ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

УДК 004.896

С.В. Густов, к.т.н., ООО «Газпром межрегионгаз» (Санкт-Петербург, РФ), mrg@mrg.gazprom.ru
Н.Ю. Воробьев, АО «Газпром газораспределение Тула» (Тула, РФ), mail@mrgtula.ru
С.Н. Пахомов, к.т.н., АО «Газпром газораспределение Тула», pakhomovsn@tulaoblgaz.ru
Г.Ю. Царьков, АО «Газпром газораспределение Тула», tsarkovgu@tulaoblgaz.ru
М.В. Панарин, к.т.н., ООО «СервисНейро» (Тула, РФ), pmv@ssoft24. com

В статье рассмотрены возможности, которые открывают технологии анализа данных телеметрии газораспределительным организациям.
Последнее десятилетие ведущие предприятия и организации страны уделяют много внимания теме получения и углубленного анализа данных о собственных бизнес-процессах. Смысл этой работы заключается в нахождении неочевидных закономерностей, которые невозможно уловить, рассматривая таблицы с числами или графики с диаграммами. Конечная цель состоит в повышении эффективности организации путем изменения бизнес-процессов на основе новых знаний.
Любые данные уже довольно давно являются товаром. По аналогии с производством, чем выше степень переработки сведений, тем выше их стоимость. Газораспределительные организации благодаря телеметрии имеют в своем распоряжении значительные объемы информации о работе оборудования обслуживаемых объектов, но этот потенциал практически не используется. Чтобы извлечь пользу из владения этими материалами, авторы предлагают применить новейшие методы анализа и технологии искусственного интеллекта к обработке данных телеметрии и решению актуальных практических задач газовой отрасли.
Как альтернатива разработке собственных программ в качестве инструмента обработки информации может быть использовано недорогое специализированное программное обеспечение российских производителей.
В статье приведены примеры решения задач предупреждения аварий на объектах газораспределения, оценки потерь газа при авариях, утечках и аварийных сбросах. Достигнуто приемлемое качество прогнозирования и оценки потерь. Актуальность задач подтверждается сведениями Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) о стабилизации показателя уровня аварийности на газовых сетях, а также отсутствием аппаратуры и методик оценки потерь газа в критических ситуациях.
В заключительной части статьи предложены новые подходы к работе с данными для обеспечения их пригодности к аналитической обработке. Авторами приведен пример подхода к процедуре замены оборудования с учетом его фактического состояния, позволяющего избежать аварийного отказа и одновременно использовать весь ресурс оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АНАЛИЗ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ, АВАРИЯ НА ГАЗОПРОВОДЕ, ПОТЕРИ ГАЗА, ТЕЛЕМЕТРИЯ, ДАВЛЕНИЕ ГАЗА, ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ.

В начале 2000-х годов появились работы по дистанционному мониторингу технологических параметров газового оборудования в реальном времени. Наибольший импульс это направление получило после 2008 г. на основе использования сетей сотовой связи в качестве каналов передачи телеметрической информации. Средствами телеметрии были оснащены тысячи станций катодной защиты, газораспределительных подстанций, шкафных газораспределительных пунктов и других объектов сетей газораспределения. Впервые предложены технические решения по системам автоматической коррекции работы станций катодной защиты на базе анализа полученных телеметрических данных методами искусственного интеллекта.

К настоящему времени в региональных газораспределительных организациях (ГРО) накопились большие объемы материалов о ра-

S.V. Gustov, PhD in engineering, Gazprom Mezhregiongaz LLC (Saint Petersburg, Russian Federation), mrg@mrg.gazprom.ru
N.Yu. Vorobyev, Gazprom Gazraspredeleniye Tula JSC (Tula, Russian Federation), mail@mrgtula.ru
S.N. Pakhomov, PhD in engineering, Gazprom Gazraspredeleniye Tula JSC, pakhomovsn@tulaoblgaz.ru
G.Yu. Tsarkov, Gazprom Raspredeleniye Tula JSC, tsarkovgu@tulaoblgaz.ru
M.V. Panarin, PhD in engineering, ServiceNeyro LLC (Tula, Russian Federation), pmv@ssoft24.com

Artificial intelligence technologies used for improving the efficiency of gas distribution and consumption networks

The paper considers the possibilities for gas distribution organizations opened up by the telemetrical data analysis technology. In the resent decade, leading national enterprises and organizations paid much attention to collection and in-depth analysis of the data on their own business processes. This paper focuses on looking for non-obvious patterns that cannot be detected by monitoring standard spreadsheets and diagrams. The ultimate goal of the study is the improvement of the company's efficiency by changing business processes based on the new knowledge.
Nowadays the data have become a commodity. By analogy with the manufacturing cycle: the higher the data processing degree the higher the data cost. Due to telemetry, gas distribution companies have significant data volumes on equipment operation at serviced facilities, but this potential is wasted. To benefit from data ownership, the authors propose to apply the latest methods of analysis and artificial intellect technologies to telemetrical data processing and addressing relevant practical gas industry issues.
As an alternative to the development of new programs, it is possible to use inexpensive specialized Russian software as an instrument for data processing.
The paper presents examples of preventing accidents at gas distribution facilities and assessing gas losses caused by accidents, leaks and emergency discharges. The acceptable quality of forecasting and estimating losses has been achieved. The relevance of the tasks is confirmed by Rostekhnadzor data demonstrating stabilization of the accident rate at gas networks, as well as by the lack of equipment and methods for estimating gas losses in critical situations.
In the final part of the paper, the authors put forward new approaches to working with data ensuring their suitability for analytical processing. The provided example is related to applying a new approach to the equipment replacement procedure, which takes into account its actual condition. This strategy allows to avoid emergency failures and at the same time premature equipment replacement.

KEYWORDS: TELEMETRICAL DATA ANALYSIS, GAS PIPELINE ACCIDENT, GAS LOSSES, TELEMETRY, GAS PRESSURE, GAS DISTRIBUTION.

боте оборудования в различных режимах: штатном, предаварийном, аварийном. Появились сведения о потерях природного газа, случаях утечек при повреждении газопроводов и других производственных ситуациях [1, 2].

Собранные данные содержат много полезной и важной информации, позволяющей на основе архивных материалов прогнозировать последующее состояние объектов, избегать негативных событий, предотвращать потери, снижать расходы. Однако для превращения этих сведений в полезную информацию их необходимо квалифицированно обработать [3].

Так, на основе накопленных многолетних телеметрических данных объектов газораспределительных сетей АО «Газпром газораспределение Тула» специалисты предприятия совместно с ООО «СервисНейро», входящим в Группу компаний «СервисСофт», специализирующимся на обработке архивных данных телеметрии методами нейронных сетей и других технологий искусственного интеллекта, провели обработку большого массива сведений по ряду объектов газораспределения Тульской обл.

Полученные результаты показали, что применение нейронных сетей, их обучение на накопленных телеметрических данных позволяет эффективно решать актуальные задачи газовой отрасли:

– прогнозирование аварий и инцидентов;

– раннее оповещение об аварии;

– классификация аварий и инцидентов;

– обнаружение и оценка объема потерь газа;

– выявление объектов безучетного расхода газа;

– контроль работоспособности основного оборудования и телеметрии;

– расчет графика планово-предупредительных ремонтов и замены оборудования.

Сегодня почти каждый объект современной газотранспортной сети (ГТС) в той или иной степени оснащен первичными датчиками, контроллерами, средствами связи, оборудованием и программным

Граф нейросети | Таблица сопряженности

Инцидент

	Классифицировано		
Фактически	False	True	Итого
False	99,95%	0,05%	100,00%
True	0,01%	99,99%	100,00%
Итого	96,51%	3,49%	100,00%

Рис. 1. Таблица сопряженности нейронной сети
Fig. 1. Table of neural networks conjugation

Рис. 2. График выходного давления ГРП во время аварии на газопроводе
Fig. 2. Diagram of gas distribution station output pressure during gas pipeline failure

обеспечением для сбора и хранения данных. Применение современных технологий обработки информации предоставляют возможность ГРО идти в ногу со временем, делая объекты более «умными».

ЗАДАЧИ АНАЛИТИКИ, МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ, ИНСТРУМЕНТЫ, ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Ситуация на рынке аналитических решений для газовой отрасли.

Поскольку тема интеллектуальной обработки данных телеметрии появилась не так давно, рынок представлен небольшим числом участников. Крупные организации, такие как ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ПАО «Газпром автоматизация», решают глобальные задачи масштаба ГТС страны. Региональные компании поставляют решения, обычно завершающиеся визуализацией происходящих на объектах процессов. Как известно, визуализация служит средством более удобного отображения информации, и ее не следует считать инструментом анализа.

Объектами исследований на этом этапе являются сведения первичных датчиков телеметрии, установленных на газораспределительных пунктах, шкафных газораспределительных пунктах, станциях катодной защиты АО «Газпром газораспределение Тула». В настоящее время реализуется пилотный проект по обработке данных телеметрии пяти объектов методами искусственного интеллекта.

2. Решаемые задачи.

Снижение аварийности на объектах газораспределения

Сегодня доступны алгоритмы, которые по изменениям контролируемых параметров (давление на входе и выходе, температура газа в трубе и т. д.) позволяют довольно точно предсказать аварию и помочь оператору в принятии своевременного правильного решения по ее предотвращению. Достигнутая точность прогнозирования (более 99 %) достаточна для внедрения решения. На рис. 1 приведена таблица сопряженности, полученная в результате обработки двухслойной нейронной сетью данных телеметрии одного из ГРП Тульской обл.

Показатели модели:

– риск нераспознавания негативного события – 0,01 %;

– риск получения ложного тревожного сообщения – 0,05 %.

Раннее оповещение об аварии

Если по какой-либо причине предотвратить аварию не удалось, например, если тип аварии новый и модель еще не обучена ее прогнозировать, для минимизации потерь важно как можно раньше определить ситуацию как аварийную и выдать оповещение оператору.

Авария обычно развивается и длится какое-то время. Если на суточном графике (рис. 2) падение давления выглядит почти вертикально, то на часовом графике – резкое, но не мгновенное снижение давления. Обученная модель в состоянии по первым признакам распознать ситуацию, выдать соответствующий прогноз ее развития и оповестить оператора значительно раньше, чем сработают автоматические средства защиты.

Классификация аварийной ситуации

Как показал анализ фактических данных, далеко не все аварии и инциденты приводят к срабатываниям автоматических устройств защиты и оповещению операторов.

Нередки ситуации, когда повреждение газопровода или несанкционированная врезка не приводят к аварийному снижению давления газа на объекте газораспределения.

Модель отслеживает ступенчатое изменение давления газа и, оценивая дальнейшие значения параметра, выдает заключение о произошедшем событии. Таким образом, можно зафиксировать повреждение трубопровода или несанкционированную врезку (рис. 3).

Предотвращение потерь

В процессе эксплуатации объектов газораспределения организация вынуждена нести технологические потери газа при запуске, обслуживании, ремонте и авариях.

Потери при регламентных работах рассчитываются по утвержденной методике.

Потери от разгерметизации соединений, выбросы в атмосферу через сбросные клапаны и утрата объемов при авариях точному учету не поддаются, но могут быть оценены по данным телеметрии.

График на рис. 4 свидетельствует о том, что выходное давление регулярно и продолжительно превышает установленное давление открытия для предохранительного сбросного клапана (ПСК).

В данном случае исправный клапан препятствует дальнейшему росту давления. Это положительная сторона процесса. С другой стороны, если такой процесс слишком продолжителен, то он приводит к заметным потерям газа через ПСК.

Из рис. 5 видно, что возможные потери за один год на одном из ГРП могут составить почти 24 тыс. м^3 газа или около 156 тыс. руб. Если учесть количество аналогичных объектов по стране, то общая величина потерь газа заслуживает внимания.

Сопутствующим результатом решения задачи является возможность дистанционного контроля работоспособности ПСК. Кроме того, по данным телеметрии может быть определена фактическая настройка ПСК.

Безучетное газопотребление

Безучетное потребление сетевого газа – организация схемы газоснабжения, при которой:

– весь потребляемый газ или его часть минует прибор учета;

– искажаются показания прибора учета;

– неверно выполняется расчет приводимого к стандартным условиям объема газа, подлежащего оплате.

Результат – потери газоснабжающей организации.

Проверяется гипотеза о том, что похожие объекты газопотребления с похожими характеристиками профиля владельцев в сходных условиях потребляют сопоставимые объемы газа. Решение построено на сегментировании клиентской базы по профилям, сформированным из данных о владельце объекта и самом объекте газопотребления (рис. 6).

Потребители с наибольшими отклонениями объема потребления газа от средних по сегменту относятся в группу для проверки.

Если искажения внесены непосредственно в показания коррек-

Рис. 3. Повреждение газопровода при производстве земляных работ
Fig. 3. Gas pipeline damage during excavation works

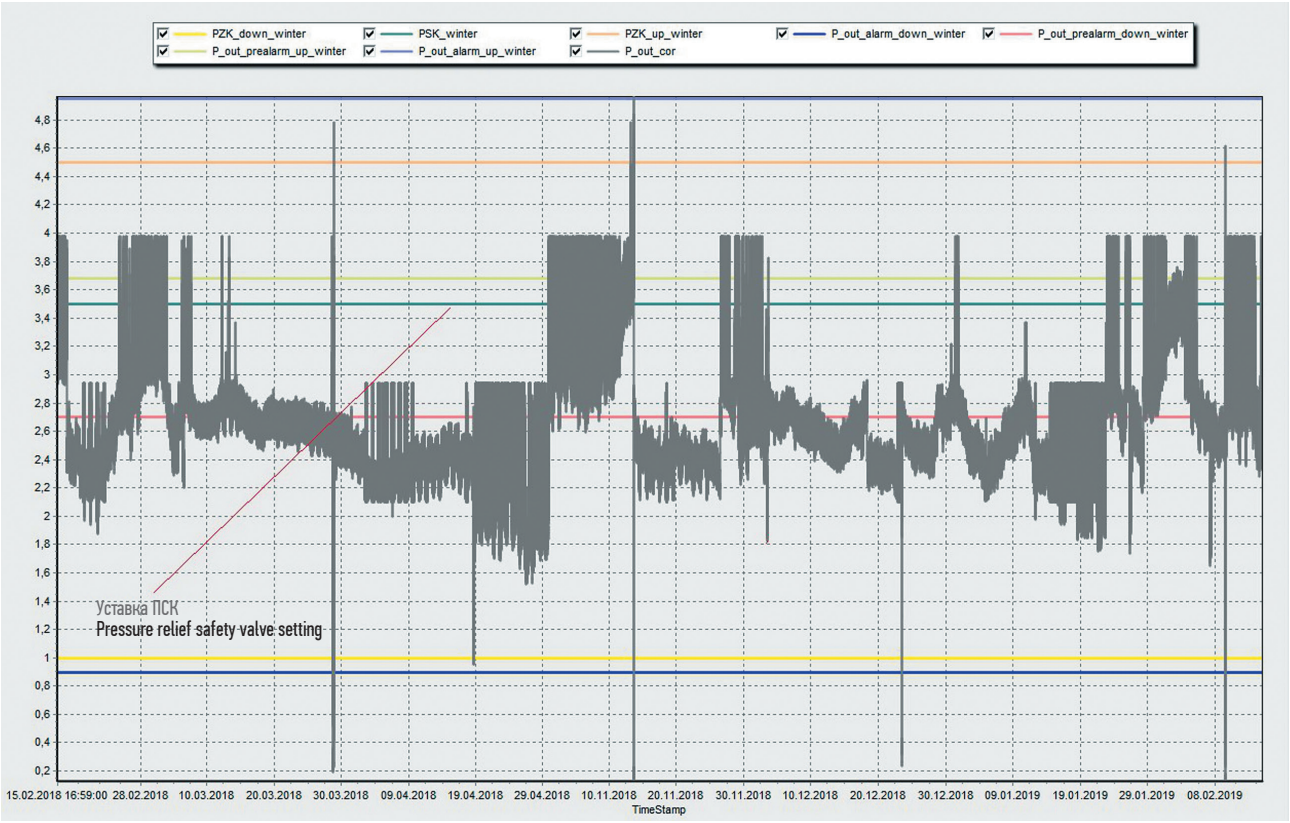
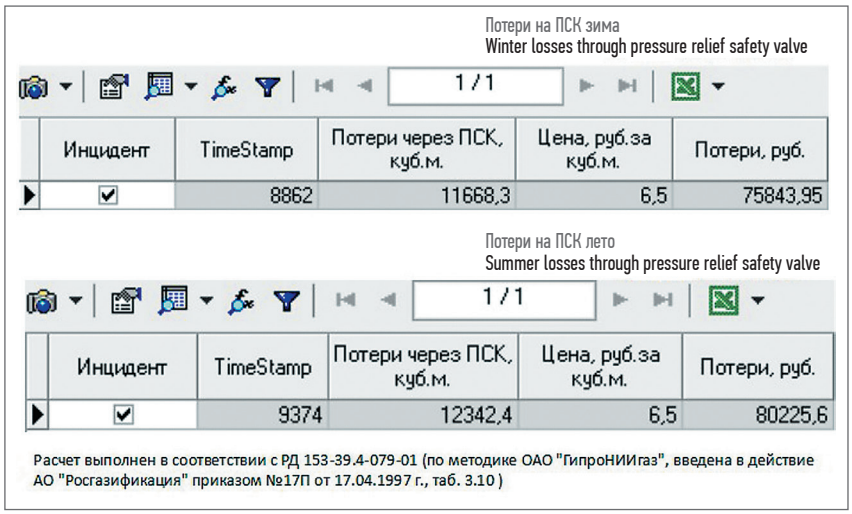


Рис. 4. График выходного давления газа на ГРП
Fig. 4. Diagram of gas outlet pressure at gas distribution station


Потери на ПСК зима
Winter losses through pressure relief safety valve

1 / 1

Инцидент	TimeStamp	Потери через ПСК, куб.м.	Цена, руб.за куб.м.	Потери, руб.
☑	8862	11668,3	6,5	75843,95

Потери на ПСК лето
Summer losses through pressure relief safety valve

1 / 1

Инцидент	TimeStamp	Потери через ПСК, куб.м.	Цена, руб.за куб.м.	Потери, руб.
☑	9374	12342,4	6,5	80225,6

Расчет выполнен в соответствии с РД 153-39.4-079-01 (по методике ОАО "ГипроНИИгаз", введена в действие АО "Росгазификация" приказом №17П от 17.04.1997 г., таб. 3.10)

Рис. 5. Расчет возможных потерь газа через ПСК за календарный год
Fig. 5. Calculation of possible gas losses through pressure relief safety valve for a calendar year

тора прибора учета газа, то нарушение выявляется аналитической моделью автоматически.

Контроль работоспособности основного оборудования и телеметрии

При очистке данных телеметрии для анализа часто приходится иметь дело с пропусками, искажениями, аномальными значениями данных.

Для понимания причин пропусков существуют специальные методы их определения и заполнения [3].

Как ни странно, отсутствие данных – это тоже данные. Если детально проанализировать отсутствие сведений по отдельным каналам, их группам и комбинациям, можно многое узнать о состоянии удаленного объекта.

Регистрация и анализ ошибок в данных позволяют контролировать техническое состояние объекта по вероятности отказа элемента в зависимости от комбинации ошибок в пакете.

Расчет графика планово-предупредительных ремонтов и замены оборудования

Анализ данных по каждому ответственному элементу оборудования на протяжении длительного периода времени дает возможность отследить его деградацию, прогнозировать время достижения предельного срока эксплуатации

Рис. 6. Сегментирование клиентской базы
Fig. 6. Client base segmentation

и выполнить замену до наступления отказа.

Такая задача может быть решена построением имитационной модели оборудования. В реальном времени оцениваются растущие отклонения параметров работы реального объекта от параметров работы модели. На основе статистических данных выбирается порог величины отклонений, за пределами которых наступает отказ. Далее строится прогноз даты достижения порога отклонений [4].

3. Применяемые инструменты и методы.

Ошибочно мнение о том, что лучшие программы для анализа данных созданы за рубежом. Возможно, это так, однако для решения задач всегда следует выбирать оптимальный инструмент по качеству и стоимости. Для обработки строго структурированных данных телеметрии не требуется дорогое программное обеспечение с избыточной функциональностью. Для консолидации, обогащения и обработки данных подходит отечественное специализированное программное обеспечение Loginom, содержащее необходимый набор инструментов работы с данными и не требующее навыков программирования.

4. Достигнутые результаты.

На этапе подготовки данных телеметрии были получены выборки, не содержащие физических и логических дефектов, обогащенные материалами из открытых источников. В качестве инструмента для построения моделей применена двухслойная нейронная сеть. Построенные и обученные модели показывают точность прогнозирования нежелательных событий на объектах, близкую к 100 %. Библиотека созданных моделей позволяет в реальном времени классифицировать предстоящее нежелательное событие и информировать оператора о самом событии, времени на принятие решения, порядке действий для предотвращения события или минимизации ущерба.

Применение рассматриваемой технологии на накопленных телеметрических данных АО «Газпром газораспределение Тула» на объекте № 4135 в г. Узловая Тульской обл. позволило обнаружить повреждение газопровода, произошедшее 26 мая 2018 г.

Незначительное снижение выходного давления не привело к срабатыванию предохранительного запорного клапана. Из-за малой величины изменения параметра событие осталось незамеченным оператором.

На рис. 7 показаны графики входного и выходного давления, поясняющие, что в 08:55 МСК произошло ступенчатое снижение давления. В 9:45 МСК на пульт оператора поступил звонок о запахе газа в месте повреждения. В 10:14 МСК был перекрыт вход трубопровода. Обработка дан-

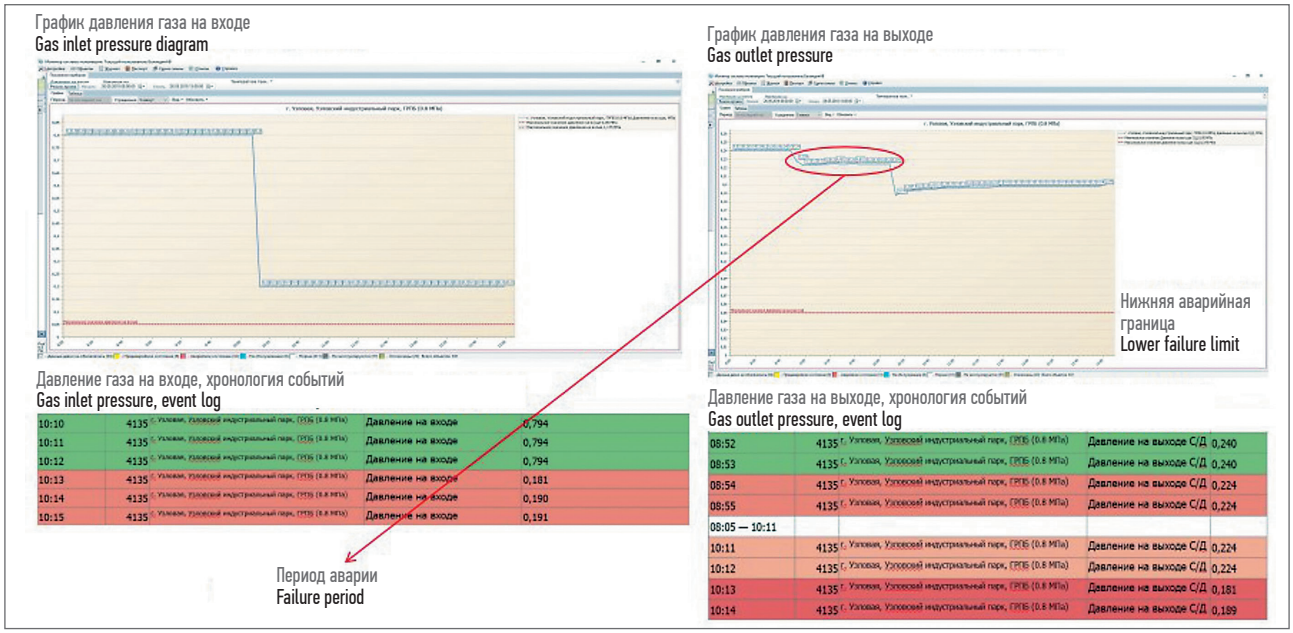


Рис. 7. Телеметрические данные объекта
Fig. 7. Telemetrical data of the facility

ных моделью на нейронной сети в реальном масштабе времени позволяет выявлять подобные и другие повреждения газопроводов на самых ранних стадиях. Кроме того, наличие информации о разности давлений и времени аварии делает возможным расчет утраченного в период аварии объема газа.

Аналогичным образом по данным телеметрии выявлены предполагаемые технологические потери газа через сбросную свечу более чем на двух десятках объектов. Для проверки факта сброса были организованы выезды и получены натурные подтверждения. Полученные результаты позволяют утверждать наличие системной проблемы оценки объема сброса и утечек газа в атмосферу. Ее решение необходимо как газораспределительным, так и газоснабжающим организациям.

ВЫВОДЫ

Возможность повышения эффективности ГРО путем внедрения технологий анализа данных в технологические процессы объективно существует.

Составляющие роста эффективности ГРО:

– устранение рисков наступления нежелательных событий, обусловленных внутренними причинами ГТС;

– минимизация ущерба при наступлении событий, обусловленных внешними причинами (механические повреждения, воздействие природных сил);

– снижение потерь газа при авариях;

– снижение потерь газа в процессе эксплуатации (сброс через ПСК);

– постоянный удаленный контроль исправности оборудования;

– интеллектуальная помощь оператору в принятии решений.

Настало время перехода от реагирования на события к их предвидению. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 116199 РФ. Устройство дистанционного мониторинга шкафных газораспределительных пунктов / Н.Ю. Воробьев, С.В. Густов, Н.К. Попов, С.Н. Пахомов, Г.Ю. Царьков, М.В. Панарин. Заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество по газификации и эксплуатации газового хозяйства Тульской области «Тулаоблгаз»; заявл. № 2011123473/06 10.06.2011; опубл. 20.05.2012. Бюл. № 12.
2. Патент № 120462 РФ. Система мониторинга и управления территориально-распределенной запорно-регулирующей арматурой газораспределительной сети / С.В. Густов. Заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество по газификации и эксплуатации газового хозяйства Тульской области «Тулаоблгаз»; заявл. № 2012114751/03 16.04.2012; опубл. 20.09.2012. Бюл. № 26.
3. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. М.: Издательство «Питер», 2013. 704 с.
4. Волкова В.Н., Горелова Г.В., Козлов В.Н. и др. Моделирование систем и процессов: уч. для академического бакалавриата / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Издательство «Юрайт», 2015. 449 с.

REFERENCES

(1) Patent No. 116199 RF. Remote monitoring of cabinet gas distribution station. Vorobyev NYu, Gustov SV, Popov NK, Pakhomov SN, Tsarkov GYu, Panarin MV. Applicant and patent owner – Tulaoblgaz Public Joint Stock Company responsible for gasification and operation of gas facilities in the Tula region; application No. 2011123473/06 10.06.2011; published 20.05.2012. Bulletin No. 12. (In Russian)
(2) Patent No. 120462 RF. The system of monitoring and control over geographically distributed shutoff and control valves of the gas distribution network. Gustov SV. Applicant and patent owner – Tulaoblgaz Public Joint Stock Company responsible for gasification and operation of gas facilities in the Tula region; application No. 2012114751/03 16.04.2012; published 20.09.2012. Bulletin No. 26. (In Russian)
(3) Paklin NB, Oreshkov VI. *Business analytics: from data to knowledge*. Moscow: Piter publishing house; 2013. (In Russian)
(4) Volkova VN, Gorelova GV, Kozlov VN, et al. *Modeling of systems and processes: manual for academic bachelor's degree course*. Edited by Volkova VN, Kozlov VN. Moscow: Urait publishing house; 2015. (In Russian)