



## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Л.И. Бернер, А.С. Хадеев, Ю.М. Зельдин (АО «АтлантТрансГазСистема», МАДИ),  
С.Г. Марченко (ООО «Газпром трансгаз Москва»)

*Рассматривается ряд технологий из общего комплекса инструментов, составляющих понятие искусственного интеллекта, используемых в оперативном диспетчерском управлении газотранспортных систем (ГТС) в штатных и нештатных ситуациях: экспертные системы, прогнозная аналитика, нейронные сети.*

*Ключевые слова: оперативное диспетчерское управление, газотранспортная система, экспертная система, нейронная сеть, прогнозирование, математическая модель.*

### Введение

В сфере транспорта газа диспетчерское управление решает задачу обеспечения сбалансированного режима работы газотранспортной системы (ГТС). ГТС должна иметь достаточные возможности удовлетворить спрос на газ потребителей, в том числе и в случаях резкого колебания спроса по календарным, погодным, экономическим и иным причинам. При этом система должна эксплуатироваться в безопасном режиме, оптимальном по выбранным критериям (чаще всего минимизация энергетических затрат на транспорт газа). Диспетчерское управление на уровне ГТС осуществляет постоянный мониторинг и анализ сети.

Управление ГТС газотранспортного предприятия (ГТП) выполняет производственно-диспетчерская служба, призванная обеспечивать план транспорта газа и гарантированную подачу контрактных объемов газа потребителям. Для успешного решения этих и других задач по управлению ГТС в ГТП действует двухуровневая (ЦДП и ДП линейных производственных управлений) АСУТП, данные для которой в непрерывном режиме поступают от систем линейной телемеханики, САУ газораспределительных станций (ГРС) и компрессорных цехов, других подсистем. Общее наименование поставщиков информации для комплексов диспетчерского управления — системы линейной телемеханики (СЛТМ). Основная миссия СЛТМ — это обнаружение и локализация нештатных ситуаций (порывов газопроводов, утечек и пр.).

Изменения, происходящие в области управления производственными процессами в связи с появлением новых цифровых технологий, не могли не отразиться на нефтегазовой сфере. Это одна из самых наукоемких областей народного хозяйства, которая активно развивает и внедряет инновационные технологии, направленные на повышение эффективности деятельности предприятий. Среди таких инноваций центральное ме-

сто занимают разнообразные методы искусственного интеллекта: машинное обучение, экспертные системы, прогнозная аналитика, нейронные сети и др. Известны примеры успешных реализованных проектов. Так в [1] рассмотрено пилотное решение на основе машинного обучения для оптимального управления режимом добычи нефти, реализованное на одном из месторождений в Западной Сибири. В [2] изложены принципы сбора и подготовки данных, моделирования оборудования, предиктивного обнаружения и обработки событий, соответствующих нарушениям работы и отказам оборудования в химико-технологических процессах. Обсуждаются характеристики различных методов предиктивной аналитики и приводится практический пример ее использования. В [3] показана возможность использования искусственной нейронной сети для решения практических задач хемометрического анализа с использованием БИК-спектроскопии, в частности, для анализа качества нефтепродуктов.

Рассмотрим возможности и преимущества применения технологий искусственного интеллекта в комплексах диспетчерского управления и СЛТМ на примере программно-технических комплексов СПУРТ.

### Базовый комплекс технологической среды на примере СПУРТ-Р

Для решения указанных выше и других задач в АО «АтлантТрансГазСистема» (АО «АТГС») разработан программно-технический комплекс (ПТК) СПУРТ/СПУРТ-Р (индекс «Р» означает, что все компоненты ПТК-российского производства, в том числе программное обеспечение, включенное в Реестр российского ПО Минкомсвязи РФ) [4, 5]. Это полноценный комплексный продукт, отвечающий всем современным требованиям к программно-техническим платформам для создания систем диспетчерского контроля и управления. СПУРТ поддерживает все промышленные про-

токолы передачи данных, может работать в режиме горячего резерва (без необходимости такой поддержки на уровне операционной системы), обладает хорошо продуманной и проработанной объектно-ориентированной базой данных реального времени, векторным интерфейсом и пр. Но основной потенциал системы заложен в организации архитектуры, позволяющей неограниченно наращивать ее дополнительную функциональность. ПТК СПУРТ имеет более сотни внедрений в дочерних обществах ПАО «Газпром» и постоянно развивается за счет включения в систему оперативного диспетчерского управления (СОДУ) на базе СПУРТ новых программных комплексов, таких как «Принятие решений в нештатных ситуациях» [6, 7], «Обнаружение утечек» [8], «Обеспечение поставок газа потребителям промышленного кластера» [9, 10], разработанных совместно со специалистами дочерних обществ ПАО «Газпром».

#### Система поддержки принятия решений в управлении межпромысловым коллектором ООО «Газпром добыча Уренгой»

Одним из важнейших объектов месторождения является межпромысловый коллектор (МПК), задачей которого является сбор газа от газовых промыслов (УКПГ) и транспортировка его на головные компрессорные станции (ГКС). В ООО «Газпром добыча Уренгой» МПК имеет сложную закольцованную структуру со следующими техническими характеристиками:

- 44 крановых площадки линейной части (на 10 из них стоят КП СТН-3000 производства АО «АтлантТрансгазСистема»);
- 19 узлов подключения (УКПГ и три узла ГКС);
- общая длина коллектора — несколько сотен километров.

СЛТМ позволяет обнаружить порыв сегмента МПК (автоматическое определение разрыва по волне давления), однако определение управляющих воздействий для локализации участка представляет собой непростую задачу, требующую зачастую экспертной оценки. В случае неправильной перестановки кранов можно перекрыть поток газа от УКПГ, что приведет к ее аварийному останову, чреватому существенными материальными убытками.

Проблема осложняется тем, что направление течения газа на участках МПК неочевидно. Для визуализации состояния МПК в разработанную систему поддержки принятия решений (СППР) включена постоянно работающая математическая модель ГТС (в данном случае использовалась стационарная модель «Астра»), которая рассчитывает потоки газа и запас газа в коллекторе.

Основным элементом СППР является экспертная система (ЭС), дающая рекомендации диспетчеру при разрывах МПК, аварийных остановах УКПГ и других

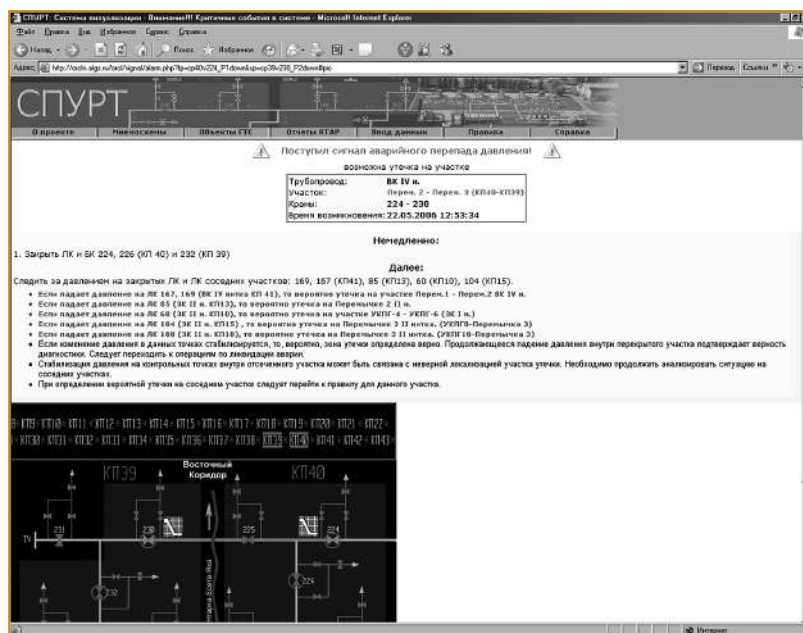


Рис. 1. СПУРТ. Система поддержки принятия решений

нештатных ситуациях. Основой является экспертная база знаний, обеспечивающая выдачу рекомендаций диспетчеру на основе заранее заданных правил, учитывающих режим работы МПК (определяется состоянием основных кранов), режим работы УКПГ и т. п.

В процессе эксплуатации СППР МПК появились новые режимы ГТС коллектора, связанные с последовательным включением дожимных компрессорных станций (ДКС), работой в режиме нескольких гидравлически не связанных частей, что закономерно привело к существенному увеличению числа правил в базе знаний (рис. 1).

Также в ООО «Газпром добыча Уренгой» функционирует тренажер диспетчера МПК с нестационарной моделью «Веста», который дает возможность проработать различные режимы работы МПК, проверять актуальность базы знаний и работу экспертной системы.

#### Экспертные системы для локализации и устранения нештатных ситуаций в линейной части магистрального газопровода

Штатным режимом работы называется тот режим, в котором поведение системы предсказуемо и предопределено нормативами и поведенческими алгоритмами. Для этого режима производится расчет и визуализация режимов работы участков МГ: в работе, остановлен (под газом, без газа). Возможен ручной ввод состояния участка «ведутся плановые работы» и состояния крана «в ремонте». Отображение состояния участков на мнемосхеме АРМ диспетчера существенно увеличивает наглядность схемы и позволяет избежать ошибок при переключении запорной арматуры.

Ситуация, возникновение которой нарушает штатный режим работы называется нештатной. Подобные ситуации нежелательны для надежной работы системы, их возникновение приводит к убыткам, зачастую суще-

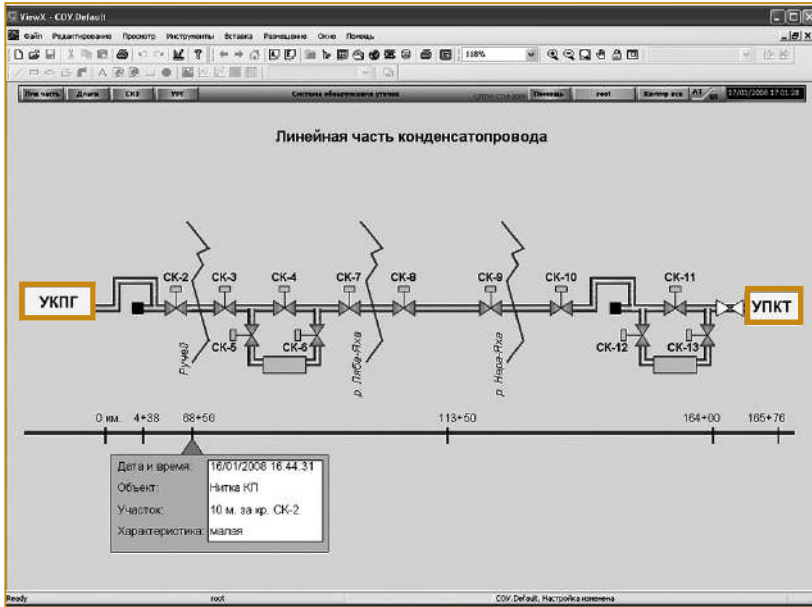


Рис. 2. СПУРТ. Система обнаружения утечек

ственно возрастающим в зависимости от времени обнаружения и ликвидации подобных ситуаций.

Примером нештатной ситуации может служить возникновение прорыва на газопроводе. Основная цель работы СППР при этом — минимизация времени перекрытия аварийного участка, для чего производится идентификация аварийного участка по волне давления, рассчитывается план переключений запорной арматуры для локализации и обхода аварийного участка, сохранения питания ГРС. В системе предусмотрен алгоритм, который в общем виде позволяет определить переключаемые краны, направление переключений (что открыть, что закрыть), с учетом запрещенных к открытию участков (на которых ведутся плановые работы), неисправных и неуправляемых кранов. При невозможности полного выполнения задачи алгоритм обеспечивает частичное решение (например, перекрытие аварийного участка, прохождение газа до следующей КС, но отключение питания ГРС).

Экспертная система для определения плана переключений базируется на графе ГТС, целевых функциях доставки газа до конечных точек с учетом ограничений (локализация аварийного участка, запрет на использование остановленных участков, запрет на переключение кранов «в ремонт» и т. п.) (рис. 2).

Механизм работы СППР, реализующей указанные алгоритмы, следующий:

- телемеханика по скорости падения давления выявляет разрыв участка ГТС;
- СППР по сигналу от телемеханики «разрыв участка» запускает алгоритм расчета плана переключений для локализации разрыва, обеспечения обходных путей прохождения газа;
- СППР отображает найденный план переключений на мнемосхеме АРМ диспетчера, предоставляет интерфейс для немедленного применения решения «нажатием одной кнопки»;

— если диспетчер согласен с предложенным планом переключений и запускает его, система выдает команду на одновременное переключение всех задействованных кранов. Если какой-либо кран из решения не переключился за заданное время, СППР находит новое решение с учетом этого факта. При этом анализируются значения давления на случай несрабатывания конечных выключателей крана.

Таким образом, СППР базируется на использовании технологий искусственного интеллекта и инструментов для их реализации с целью минимизации потерь в нештатных ситуациях по критерию минимума времени на локализацию аварийного участка.

### Прогнозирующие модели в оптимизации поставок газа потребителям крупного промышленного узла

На примере Московского промышленного узла СППР служит для обеспечения поставок газа потребителям крупного промышленного узла с наименьшими затратами топлива на транспортировку. Экспертная система реализует метод управления с прогнозирующей моделью, уменьшающей общий объем невыполнения прогнозных поставок в течение всего прогнозного периода (рис. 3). Система состоит из следующих частей:

- нестационарная математическая модель ГТС, работающая в режиме on-line;
- подсистема прогнозирования газопотребления по каждому из потребителей с учетом суточной неравномерности;
- подсистема прогнозирования режима ГТС при отсутствии управляющих воздействий. Прогноз на ближайшие 48 ч строится непрерывно с периодом 15 мин. В качестве входных данных используется текущий режим ГТС, плановый расход газа через компрессорные станции на входе в ГТС и прогноз газопотребления. Особенностью используемой модели является автоматическое переключение расчета «по расходу» на расчет «по давлению» при невозможности обеспечить плановый расход и достижении давлением минимально допустимых значений;
- подсистема вариантного моделирования. При неудовлетворительных результатах прогноза диспетчер может рассчитать режим ГТС для нескольких вариантов управляющих воздействий и выбрать наилучший по критерию минимальных затрат топливного газа.

### Нейронные сети для мониторинга протяженных объектов

Эффективным решением проблемы сохранения целостности трубопровода и недопущения утечек является их предотвращение до возникновения. Особое внимание при этом следует уделять мониторингу критических участков магистральных трубопроводов, пролегающих

в густонаселенных районах в местности со сложной геологической и тектонической обстановкой, подводных и транспортных переходах, зонах террористических угроз. Системы, выполняющие функции мониторинга технического состояния магистральных газопроводов, получили в ПАО «Газпром» название «Системы мониторинга протяженных объектов» (СМПО). Одним из перспективных направлений при создании СМПО является использование распределенных и сосредоточенных волоконно-оптических датчиков (ВОД) на основе решеток Брегга. При реализации СМПО с обнаружением утечек в системе СПУРТ применен аппарата нейронных сетей [8].

Функции СМПО: контроль изменения напряженно-деформированного состояния трубопровода, подвижек грунтов и температуры грунта и выявления зон промерзания и/или оттаивания участков; обнаружение течек газа по локальному промерзанию участка грунта; обнаружение движения транспортных средств, ведение работ землеройной техникой и/или шанцевым инструментом.

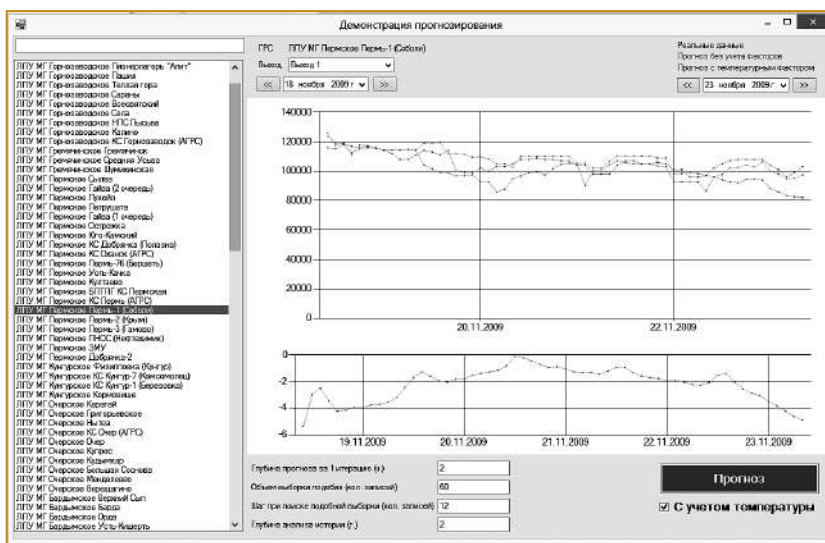


Рис. 3. СПУРТ. Прогноз потребления газа

**Заключение**

Повышенные требования к надежности, экономичности, экологической безопасности газотранспортной системы требуют от систем диспетчерского управления непрерывного совершенствования и внедрения актуальных технологий. Системы поддержки принятия решений позволяют диспетчерскому персоналу оперативно реагировать на возникающие для производственных процессов угрозы. Системы обнаружения утечек проводят тонкий анализ состояния газотранспортной системы и выявляют возможные повреждения в трубах раньше, чем может среагировать персонал. Системы противоаварийных защит позволяют выполнить алгоритмы защиты от аварийных ситуаций практически мгновенно. А системы прогнозирования потребления важны для оптимизации как экономических показателей, так и работы диспетчерской службы.

При реализации этих систем, а также в других задачах диспетчерского управления ГТС с успехом могут применяться технологии искусственного интеллекта (экспертные системы, нейронные сети, прогнозная аналитика).

**Список литературы**

1. Кунчинин А.Н., Крикунов Д.Э. Как искусственный интеллект может увеличить добычу нефти на зрелых месторождениях // Автоматизация в промышленности. 2019. № 12.

2. Кошевой В.О., Вишневецкий К.В., Пронченков И.А., Чернышева Е.А., Салахов И.И., Зурбаев А.В. Сравнение предиктивных методов БИК-спектроскопии для анализа качества нефтепродуктов // Автоматизация в промышленности. 2019. № 12.

3. Владов Р.А., Дозорцев В.М., Шайдуллин Р.А., Белоусов О.Ю. Предиктивная аналитика состояния оборудования в химико-технологических процессах // Автоматизация в промышленности. 2019. № 12.

4. Бернер Л.И., Хадеев А.С., Зайнуллин И.М. Импортозамещение систем диспетчерского управления в газотранспортной отрасли с использованием ПТК СПУРТ-Р // Автоматизация в промышленности. 2019. № 3.

5. Терехов Г.П., Харитонов А.В., Харитонов М.В. Математические методы идентификации утечек // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 4.

6. Хадеев А.С., Свистунов А.А. Тренажер диспетчера Уренгойского газоконденсатного месторождения // В мире научных открытий. 2012. № 12 (36). с. 60-68.

7. Ланчаков Г.А., Никаноров В.В., Бернер Л.И., Ковалев А.А., Зельдин Ю.М. Система поддержки принятия решений в составе системы телемеханики межпромыслового коллектора // Газовая промышленность. 2007. № 5.

8. Бернер Л.И., Заграничный А.В., Терехов Г.П., Харитонов А.В., Харитонов М.В. Перспективные исследования АО «АТГС» по системам мониторинга протяженных объектов (СМПО) с обнаружением утечек // Автоматизация в промышленности. 2017. № 4.

9. Марченко С.Г. Общая схема решения задачи оптимизации поставок природного газа потребителям промышленного кластера // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 3.

10. Никаноров В.В. Марченко С.Г., Бернер Л.И., Зельдин Ю.М. Подсистема прогнозирования газопотребления крупного промышленного кластера АСУТП магистрального транспорта газа // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. № 3.

**Бернер Леонид Исаакович** – д-р техн. наук, проф., проф. зав. базовой кафедрой АСУ МАДИ, ген. дир. АО «АтлантикТрансгазСистема», **Хадеев Антон Сергеевич** – канд. техн. наук, доцент каф. АСУ МАДИ, гл. специалист АО «АтлантикТрансгазСистема», **Юрий Маркович Зельдин** – канд. техн. наук, зав. отд. ИУС, АО «АтлантикТрансгазСистема»,

**Марченко Сергей Григорьевич** – гл. инженер, первый зам. ген. дир. ООО «Газпром трансгаз Москва». E-mail: [berner@atgs.ru](mailto:berner@atgs.ru) [khadeev@atgs.ru](mailto:khadeev@atgs.ru) [zeldin@atgs.ru](mailto:zeldin@atgs.ru) [marchenko@mtg.gazprom.ru](mailto:marchenko@mtg.gazprom.ru)