

# Подход к управлению технологическим процессом учета расхода газа на основе дискретного автомата

А. К. Петрова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
akpetrova@etu.ru

**Аннотация.** Технологический процесс учета расхода газа – один из основных в газотранспортной системе. На основе результатов учета формируется информация для принятия решений о балансе или наличии небаланса газа в сети. Баланс газа является одной из ключевых задач управления газотранспортной системой актуально исследовать новые подходы к ее решению. Поскольку управление технологическим циклом подразумевает формирование дискретной во времени последовательности команд, в данной статье рассматривается подход к управлению, основанный на применении дискретного автомата, в сочетании с интеллектуальными методами.

**Ключевые слова:** газотранспортная система, управление балансом газа, технологический процесс учета расхода газа, дискретный автомат, причины небаланса, мероприятия по устранению

## I. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УЧЕТА РАСХОДА ГАЗА КАК АБСТРАКТНЫЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ ОБЪЕКТ

### A. Баланс газа в газотранспортной системе

Баланс газа – разница между входящими и выходящими потоками газа в газотранспортной системе (ГТС) – является одним из важнейших показателей эффективности ее деятельности. Систему управления балансом газа в газотранспортной системе иллюстрирует рис. 1 [1].

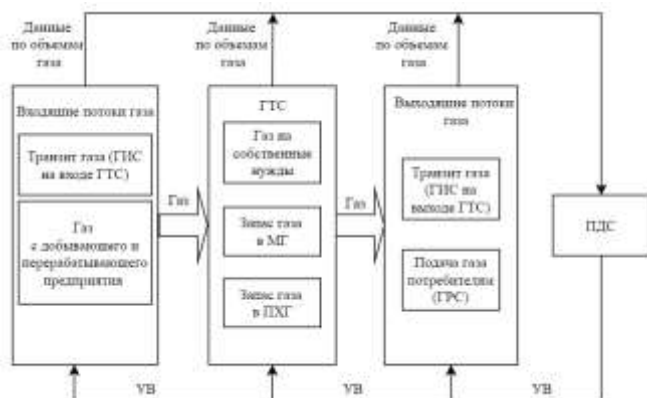


Рис. 1. Система управления балансом газа в ГТС

Баланс определяется объемами газа, проходящими через элементы ГТС. Элементы ГТС: газоизмерительная

станция (ГИС) на входе ГТС, объемы, проходящие через нее, обозначаются как  $Q_{\text{ГТСвх}}$ , подземное хранилище (ПХГ) газа –  $Q_{\text{ПХГ}}$ , газораспределительные станции (ГРС), с направляемыми через них потребителям объемами газа  $Q_{\text{ГРС}}$ , запас в магистральном трубопроводе (МГ)  $Q_{\text{запас}}$ , израсходованного на собственные нужды (СН)  $Q_{\text{СН}}$  и переданного в следующий регион через ГИС на выходе ГТС –  $Q_{\text{ГТСвых}}$ . Управление и контроль происходит на производственно-диспетчерском пункте ПДС. В случае неравенства входящих и выходящих потоков в системе идентифицируют,  $Q_{\text{неб}}$ , или небаланс [2, 3].

В системе учета небаланс складывается из отклонений, возникших по тем или иным причинам в результатах технологического процесса учета расхода газа на ГИС и ГРС, и в расчетах запаса в МГ и на СН.

Причины небаланса обусловлены состоянием трубопровода, рабочей среды (свойствами газа), процедурами учета и расчета, корректностью средств и процесса измерения, а также организационными факторами [4].

### B. Технологический процесс учета расхода газа

В статье рассматривается технологический процесс учета расхода газа на ГИС и ГРС и возможность автоматизации контроля отклонений его параметров, с целью повышения эффективности системы управления балансом газа в ГТС. Рис. 2 представляет процесс учета расхода газа как абстрактный управляемый объект [5].



Рис. 2. Процесс учета расхода газа как абстрактный управляемый объект

На рис. 2 в качестве управляющих воздействий приведены давление на входе ГИС или ГРС; управляемой переменной является объемный расход газа, измеренный датчиком, расходомером или сужающим устройством; возмущающими факторами являются давление  $P_{вх}$  на входе ГИС или ГРС и внешние воздействия  $\sigma$ , включающие в себя:  $T_{окр}$  – температура окружающей среды,  $P_{атм}$  – атмосферное давление,  $K_{тр}$  – состояние трубопровода,  $K_{орг}$  – организационные факторы (ошибки операторов, нарушение процедур учета, незаконный отбор),  $\Delta_{си}$  – погрешности средств измерения, а также факторы, характеризующие состояние рабочей среды (газа): компонентный состав  $K_r$ , температуру  $T$  и коэффициент сжимаемости  $Z$ .

## II. ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО АВТОМАТА В ТП УЧЕТА РАСХОДА ГАЗА

### A. Понятие дискретного автомата

Согласно [6], автомат – это устройство, находящееся в каждый дискретный момент времени в одном из внутренних состояний и имеющее входной и выходной каналы. По входному каналу поступают сигналы – воздействия, по выходному сигналу выдается сигнал – реакция. Для описания состояний автомата, а также сигналов воздействия и реакции задаются соответствующие алфавиты. Законы взаимодействия элементов этих алфавитов определяются функциями, отображающими пару состояние - входной сигнал в состояние и выходной сигнал [6].

Процесс управления объектом происходит за счет того, что состояния автомата сопоставляются с состояниями объекта, в данном случае с ТП учета расхода газа. Каждое состояние автомата поддерживает объект в соответствующем режиме, а переход автомата в новое состояние приводит к переходу объекта в новый режим [7].

Поскольку количество реакций выходного канала автомата, то есть количество мер по устранению аномалий в ТП учета расхода газа, конечно, для данной задачи применяется конечный автомат, при котором отображение  $t: S \times A \rightarrow S$ , где множества  $S$  и  $A$  конечны,  $S$  – множество состояний автомата,  $A$  – алфавит [7].

### B. Выявление аномалий при помощи нейронных сетей и применение дискретного автомата для управления ТП учета расхода газа

Предлагается идентифицировать аномалии в данных ТП учета расхода газа на газоизмерительных и газораспределительных станциях газотранспортных систем. С целью идентификации аномалий рассматривается применение нейронных сетей, поскольку они доказали свою эффективность при аппроксимации многомерных зависимостей нелинейных величин, какими являются давление, температура, расход газа [8, 9].

Нейросеть была обучена в среде Matlab [10] на основе статистических данных по температуре, давлению и расходу газа на 12 ГРС Калининградского участка Северо-Западной ГТС [11, 12].

Рис. 3 представляет процесс учета расхода газа на основе дискретного автомата.



Рис. 3. Процесс учета расхода газа на основе дискретного автомата

Для идентификации отклонений в ТП учета расхода газа и выявления небаланса в ГТС используются следующие параметры аномалий:

- отклонения значений параметров ТП учета расхода газа от значений, определенных нейронной сетью, обученной на статистических данных;
- длительность этих отклонений во времени;
- скорость нарастания отклонений.

В зависимости от сочетания оцениваемых параметров определяются причины небаланса. Например, длительное, небольшое, не растущее отклонение говорит, скорее всего, о наличии систематической погрешности в средствах измерений, а большое, короткое, не растущее – о постоянном отборе газа из системы. Данные сочетания определены также с помощью экспертов ГТС.

Тогда переменная «расход» может находиться в одном из четырех рабочих состояний («норма», «большое отклонение», «среднее отклонение», «малое отклонение»).

На рис. 4 показана структура системы управления расходом газа на основе дискретного автомата. На данном рисунке ВДкорр – виртуальный датчик корректирующих действий. В зависимости от характера отклонений в ТП учета расхода газа, принимается решение о том или ином корректирующем воздействии.

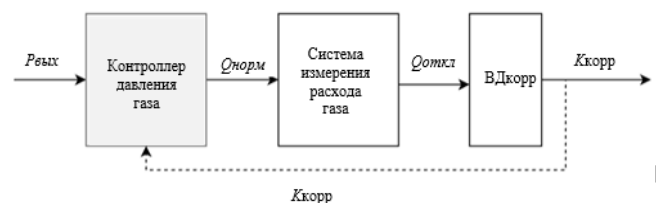


Рис. 4. Структура системы управления расходом газа на основе дискретного автомата

### III. УПРАВЛЕНИЕ БАЛАНСОМ ГАЗА В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО АВТОМАТА

Выявлены факторы-причины аномалий в ТП учета расхода газа и небаланса в ГТС, которые можно распределить на три группы:

- Факторы-причины небаланса 1 типа – связанные с наличием значительных изменений в фактических объемах газа (свищ, резкие скачки параметров при изменении погодных условий, отбор газа без его учета (врезка), авария, разрыв).
- Факторы-причины небаланса 2 типа – связанные с наличием незначительных изменений в физических объемах газа (повышение коэффициента шероховатости внутри стенок, негерметичность фланцевых соединений, механические примеси).
- Факторы-причины небаланса 3 типа – не связанные с наличием изменений в фактических объемах газа (погрешность или отклонения в работе средств измерения, упрощенная линеаризация аналитических выражений расчётных величин, ошибки в расчетах запаса газа и пр.).

Каждому состоянию ТП учета расхода газа, определенному на основе сочетания параметров аномалий, соответствует определенное корректирующее воздействие. Согласно регламентов и результатов опроса экспертов газовой области, для устранения аномалий

осуществляются следующие мероприятия, представленные ниже в обобщённом виде:

1. компенсация за счет расчетно-методической погрешности вычисления запаса газа в магистральном газопроводе;
2. плановая поверка средств измерений;
3. внеплановая поверка средств измерений;
4. проверка действий оператора по подаче давления потребителям;
5. проверка и, при необходимости, корректировка расчетов с потребителями;
6. плановая проверка обходчиком наличия свища или микротрещины;
7. внеплановая проверка обходчиком наличия крупной утечки;
8. направление бригады на устранение крупной утечки;
9. направление комиссии (на проверку попадания в газ влаги или кислорода, наличие врезок);
10. применение уставок, прекращение поставок.

Распределение корректирующих мероприятий в зависимости от сочетаний параметров аномалий в ТП учета расхода газа, объема небаланса и причин, представлено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОЧЕТАНИЙ ПАРАМЕТРОВ АНОМАЛИЙ В ТП УЧЕТА РАСХОДА ГАЗА, ОБЪЕМА НЕБАЛАНСА И ПРИЧИН

Объем небаланса	Отклонение	Длительность	Скорость	Причины	Мероприятия
Большой	Большое	Низкая / средняя / Большая	Низкая / средняя / Большая	1 типа	8-10
	Низкое / среднее / Большое	Большая	Низкая / средняя / Большая		
	Низкое / среднее / Большое	Низкая / средняя / Большая	Большая		
Средний	Среднее	Низкая / средняя	Низкая / средняя	2 типа	6-7
	Низкое / среднее	Средняя	Низкая / средняя		
	Низкое / среднее	Низкая / средняя	Средняя		
Низкий	Низкое	Низкая	Низкая	3 типа	1-5

Работу автомата можно описать (1) [13–15]:

$$Q = F(x, y, s, F, G) \quad (1)$$

где  $x$  – набор векторов входных переменных, здесь параметров аномалий;

$y$  – набор векторов выходных сигналов, в данной задаче объемов небаланса;

$s$  – набор состояний автомата, набор факторов-причин, вследствие влияния которых возникли аномалии в ТП учета расхода газа;

$F$  – функция переходов, мероприятия по корректировке:  $s_{t+1} = F(s_t, x)$ ;

$G$  – функция выходов, условия оптимизации, согласно которым принимается решение в пользу того или иного мероприятия по корректировке:  $u_t = G(s_t, x)$ .

Набор условий включает в себя:

- необходимость первоочередного устранения причин, которые могут создавать пожарную и взрывоопасность;
- необходимость выполнения договоров поставок;
- необходимость выполнения регламентов по затратам на транспортировку;
- минимизация расходов на мероприятия.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье рассматривается подход к управлению ТП расхода газа как части системы баланса газа в ГТС на основе применения дискретного автомата в сочетании с интеллектуальными методами. Благодаря выявлению

таких параметров аномалий в данных, как длительность и скорость нарастания отклонений, сопоставлению их с причинами и корректирующими мероприятиями, а также применению условий оптимизации в качестве функции выходов, становится возможным принимать меры, оптимальные с точки зрения соотношения потерь газа и затрат на профилактику и устранения небаланса. В дальнейшем предполагается построение компьютерных моделей исследованных положений.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает признательность своему научному руководителю доктору технических наук, профессору Лашмановой Н.В. за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по оформлению статьи, Генеральному директору ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург», доктору технических наук Фокину Г.А. за предоставление статистических данных, экспертам ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» Боровикову А.В., Никифорову О.Е. за консультации и помощь в практической части исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Игнатъев А.А. Оценка причин разбаланса объемов газа в системе «поставщик – потребитель» // Газовая промышленность. 2010. № 6. С. 20–22.
- [2] Саликов А.Р. Разбаланс в сетях газораспределения // Газ России. 2015. № 4. С. 36–41.
- [3] Слободчиков К.Ю. Метод формирования расчетных примеров для диспетчерских задач транс-порта газа // Газовая Промышленность 2018; 3:78-86
- [4] Хворов Г.А., Козлов С.И., Аكوпова Г.С., Евстифеев А.А. Сокращение потерь природного газа при транспортировке по магистральным газопроводам ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2013. № 12. С. 66–69.
- [5] Альтшуль С.Д., Имаев Д.Х., Квашнин С.В., Шестопапов М.Ю. Распределенное управление процессами компримирования природного газа, СПб, изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
- [6] Шальто А.А. Алгоритмизация и программирование для систем логического управления и «реактивных» систем. // Автоматика и телемеханика, 2001, N1, С. 3-39.
- [7] Марченко С.С. Избранные главы дискретной математики: Учебное пособие М.: ВМИК МГУ МАКС Пресс; 2015. 134 с.
- [8] Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. Вильямс, 2018.
- [9] Назаров А.В., Лоскутов А.А. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем : Наука и Техника, СПб, 2003, 384 с.
- [10] Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформации. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.
- [11] Петрова А.К. Детектирование аномалий в технологических процессах газотранспортной системы с использованием сетей с долгой краткосрочной памятью (LSTM). // Сборник докладов Международной конференции «Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем» СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022, с. 95-98.
- [12] Петрова А.К. Применение нейросетевых алгоритмов на газоизмерительной станции. // Сборник докладов Всероссийской научной конференции по проблемам управления в технических системах. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. Т. 1. С. 92-94.
- [13] Хопкрофт Д.Э., Мотвани Р., Ульман Д.Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. М.: Вильямс, 2002. 528.
- [14] Алексеев В.Б. «Лекции по дискретной математике ИНФРА М, 2012, 90 с.
- [15] Марценюк М.А., Селетков И.П. Приведение конечного нечеткого автомата к нечеткой комбинационной схеме с блоком памяти. // Научно-технические ведомости СПбГПУ 6' (210) 2014.