

УДК 614.8.084

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Волынец Игорь Григорьевич, Терехов Алексей Леонидович, Чубуков Николай Николаевич
Газпром ВНИИГАЗ, п. Развилка, Московская обл., Российская Федерация

Аннотация. В статье обсуждаются сложности обеспечения техносферной безопасности на объектах газотранспортной системы, обусловленные большой протяженностью магистральных трубопроводов и разветвленностью сетей газораспределения. Очерчена нормативно-правовая ниша исследований, определены основные понятия предметной области. Рассмотрены категории техносферных рисков по причинности их возникновения. Обоснована актуальность выявления ранних признаков наступления ситуаций повышенного риска, составлен минимально достаточный перечень параметров, которые характеризуют надвигающуюся ЧС и степень ее опасности. Сформулированы системные требования к ранним признакам ЧС. Показана целесообразность перехода к стационарным встроенным в трубопроводы системам автоматической регистрации ранних признаков вероятных катастроф, техническим решением которого могут быть системы визуализации звука, совмещающие высокую чувствительность и избирательную способность к определенным звукам с хорошо разработанной методологией распознавания цветографических образов. В операторной форме приведены математические модели, связывающие акустическую сеть микрофонов с техническим состоянием трубопроводов, условиями их эксплуатации и техносферными рисками. Математическая модель статуса техносферной опасности объекта в зоне ответственности системы акустического контроля приведена к экстремальному виду, допускающему разрешение задачи методами математической статистики. Разработаны логические операторы для построения разветвленных и циклических цепочек принятия решений. Обоснованы преимущества применения топологии акустической системы на принципах сетевого интеллекта. Показана в общем виде структура обновляемой базы реперных признаков, позволяющая извлекать актуальные данные для сравнения с текущими результатами и реализовать логику определения техносферных рисков в режиме реального времени.

Ключевые слова: аварийность, акустический мониторинг, безопасность, газотранспортная сеть, профилактические меры, прогнозирование, программный робот, ранние признаки, сетевой интеллект, техносфера, угроза, уровень риска, чрезвычайная ситуация, шумограмма

Для цитирования: Волынец И. Г., Терехов А. Л., Чубуков Н. Н. Техносферная безопасность объектов газотранспортной сети на основе технологий акустической визуализации // Техносферная безопасность. 2025. № 3 (48). С. 163–174.

TECHNOSPHERIC SAFETY OF GAS TRANSMISSION NETWORK FACILITIES BASED ON ACOUSTIC IMAGING TECHNOLOGY

Igor G. Volynets, Alexey L. Terekhov, Nikolay N. Chubukov

Gazprom VNIIGAZ, Razvilka settlement, Moscow Region, Russian Federation

Abstract. The article discusses the difficulties of ensuring technospheric safety at gas transmission system facilities due to the large length of main pipelines and the extensive distribution networks. The regulatory niche of research is outlined, the basic concepts of the subject area are defined. The categories of technospheric risks according to the causality of their occurrence are considered. The relevance of identifying early signs of high-risk situations is substantiated, and a minimally sufficient list of parameters that characterize an impending emergency and the degree of its danger is compiled. The system requirements for the early signs of an emergency are formulated. The expediency of switching to stationary systems built into pipelines for automatic registration of early signs of probable disasters is shown. The technical solution of this proposal may be sound visualization systems that combine high sensitivity and selectivity for certain sounds with a well-developed methodology for recognizing color images. Mathematical models in operator form are presented that connect the acoustic network of microphones with the technical condition of pipelines, their operating conditions and technospheric risks. The mathematical model of the technospheric hazard status of an object in the area of responsibility of the acoustic control system has been reduced to an extreme form, allowing the problem to be solved using mathematical statistics methods. Logical operators have been developed for building branched and cyclic decision-making chains. The advantages of using the topology of a speaker system based on the principles of network intelligence are substantiated. The structure of the updated database of reference knowledge is shown in general, which allows extracting up-to-date data for comparison with current results and implementing the logic of determining technospheric risks in real time.

Keywords: localization of oil and oil products spills on land, mobile containment facility, engineering and technical structures, mathematical model, rational design parameters, design

For Citation: Volynets I. G., Terekhov A. L., Chubukov N. N. Technosphere safety of gas transmission network facilities based on acoustic imaging technology // Technospheric safety. 2025. № 3 (48). pp. 163–174.

Введение

Непрерывный процесс поддержания достаточного уровня техносферной безопасности газотранспортной сети (ГТС) России затруднен в связи с тем, что это рассредоточенная сеть газопроводов очень большой

протяженности, которая покрывает территорию всей страны. С учетом природных (климатических, сейсмических, географических) и технических (диаметр, толщина трубы и др.) условий выбираются различные способы прокладки трубопроводов: надземный, подземный и подводный. Сложность

построения единой системы предупреждения чрезвычайных ситуаций обусловлена тем, что каждый способ прокладки имеет специфические риски возникновения аварий с учетом всех факторов и требует индивидуального подхода при математической формализации и оценке состояния безопасности ГТС.

Техносферная безопасность предполагает три аспекта рассмотрения рисков: производственно-эксплуатационный, экологический и социальный. Риски производственно-эксплуатационного характера обусловлены уровнем промышленного исполнения и соблюдением стандартов технологии прокладки, а также полнотой и своевременностью проведения периодических проверок эксплуатационного состояния трубопроводов и регламентных работ. Экологические риски особенно актуальны для сети газопроводов, поскольку авария с утечкой газа нередко влечет за собой воспламенение, взрыв, площадные пожары с нанесением вреда окружающей среде и снижением биологического разнообразия видов растений и животных. Социальные риски определяются безопасностью населения и обслуживающего ГТС технического персонала, а также экономическим ущербом.

Нормативное регулирование

Нормативно-правовым основанием для обеспечения безопасности труда на газораспределительных объектах Газпрома служит стандарт [1]. Он устанавливает требования к построению Единой системы управления охраной труда и промышленной безопасностью при осуществлении транспортировки газа по трубопроводам, эксплуатации газораспределительных систем и других видах

деятельности. В силу большой разветвленности газораспределительной сети зачастую признаки техносферной опасности сложно обнаружить заблаговременно, и реагировать приходится по факту чрезвычайных ситуаций (ЧС) с существенно повышенными рисками несчастных случаев (НС).

Причины возникновения ЧС сходятся к трем основным категориям [2]:

- техногенные (56 %);
- человеческий фактор (40 %);
- природные катастрофы (4 %).

Все большую актуальность приобретает защита ГТС от преднамеренных спланированных террористических актов, в т. ч. с применением беспилотных летательных аппаратов.

Стандарт [1, п. 3.1.16] предписывает проведение мониторинга, под которым понимается контроль и анализ состояния объектов, соответствие деятельности организации требованиям охраны труда и промышленной безопасности, политике, целям, программам в области охраны труда и промышленной безопасности. Этот нормативный документ определяет понятия:

- происшествие — любое нежелательное событие, которое привело или могло привести к ущербу здоровью работника на производстве, аварии или инциденту (п. 3.1.31);
- профессиональный риск — вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти при исполнении сотрудником обязанностей по трудовому договору и в иных установленных настоящим законом случаях (п. 3.1.32);
- управление рисками — совокупность мероприятий, направленных на снижение вероятности нанесения и/или на уменьшение ущерба от реализации риска (п. 3.1.38);

- потенциальное несоответствие — ситуация, когда не обнаружено объективных свидетельств невыполнения требований, но отсутствие должного внимания к выявленному факту может привести к возникновению критичного несоответствия в будущем (п. 3.1.26).

Угроза причинения техносферного вреда носит вероятностный характер, который можно оценить на основе статистической обработки данных о произошедших ранее несчастных случаях, регистрации нарушений установленных нормативных значений опасных факторов, анализа причинно-следственных цепочек взаимообусловленных состояний ГТС, которые могут привести к недопустимому уровню техносферных угроз.

Выявление потенциальных несоответствий, в связи с п. 3.1.26, можно назвать ранними признаками или предпосылками ЧС. Накопление статистики и причинно-следственный анализ ранних признаков представляет особую ценность для поисковых НИОКР, поскольку только их надежное извлечение из потоков данных позволяет заблаговременно рассчитать критическую вероятность возможного наступления ЧС, а также принять своевременные меры по их недопущению или минимизации вреда. Эта задача может быть решена с применением современных IT-технологий [3].

Теория и методы

Мониторинг статуса техносферной опасности ГТС предполагает текущее наблюдение за физическими проявлениями всех критичных факторов и оценку рисков ЧС с использованием приемников информации. В настоящее время научно-исследовательские работы ВНИИГАЗ направлены на разработку

и формирование баз данных акустических сигналов объектов контроля и среды, шумовую защиту рабочих мест и селитебных зон, а также на создание уникальных алгоритмов обработки больших цифровых массивов звуковых данных для выделения ранних идентификационных признаков наступления ЧС техногенного и природного характера [4, 5]. Набор регистрируемых ранних признаков аварий может обладать следующими свойствами:

- быть уникальным для конкретного объекта мониторинга;
- иметь различную степень достоверности и информативности о возможной аварии;
- коррелироваться с другими признаками или условиями (помехами);
- быть помехоустойчивым, воспроизводимым.

Эффективность акустической системы может зависеть от:

- расположения и плотности насыщения производственной среды датчиками;
- диапазонов и чувствительности приема звуковых сигналов;
- статистической устойчивости алгоритма распознавания признака;
- уровня и характера шумов.

Информационный потенциал акустической среды до сих пор не был достаточно востребован в мировой практике для обеспечения безопасности ЧС в силу высокой сложности процедур: извлечения актуальных фрагментов шумовых спектров, редукции размерности акустических измерений, отображения сигнатур звуковых детекторов в метрические пространства для количественных оценок рисков ЧС. Между тем, промышленные микрофоны и средства

распознавания шумов за последние два десятилетия стремительно шагнули вперед, что определяет перспективность этого сектора поисковых исследований для прогнозирования катастроф и выработки сценариев их предотвращения.

Примерами успешного применения детекторов звука могут служить интеллектуальные системы анализа речи, сигнализаторы сейсмической активности почвы, системы вибродиагностики отказов установок,

гидроакустические автоматические системы обнаружения целей на флоте. Звуковая физическая среда окружает практически все физические объекты и одновременно является проводником колебаний в широком акустическом диапазоне — от 0,001 Гц (инфразвук) до 100 МГц (гиперзвук).

Визуализация акустических шумов позволяет решать широкий класс прикладных задач с использованием алгоритмов распознавания образов (рис. 1).

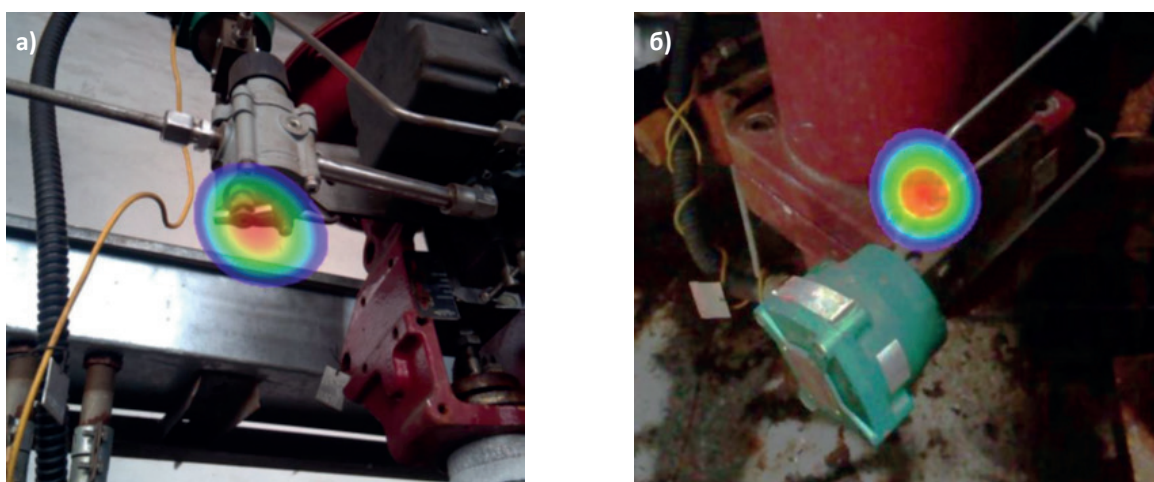


Рис. Визуализированные образы нарушения герметичности оборудования и утечках газа в регулирующих клапанах КИПиА фильтровального отделения а) через резьбу; б) через тройник

Fig. Visualized images of equipment leakages and gas leaks in the control valves of the instrumentation and control system of the filter compartment: a) through the thread; b) through the tee

Очевидно, звуковой сканер выделяет акустическую неоднородность из шума и точно указывает на ее местонахождение. По параметрам изображения на мониторе можно судить о характере неисправности, тенденциях ее развития и определять наилучший способ реагирования.

Перспективы внедрения

Наработанный методический задел в сфере цифровизации и визуализации звука, распознавания аномальных фрагментов шумограмм на основе объемных микрофонных платформ различной конфигурации с приме-

нением нейросетевых алгоритмов позволяет прогнозировать в ближнесрочной перспективе (5–7 лет) высокую востребованность основанных на этой технологии высокоавтоматизированных систем для предупреждения ситуаций повышенного риска различных (СПР) технических объектов.

Проводимые ВНИИГАЗ НИОКР нацелены на разработку стационарной распределенной интеллектуальной сети, состоящей из типовых ячеек — высокоавтоматизированных локальных акустических наблюдателей статуса опасности участка ГТС в своей зоне ответственности. Информационные роботы смежных участков имеют возможность

взаимодействия посредством протоколов обмена данными. Такая сенсорная сеть способна: уточнять данные о воспринимаемых разными ячейками одних и тех же событиях, взаимно верифицировать получаемые от объектов контроля акустические данные, дополнять разрозненную информацию до целостной картины, совместно конструировать прогнозные сценарии, оптимизировать действия по предотвращению ЧС или минимизации их последствий, согласовывать решения по передаче данных на пульт оператора.

Предлагаемая концепция акустического мониторинга состояния техносферной безопасности ГТС может быть выполнена на информационной платформе умной сети и позволяет обнаруживать ранние признаки СПР в режиме повседневной транспортировки газа. Такая система реализует максимально распределенные вычисления по ячейкам сети [6] и обладает преимуществами перед централизованным управлением, поскольку максимум вычислений и принятие самостоятельных решений в рамках разрешенных полномочий акустическим наблюдателем производится локально, без передачи информации в удаленный центр.

Специфика исследований

Задача раннего обнаружения признаков еще не произошедшей, но надвигающейся СПР по акустическим шумам состоит в реконструкции ближайшей из известных произошедших ранее техносферных аварий, параметры которых хранятся в базе знаний, а также в синтезе сценарного прогноза аварийной ситуации и эффективных контрмер с все более достоверным уточнением рас-

четных параметров по мере приближения к моменту аварии. Общими признаками наступления ЧС могут быть нехарактерные для нормальной работы визуализированные звуковые образы. Распознанные с помощью алгоритмов обработки визуальной информации аномальные фрагменты акустического спектра дают основания для приведения специальных подразделений в состояние соответствующей готовности. Чтобы акустическая система мониторинга (АСМ) обеспечивала раннее предупреждение о СПР необходимо, чтобы она:

- 1) включала достаточный по количеству, номенклатуре и плотности размещения набор промышленных микрофонов;
- 2) обладала знаниями о визуализированных звуковых образах ранних признаков СПР: инфразвуковом фоне, гуле, скрежете, шорохе, треске, свисте и др.;
- 3) оперировала логикой вывода, позволяющей учитывать условия мониторинга, обрабатывать текущие звуковые данные и прогнозировать ситуацию на достаточный временной горизонт для обеспечения возможности конструирования оптимального сценария предупреждения СПР.

Математическая формализация

Под идентификацией СПР будем иметь в виду такую интерпретацию зарегистрированного набора признаков, которая позволит точно определить класс СПР — K , ее вероятность — P , время наступления — T . Математическая связь между набором признаков и параметрами функции времени СПР может быть записана следующим образом:

$$СПР(K, P, T) = F\{\Pi_1(t), \dots, \Pi_N(t)\} + \xi, \quad (1)$$

где:

$\Pi_i(t)$, $i = 1 \dots N$ — i -й ранний признак в составе кортежа из N признаков;

F — математическая функция связи между набором признаков и уровнем риска;

ξ — случайная ошибка идентификации.

Случайная ошибка идентификации всегда объективно имеет место в силу уникальности и непредсказуемости приближающейся ЧС. Также включение в функционал (1) случайной компоненты ξ позволяет построить обучение модели на основе методологии экстремальной оптимизации по принципу:

$$\xi \xrightarrow{\Pi} \min, \quad (2)$$

или

$$\xi = СПР(K, P, T) - F\{\Pi_1(t), \dots, \Pi_N(t)\} \xrightarrow{\Pi} \min, \quad (3)$$

где:

$СПР(K, P, T)$ — известные данные об уже произошедшей катастрофе.

Оператор (3) можно интерпретировать так, что набор измеряемых признаков Π определяет состояние риска ЧС, которое наиболее близко к аналогичным параметрам одной из ранее произошедших катастроф. Ситуация повышенного риска однозначно характеризуется классом техногенной аварии, временем и вероятностью ее наступления и является функцией

времени от набора распознаваемых визуализированных признаков.

Более детальная постановка задачи на уровне наблюдений за предикторами может быть следующая. Пусть блоком направленных микрофонов наблюдаются и записываются все предикторы X — переменные состояния типового объекта контроля:

$$X(t) = \{X_1(t), \dots, X_M(t)\}. \quad (4)$$

При достоверном наступлении СПР изучается ее предыстория с целью определения распознаваемых состояний, предшествующих СПР, выявления тенденций ее развития, определения и математической формализации надежных (воспроизводимых, статистически устойчивых) признаков.

Проверяются гипотезы на достоверность признаков. Для этого все выявленные аномалии в цифровых потоках акустических данных $X(t)$ на временном отрезке предыстории фиксируются и математизируются в виде переменных Π , слева в выражении которых стоит количественное значение:

$$\Pi(t) = G(X(t)); \quad (5)$$

$$\Pi^* \text{ LOG } \Pi(t), \quad (6)$$

где:

$G(X(t))$ — математическая функция расчета признака по характерным входным данным, приведенная к форме, допускающей сравнение с критическим опорным значением Π^* ;

LOG — логический оператор сравнения из табл. 1.

Таблица 1
Перечень логических операторов для формирования логики отбора признаков

Table 1

A list of logical operators for forming the logic of feature selection

Оператор сравнения (LOG) Comparison Operator (LOG)	Действие Action
=	Равно Equally
>	Больше More
<	Меньше Less
>=	Больше или равно Greater than or equal to
<=	Меньше или равно Less than or equal to
<>	Не равно Not equal to
!=	Не соответствует номиналу Does not match the nominal value
!<	Не меньше At least
!>	Не больше No more
⊆	Включает Includes

В уравнении (5) в левой части $\Pi(t)$ является результатом математического преобразования операм G акустического сигнала — аргумента $X(t)$ с микрофона.

В уравнении (6) уже $\Pi(t)$ является аргументом для логического сравнения с опорным значением Π^* из базы данных при выполнении логического условия (равно, больше и т. д.).

Таблица может быть расширена, комбинации операторов сравнения позволяют реализовать сложную разветвленную многоступенчатую логику идентификации статуса техносферной опасности объекта мониторинга. Модель текущего состояния ГТС определяется функцией, зависящей от совокупности факторов:

$$S = F(X, T, W, V, U, R), \quad (7)$$

где:

X — вектор предикторов;

T — время;

W — внешние природно-производственные факторы влияния на эксплуатационное состояние газораспределительной сети;

V — статистические характеристики цифровых звуковых данных;

U — параметры подстройки АСМ;

R — регулирующие воздействия.

Идентификация состояния производится по наличию признаков, которые:

- зависят от совокупности внешних условий и статистических свойств потоковых данных;

- определяют аварийный статус ГТС в зоне контроля;

- характеризуют признак аварии или признак, предшествующий аварии, с точностью до места и времени.

Решаемые задачи синтеза АСМ:

1. Составить перечень критических состояний ГТС по признаку аварийности: {техносферная безопасность, предшествует аварии (когда, где); авария (когда, где); минимум последствий}:

$$S = \{0, 1, 2, 3\}. \quad (8)$$

2. Составить перечень уникальных признаков, статистически устойчиво характеризующих СПР, т. е. правило перехода:

$$(П_i * П_j) : S \rightarrow S_1. \quad (9)$$

3. Провести превентивную идентификацию рисков с точностью до причин и последствий на основе акустической логической модели СПР ГТС (1) в зоне контроля.

4. Провести синтез регулирующего сценария $U_{10}(R)$ для перевода ГТС из состояния «предшествует аварии» в состояние «техносферная безопасность»:

$$U_{10} = U\{S_1\} \xrightarrow{R_{10}} S_0. \quad (10)$$

5. Провести синтез регулирующего сценария $U_{23}(R)$ для перевода ГТС из состояния «авария» в состояние «минимум последствий»:

$$U_{23} = U\{S_2\} \xrightarrow{R_{23}} S_3. \quad (11)$$

Логика поиска ближайшего вероятного состояния основана на оперировании элементами бинарной матрицы $S - П$ («Состояния – Признаки») (табл. 2).

Таблица 2
Бинарная матрица признаков

Table 2
Binary feature matrix

Статус ТО ГТС Status TO GTS	Признаки Signs									
	$П1$	$П2$	$П3$	$П4$	$П5$	$П6$	$П7$	$П8$	$П9$	$П10$
S_1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
S_2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Окончание таблицы 2

Статус ТО ГТС Status TO GTS	Признаки Signs									
	<i>п1</i>	<i>п2</i>	<i>п3</i>	<i>п4</i>	<i>п5</i>	<i>п6</i>	<i>п7</i>	<i>п8</i>	<i>п9</i>	<i>п10</i>
S3	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Приведенные в таблице статусы аварийности ГТС на самом деле могут определяться множеством сочетаний параметров состояния X предикторов, определенные комбинации уровней которых могут составлять признаки (9). Идеальным набором признаков является такой кортеж, при котором один признак определяет один статус. Идентификация состояния S_i по уникальным признакам основана на идентификации статуса техносферной опасности (ТО) ГТС по совпадению выделенного и зафиксированного специфичным акустическим регистратором единичного уни-

кального признака с однородным опорным признаком из базы данных.

Идентификация статуса S_i по множественным признакам основана на решении задачи обратной логики. Методы решения такой задачи могут быть различными: нейросетевые модели, распознавание образов, поиск наиболее близкого к опорному информационного вектора в многомерном пространстве признаков по критерию, например, Махаланобиса [7]. Уравнение идентификации статуса ГТС можно записать в общем виде:

$$\text{Если } \{online \text{ рассчитываемая строка признаков } (P(t)) - \{хранящаяся в базе строка признаков матрицы } S_{ij}\} = 0, \text{ (где } i = (1...3)), \text{ то индекс } j \text{ совпадения } S \quad (12)$$

указывает на статус техносферной опасности ГТС.

Статус S_0 для таблицы идентифицируется как остальные состояния, не входящие в обе представленные таблицы, по правилу:

$$S_0 = \{\bar{S}_1 \cap \bar{S}_2 \cap \bar{S}_3\}. \quad (13)$$

Для идентификации статуса техносферной опасности ГТС по множественным признакам, согласно табл. 2, можно записать, например, статус S_2 в виде логического идентификатора:

$$S_2 = \{p1 \cap p2 \cap p6 \cap p8\} \cup \{p6 \cap p10\} \cup \{p5 \cap p6 \cap p7\}. \quad (14)$$

Определение текущего статуса техносферной опасности функционально обеспечивается программной реализацией модуля идентификации СПР, синтезированного на основе (1)–(14).

Заключение

Дальнейшее развитие исследований ВНИИГАЗ совместно с Российской академией

наук направлено на выбор вариантов аппаратно-программных решений для создания типовой АСМ, адаптирующейся под широкие диапазоны условий работы ГТС: зашумленность, многорежимность, внезапное возникновение инцидентов и др. Полученные промежуточные результаты обследования акустических спектров объектов газоперерабатывающего производства показывают высокую потенциальную информативность си-

стем такого типа, возможность практической реализации и масштабирования решения автоматического акустического мониторинга

околообъектового и внутриобъектового пространства ГТС, а также сопряжения локальных ячеек в умную акустическую сенсорную сеть.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СТО Газпром газораспределение 8.6-0-2016. Промышленная и пожарная безопасность, охрана труда, охрана окружающей среды. Единая система управления охраной труда и промышленной безопасностью в АО «Газпром газораспределение». Основные положения : стандарт организации : утвержден и введен в действие распоряжением АО «Газпром газораспределение» от 27.12.2016 № 81-Р/48. 2016. 127 с. Электронная версия печ. изд. URL: <https://www.vladoblgaz.ru/zagruzki/СТО%20ГП%20ГР%208.6-0-2016.pdf> (дата обращения: 08.05.2025).

2. Терехов А. Л., Чубуков Н. Н. Раннее предупреждение чрезвычайных ситуаций на основе акустического мониторинга объектов нефтяной и газовой промышленности // Газовая промышленность. 2025. № 6.

3. Чубуков Н. Н. Возможные пути повышения качества экологического менеджмента оборонных предприятий // Вооружение и экономика. 2011. № 1 (13). С. 94–104.

4. Терехов А. Л., Семенцев А. М. Контроль состояния рабочих мест как инструмент повышения безопасности труда на объектах ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2023. № 1. С. 20–26.

5. Обзор технических решений по снижению шума на предприятиях добычи и транспорта газа / А. Л. Терехов [и др.] // Материалы Международной акустической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Е. Я. Юдина. М., 2014. С. 257–267.

6. Чубуков Н. Н. Анализ проблем и перспективы интеллектуализации транспортных сетей // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 8.

7. Mahalanobis P. C. On the generalised distance in statistics // Proceedings of the National Institute of Sciences of India. 1936. Т. 2, № 1. pp. 49–55.

REFERENCES

1. Gazprom Gas distribution service station 8.6-0-2016. Industrial and fire safety, labor protection, environmental protection. Unified occupational health and industrial safety management system at Gazprom Gazoraspredenie JSC. The main provisions : the standard of the organization : approved and put into effect by order of Gazprom Gas Distribution JSC dated 27.12. 2016 № 81-R/48. 2016. 127 p. Electronic version of the печ. ed. URL: <https://www.vladoblgaz.ru/zagruzki/СТО%20ГП%20ГР%208.6-0-2016.pdf> (date of application: 08.05.2025).

2. Terekhov A. L., Chubukov N. N. Early warning of emergency situations based on acoustic monitoring of oil and gas industry facilities // Gas industry. 2025. № 6.

3. Chubukov N. N. Possible ways to improve the quality of environmental management of defense enterprises // Armament and Economics. 2011. № 1 (13). pp. 94–104.
4. Terekhov A. L., Sementsev A. M. Workplace health monitoring as a tool for improving occupational safety at Gazprom facilities // Gas Industry. 2023. № 1. pp. 20–26.
5. Review of technical solutions for noise reduction at gas production and transport enterprises / A. L. Terekhov et al. // Proceedings of the International Acoustic Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of E. Y. Yudin. M., 2014. pp. 257–267.
6. Chubukov N. N. Analysis of problems and prospects of intellectualization of transport networks // Mechatronics, automation, control. 2014. № 8.
7. Mahalanobis P. C. On the generalised distance in statistics. // Proceedings of the National Institute of Sciences of India. 1936. T. 2, № 1. pp. 49–55.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волынец Игорь Григорьевич, канд. техн. наук, доцент, ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (142717, Российская Федерация, Московская область, г. о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1); AuthorID: 290695; e-mail: I_Volynets@vniigaz.gazprom.ru

Терехов Алексей Леонидович, д-р техн. наук, профессор, ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (142717, Российская Федерация, Московская область, г. о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1); AuthorID: 449959; e-mail: a_terekhov@vniigaz.gazprom.ru

Чубуков Николай Николаевич, соискатель ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (142717, Российская Федерация, Московская область, г. о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1); AuthorID: 1009887; e-mail: metrolog.pribor@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor G. Volynets, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Gazprom VNII-GAZ LLC (15, building Gazovikov str., Razvilka settlement, Leninsky District, Moscow Region, 142717 Russian Federation); AuthorID: 290695; e-mail: I_Volynets@vniigaz.gazprom.ru

Alexey L. Terekhov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Gazprom VNIIGAZ LLC (15, building Gazovikov str., Razvilka settlement, Leninsky District, Moscow Region, 142717 Russian Federation); AuthorID: 449959; e-mail: a_terekhov@vniigaz.gazprom.ru

Nikolay N. Chubukov, applicant, Gazprom VNIIGAZ LLC (15, building Gazovikov str., Razvilka settlement, Leninsky District, Moscow Region, 142717 Russian Federation); AuthorID: 1009887; e-mail: metrolog.pribor@mail.ru

Поступила в редакцию 14.05.2025
Одобрена после рецензирования 22.05.2025
Принята к публикации 15.09.2025