

# Нейро-нечеткая модель контроля баланса газа

А. М. Сеница<sup>1</sup>, А. К. Петрова<sup>2</sup>

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
<sup>1</sup>amsinitca@etu.ru, <sup>2</sup>ak72p@yandex.ru

**Аннотация.** Задача контроля баланса газа в газотранспортной системе остается актуальной. Одним из инструментов для решения этой задачи являются нейронные сети, и сочетание их с нечеткой логикой. Применение нейро-нечеткой модели для контроля баланса газа рассматривается в данной статье.

**Ключевые слова:** газораспределительные системы; нейронные сети; разбаланс газа; нечеткая логика

## I. ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Основными объектами в системе магистральных газопроводов являются газораспределительная станция (ГРС) и газоизмерительная станция (ГИС). Газораспределительная станция – совокупность установок и технического оборудования, измерительных и вспомогательных систем распределения газа и регулирования его давления. Функцией ГРС является понижение давления газа в трубопроводе и его подготовка для потребителя. Газоизмерительные станции (ГИС) входят в состав технологических объектов магистральных газопроводов и обеспечивают коммерческую передачу газа потребителям [1, 2].

При этом количество вещества, которое проходит через сечение трубопровода в единицу времени, называют расходом и измеряют расходомером. Для измерения количества вещества, проходящего через сечение за длительное время, применяют суммирующие приборы: счетчики или расходомеры со счетчиками [3].

Основные технологические процессы, осуществляемые на ГРС:

- очистка газа от твердых и жидких примесей,
- редуцирование давления,
- одоризация,
- учет количества (расхода) газа перед подачей его потребителю [4].

Учет – это переход от результатов измерений к значениям величин, используемым для взаиморасчетов между поставщиком и потребителями, на основании взаимосогласованных правил.

Сведение баланса – распределение небаланса между участниками коммерческого учета в устойчивой структуре газораспределения за сутки или за отчетный период, в результате которого значения объема в стандартных условиях, поданного поставщиком в точности равен сумме объе-

мов потребителей с учетом норм бесприборного потребления газа в сутки или за отчетный период [5].

Одной из основных проблем при распределении природного газа являются разбаланс – разница между количеством вещества, поступившим в трубопроводную сеть устойчивой структуры газораспределения и отобранным из нее участниками коммерческого учета за сутки или за отчетный период. Основные причины разбаланса: погрешность измерений, технологические потери, несанкционированный отбор, аварийные ситуации, несовершенство системы учета газа, потребляемого конечным пользователем и др. [6, 7, 8, 9, 10]

Для решения задачи контроля баланса в настоящее время одним из рассматриваемых методов является применение алгоритмов машинного обучения, в частности, нейросетевых алгоритмов [11, 12]. Преимуществами нейронной сети являются возможность обрабатывать большие объемы данных в силу меньшей зависимости от числа элементов и размерности данных, чем классические методы машинного обучения, инвариантность к шумам, и способность работать в условиях неполноты и неравномерности данных [13, 14].

## II. ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

В статье рассматривается пример обучения нейросети на накопленной статистической информации по учету газа за 7 месяцев на 190 станциях ГРС с целью определить возможность детектирования отклонений показаний по учету газа и контроля баланса газа. Графически часть данных в нормализованном виде представлена на рис. 1. Обучение выполнено в среде Matlab

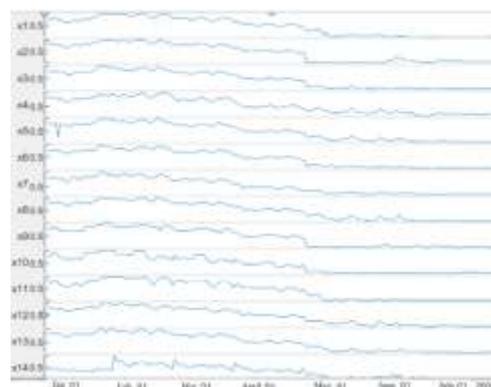


Рис. 1. Графическое представление данных ГРС,  $x_i$  – расход газа на  $i$ -той станции

Визуальное представление, график ошибки обучения по данным ГРС и ошибка обучения нейронной сети представлены ниже.

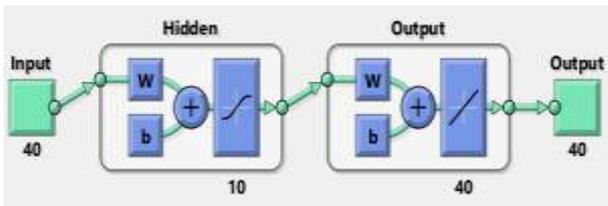


Рис. 2. Визуальное представление нейронной сети

В рассмотренной нейросети входной слой – это набор входных параметров: выходная температура измерительной нитки  $t$ , гр.Ц, избыточное давление в трубе  $P_i$ , кгс/см<sup>2</sup>, расход в рабочих условиях  $Q_{нек}$ , м<sup>3</sup>, и др.

Далее данные смешиваются со случайными величинами, чтобы не допустить переобучение сети. Скрытые слои – полносвязные слои прямого распространения, функция активации RELU. Между ними также происходит предотвращение переобучения.

На последнем, выходном слое нейросеть показывает, при каком сочетании параметров выдается ошибочное значение баланса газа, используется функция активации softmax.

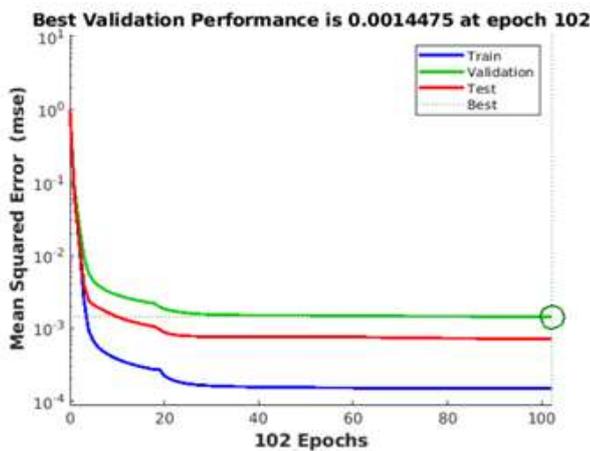


Рис. 3. График ошибки обучения нейросетевой модели по данным ГРС

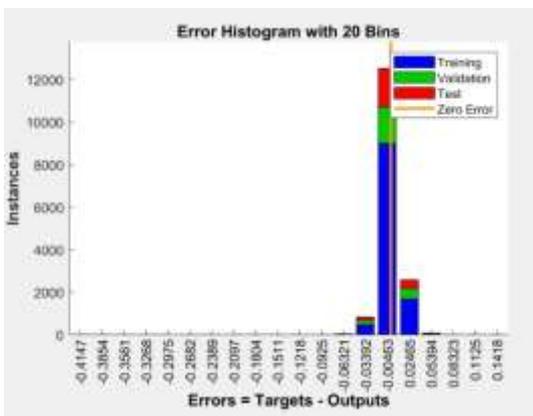


Рис. 4. Ошибка обучения нейросети по данным ГРС

### III. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Далее используется нечеткая логика для создания нейро-нечеткой модели. Кортеж выглядит следующим образом [15, 16]:

$$V_{разб} = \langle X, Y, Z, \mu(z), R_z, F, D, W \rangle$$

$X, Y, Z$  – множества,  $X$  – четкое множество входных параметров рабочей и внешней сред,  $x_i \in X: i \in \{1; I\}$ ;  $Y$  – четкое множество, где термы – переменные, определяющие результат сравнения соответствия предсказания обученной нейросети и значений тестовой выборки,  $y_j \in Y: j \in \{1; J\}$ ;  $Z$  – нечеткое множество, где термы – значения выходной переменной, то есть уровня разбаланса  $Z: l \in \{1; L\}$ .

$R_z$  – нечеткие отношения, позволяющие со степенью принадлежности  $\mu(z)$  отобразить любую пару из конъюнкции множеств  $X$  и  $Y$  на множество  $Z$ :

$$F(x_i) \text{ and } F(y_j) \rightarrow \sum_{l=1}^L \frac{z_l}{\mu(z)}$$

$F, D$  – процедура фазификации и дефазификации соответственно;  $W$  – блок нечеткого логического вывода;  $\mu(z)$  – функция принадлежности (представлена на рис. 5), определяющая степень соответствия множеств входных факторов множеству  $Z$  [17]:

$$\mu(x, a, b, c, d) = 1, \begin{cases} 1 - (b - x)/(b - a), & a < x \leq b; \\ b < x \leq c; \\ 1 - (x - c)/(d - c), & c < x \leq d; \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

где  $a, b, c, d$  – некоторые числовые параметры, упорядоченные отношением  $a \leq b \leq c \leq d$ , согласно которым функция принадлежности терма «Соответствие величины разбаланса требуемому уровню» описывается параметрами [0–15 %].

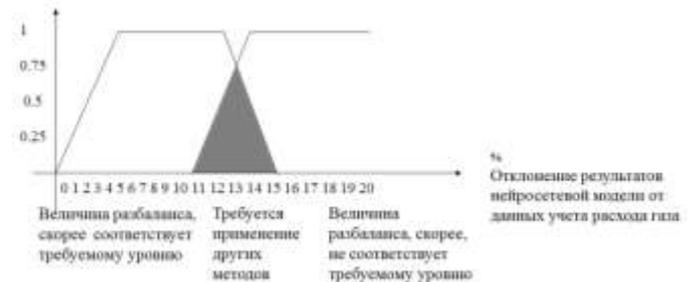


Рис. 5. Функция принадлежности нечеткого множества уровня разбаланса

Решения принимаются таким образом:

При  $F(x_i) \approx F(y_i), \Rightarrow \frac{z_l}{\mu(z)} =$  «величина разбаланса, скорее, соответствует требуемому уровню»

При  $F(x_i) \neq F(y_i), \Rightarrow \frac{z_l}{\mu(z)} =$  «величина разбаланса, скорее, не соответствует требуемому уровню»

Результат нечеткой оценки разбаланса представлен в таблице.

ТАБЛИЦА I РЕЗУЛЬТАТ НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ РАЗБАЛАНСА ГАЗА

Отклонение результатов нейросетевой модели от данных учета расхода газа %	Степень принадлежности к нечеткому множеству «уровень разбаланса»	
	$\mu(z)_1$	$\mu(z)_2$
10	1	0
11	0.8	0.2
12	0.6	0.4
13	0.4	0.6
14	0.2	0.8
15	0	1

На выходе осуществляется операция дефаззификации по методу центраида [17]:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(x) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(x)}$$

Нейросетевая модель определения величины разбаланса представлена на рис. 6.



Рис. 6. Нейро-нечеткая модель определения величины разбаланса

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы построена нейронечеткая модель контроля баланса газа в газотранспортной системе. Компьютерная программа, автоматизирующая алгоритмы принятия решений о соответствии значений баланса нормативным требованиям, может быть предложена к внедрению в технологический процесс учета, для применения диспетчерскими службами УУГ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] СТО ГАЗПРОМ 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов, стандарт организации, Москва, 2006.
- [2] СТО Газпром 097-2011 Автоматизация. Телемеханизация. Автоматизированные системы управления технологическими процессами добычи, транспортировки и подземного хранения газа. Основные положения, стандарт организации, Москва, 2012.
- [3] ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения, 1992.
- [4] РД 153-39.4-079-01. Методика определения расхода газа на технологические нужды предприятий газового хозяйства и потерь в системах распределения газа.
- [5] Хворов Г.А., Козлов С.И., Акопова Г.С., Евстифеев А.А. Сокращение потерь природного газа при транспортировке по магистральным газопроводам ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2013. № 12. С. 66–69.
- [6] Игнатъев А.А. Оценка причин разбаланса объемов газа в системе «поставщик – потребитель» // Газовая промышленность. 2010. № 6. С. 20–22.
- [7] Саликов А.Р. Разбаланс в сетях газораспределения // Газ России. 2015. № 4. С. 36–41.
- [8] Информационное письмо Федеральной службы по тарифам (ФСТ) от 28.06.2005 г. Исх. № СН-3923/9 «Об учете потерь газа».
- [9] Unaccounted for gas in natural gas transmission networks: Prediction model and analysis of the solutions / F. Arpino, M. Dell’Isola, G. Ficco, P. Vigo // J. of Natural Gas Science and Engineering. 2014. Vol. 17. P. 58–70.
- [10] Даев Ж.А. Система автоматического контроля разбалансов объема природного газа на основе нейронечеткой модели: Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности 3(548) 2019. С. 37–40.
- [11] Назаров А.В., Лоскутов А.А. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. СПб.: Наука и техника, 2003, 384 с.
- [12] Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. М.: Горячая линия - Телеком, 2004. 143 с.
- [13] Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология М.: «Издательство Машиностроение – 1», 2004.
- [14] A. Vellidoa, P.J.G. Lisboaa, J. Vaughanb Neural networks in business: a survey of applications (1992–1998): Expert Systems with Applications 17 (1999) 51–70.
- [15] Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л.А. Заде. // Математика сегодня: Сборник статей; пер. с англ. М.: Знание, 1974. С. 5–49.p.
- [16] Штовба, С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику – <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>
- [17] Ярушкина П.Л. Основы теории нечетких и гибридных систем: учеб. пособие / П.Л. Ярушкина. Москва: Финансы и статистика, 2009. 320 с.