



СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

*Тевяшев А.Д., Щелкалин В.Н.*

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

Непрерывный рост цен на природный газ, поставляемый в газотранспортную систему (ГТС) Украины из России, привёл к необходимости организации как можно более точного учёта фактических объемов газа, потребляемого различными сегментами промышленности и конкретными предприятиями, так и к необходимости разработки и внедрения новых газо- и ресурсосберегающих технологий транспорта и распределения природного газа в ГТС Украины. Необходимым условием разработки и внедрения таких технологий является обеспечение непрерывного мониторинга не только объемов поставляемого потребителям природного газа, но и всех его физических параметров: давления, температуры, компонентного состава, плотности, влажности, удельной теплоты сгорания и числа Воббе. В настоящее время это становится возможным путем модернизации газоизмерительных станций (ГИС) на всех входах и выходах ГТС и газораспределительных станций (ГРС) у наиболее крупных, стратегических потребителей природного газа путём включения в их состав узлов измерения количества и состава природного газа и соответствующих систем автоматического управления (САУ) ГИС и САУ ГРС. Эти САУ обеспечивают автоматическое выполнение функций сбора, обработки, отображения, регистрации информации по учету физических параметров природного газа и контроля его качественных характеристик, а также безопасное функционирование оборудования ГИС. САУ имеют многоуровневую иерархическую структуру и выполняют следующие основные функции:

- автоматическое измерение (оценивание) значения избыточного давления и температуры природного газа;
- автоматическое измерение расхода и оценивание количества природного газа, приведенного к стандартным условиям;
- автоматическое измерение компонентного состава газа, оценивание теплотворной способности газа, плотности, влажности, удельной теплоты сгорания и числа Воббе природного газа при нормальных условиях с передачей данных в вычислители расхода;
- автоматическое измерение температуры «точки росы» по воде и углеводородам;
- контроль содержания серосодержащих соединений в газе;
- формирование и передача на верхний уровень управления отчетов о расходе и качественных показателей газа.

Кроме того, современные SCADA системы и САУ ГПА, САУ КЦ, САУ КС обеспечивают верхний уровень управления полной и достоверной информацией о всех основных параметрах работы силового оборудования и параметрах газовых потоков на входах и выходах ГПА, КЦ, КС. Этот информационный базис открывает широкие возможности совершенствования систем управления режимами транспорта и распределения природного газа в ГТС и перехода к выработке управляющих воздействий упреждающего характера. Необходимым условием создания таких систем управления является решение проблемы прогнозирования физических параметров процессов потребления природного газа в ГТС. В работе [1] рассмотрены математические модели и методы прогнозирования основных возмущающих факторов - процессов потребления природного газа всеми категориями потребителей газотранспортной системы Украины. Если изменение физических параметров процессов потребления природного газа (расхода, компонентного состава, давления, температуры и влажности) рассматривать в виде случайных процессов, то, с формальной точки зрения, решение этой проблемы сводится к построению наиболее адекватной математической модели векторных взаимосвязанных случайных процессов, зависящих как от множества внутренних управляемых переменных, так и от множества внешних случайных



## Секция 2. Современные информационные, ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии в энергетике

факторов и её использование для решения задачи прогнозирования с заданным упреждением. Эффективное решение этой проблемы позволяет не только решить техническую проблему совершенствования систем управления режимами транспорта и распределения природного газа в ГТС, но и является необходимым базисом для решения важнейшей экономической задачи – перехода к оплате не за объёмы потребляемого газа, а за его качество – объёмы потребляемой тепловой энергии, определяемой его фактической теплотворной способностью, т.е. фактическим составом потребляемого природного газа.

В докладе впервые сформулирована и решена проблема прогнозирования, с заданным упреждением, физических параметров процессов потребления природного газа на всех выходах ГТС (выходах ГРС) с последующей детализацией (при необходимости) для всех категорий потребителей природного газа, подключённых к каждой ГРС. Главными технологическими элементами ГТС Украины являются многониточные магистральные газопроводы (МГ), многоцеховые компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС), подземные хранилища газа (ПХГ) и месторождения природного газа (МПГ). МГ ГТС соединены между собою системными газопроводами-перемычками, которые обеспечивают повышение показателей надежности ГТС и обеспечивают возможность эффективно маневрировать направлениями потоков газа. Учитывая огромную размерность ГТС Украины, для постановки и решения задачи прогнозирования физических параметров процессов потребления природного газа в ГТС, структуру ГТС представим в виде взаимосвязанной системы стандартизованных локальных подсистем (ЛП). Каждая ЛП представляет собой многоцеховую КС и прилегающий к ней многониточный линейный участок (ЛУ). Не нарушая общности, будем полагать, что на каждой КС имеется  $n_1$  КЦ и каждый КЦ работает на свою нитку ЛУ. Кроме того, будем предполагать, что ЛП имеет  $n_2$  ГРС (выходов), а также может иметь  $n_3$  дополнительных входов (выходов) от дожимной КС ПХГ в зависимости от того в каком режиме работает ДКС – отбор/закачка ПГ в/из ПХГ. В этом случае, каждая ЛП может иметь максимум  $L = n_1 + n_3$  входов и  $N = n_1 + n_2 + n_3$  выходов.

Построение математической модели изменения физических параметров процессов потребления природного газа для каждого выхода каждой ЛП ГТС будем проводить в классе математических моделей многомерных многосвязных линейных стохастических систем вида VARMAX-модели, имеющей  $r_j^{(i)}$  входов,  $m^{(i)}$  выходов и  $m^{(i)}$  шумов,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, L}$  [2]:

$$A^{(i)}(B)Y^{(i)}(t) = \sum_{j=1}^L G_j^{(i)}(B)U_j^{(i)}(t) + F^{(i)}(t) + D^{(i)}(B)W^{(i)}(t), \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где

–  $A^{(i)}(B)$ ,  $G_j^{(i)}(B)$ ,  $D^{(i)}(B)$ ,  $i = \overline{1, N}$  – матричные полиномы параметров  $i$ -й модели

$$A^{(i)}(B) = I + \sum_{j=1}^{n_a^{(i)}} A_j^{(i)} B^j, \quad G_j^{(i)}(B) = \sum_{k=1}^{n_{g_j}^{(i)}} [G_j^{(i)}]_k B^k, \quad D^{(i)}(B) = I + \sum_{j=1}^{n_d^{(i)}} D_j^{(i)} B^j$$

степеней  $n_a^{(i)}$ ,  $n_{g_j}^{(i)}$  и  $n_d^{(i)}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, L}$  соответственно;

–  $Y^{(i)}(t) = [y_1^{(i)}(t) \dots y_{m^{(i)}}^{(i)}(t)]^T$ ,  $U_j^{(i)}(t) = [u_j^{(i)}]_1(t) \dots [u_j^{(i)}]_{r_j^{(i)}}(t)]^T$ ,  $F^{(i)}(t) = [f_1^{(i)}(t) \dots f_{m^{(i)}}^{(i)}(t)]^T$ ,

$W^{(i)}(t) = [w_1^{(i)}(t) \dots w_{m^{(i)}}^{(i)}(t)]^T$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, L}$  – векторы выходов, входов, трендов и шумов системы соответственно для момента времени  $t$ ;

–  $A_j^{(i)} [m^{(i)} \times m^{(i)}]$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, n_a^{(i)}}$ ;  $[G_j^{(i)}]_k [m^{(i)} \times r_j^{(i)}]$ ,  $k = \overline{1, n_{g_j}^{(i)}}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, L}$ ;  $D_j^{(i)} [m^{(i)} \times m^{(i)}]$ ,  $i = \overline{1, N}$  – матрицы коэффициентов модели (1), которые необходимо оценить по экспериментальным данным.



## Секция 2. Современные информационные, ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии в энергетике

Вектор прогнозируемых физических параметров процессов потребления природного газа включает шестнадцать компонент  $m = 16$ , причём  $y_1(t)$  – расход;  $y_2(t)$  – давление;  $y_3(t)$  – температура;  $y_4(t)$  – влажность;  $y_5(t)$  – этан;  $y_6(t)$  – пропан;  $y_7(t)$  – изобутан;  $y_8(t)$  – бутан;  $y_9(t)$  – неопентан;  $y_{10}(t)$  – изопентан;  $y_{11}(t)$  – пентан;  $y_{12}(t)$  – углекислый газ;  $y_{13}(t)$  – азот;  $y_{14}(t)$  – кислород;  $y_{15}(t)$  – метан;  $y_{16}(t)$  – температура окружающей среды (воздуха) в районе расположения, соответственно, КС или ГРС. Все компоненты векторов входов  $U_j^{(i)}(t)$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, L}$  соответствуют компонентам вектора выходов  $Y^{(i)}(t)$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Для связи параметров газовых потоков на входах и выходах КЦ используются синтезированные полиномиальные модели КЦ 2-4 порядка. Синтез модели КЦ осуществляется автоматически на основании полиномиальных моделей фактически работающих в данном КЦ ГПА и аппаратов воздушного охлаждения (АВО).

Идентификация структуры и оценивание параметров VARMAX-модели, ГПА и АВО осуществляется автоматически по оперативным данным пассивного эксперимента.

Неоспоримым преимуществом использования разработанных моделей и методов является исключение человеческого фактора из процесса идентификации структуры и оценивания параметров моделей. Система обеспечивает непрерывную адаптацию структуры и параметров модели к изменению параметров газовых потоков и параметров силового оборудования и позволяет, для каждого фиксированного момента времени  $t$ , получать математическую модель каждой ЛП в виде взаимосвязанных систем стохастических разностных и алгебраических уравнений, адекватно описывающих стационарные и нестационарные режимы транспорта и распределения природного газа в каждой ЛП вплоть до момента времени  $t$ . Полученные модели ЛП открывают широкие возможности не только для прогнозирования изменения физических параметров процессов потребления природного газа для каждого выхода каждой ЛП, но и реализации (или выработке рекомендаций) в реальном масштабе времени управляющих воздействий в соответствии с заданной системой критериев оптимизации. Оптимизация стационарных и нестационарных режимов транспорта и распределения природного газа в каждой ЛП осуществляется по различным критериям:

- максимум математического ожидания производительности;
- минимум математического ожидания затрат энергоресурсов (топливного газа ГПА и электроэнергии АВО);
- минимум математического ожидания стоимостных затрат энергоресурсов (топливного газа ГПА и электроэнергии АВО);
- максимум математического ожидания режимной устойчивости;
- минимум вероятности возникновения дефицита поставки природного газа конкретному потребителю или группе потребителей в зоне ответственности ГРС;
- минимум вероятности возникновения техногенных катастроф связанных с отказами (разрушением) технологического оборудования.

В докладе приведены: алгоритм линейного многоэтапного оценивания структуры и параметров VARMAX-модели по оперативным данным пассивного эксперимента; критерии оценивания степени адекватности полученной модели и результаты вычисления прогноза с заданным упреждением.

1. Тевяшев А.Д., Выходцев Е.Н., Щелкалин В.Н., Игнатова Ю.В. Информационно-аналитическая система прогнозирования процессов потребления природного газа в газотранспортной системе Украины // Радиоэлектроника и информатика, 2011, №3 (54). – с. 92-98.

2. Кашьяп Р.Л., Рао А.Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. – М.: Наука, 1983. – 384 с.