться результати порівняння методу імітаційного моделювання та методу статистичної лінеаризації для аналізу статистичних властивостей стохастичної моделі квазистационарного неізотермічного режиму транспорту природного газу на лінійній ділянці магістрального газопроводу. Метод статистичної лінеаризації може бути використаний для поліпшення швидкості обробки даних, метод імітаційного моделювання забезпечує високу точність.

Ключові слова: стохастична модель, лінійна ділянка, метод статистичної лінеаризації, метод імітаційного моделювання.

Тевяшев Андрій Дмитрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, e-mail: tevyashev@kture.kharkov.ua.

Асаенко Юрій Сергеевич, аспірант, кафедра прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, e-mail: esset8@gmail.com.

Тевяшев Андрій Дмитрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Асаенко Юрій Сергійович, аспірант, кафедра прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Tevyashev Andrew, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: tevyashev@kture.kharkov.ua.

Asaenko Yuri, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: esset8@gmail.com