

УДК 534.86

**АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО
НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ НЕФТЕГАЗОВОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

**ACOUSTIC-EMISSION CONTROL METHOD
USING LOW-TEMPERATURE LOADING
IN THE DIAGNOSIS OF OIL AND GAS EQUIPMENT**

**Н.Х. Абдрахманов, Р.А. Шайбаков, О.А. Леонов,
К.Н. Абдрахманова, А.Р. Басырова**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Nail Kh. Abdrakhmanov, Rustem A. Shaibakov, Oleg A. Leonov,
Karina N. Abdrakhmanova, Aida R. Basyirova**

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation
e-mail: anailx@mail.ru**

Аннотация. Неразрушающие методы контроля качества нашли широкое применение в нефтегазовой промышленности. Большое значение приобретает задача разработки новых методов контроля, расширяющих область применения средств неразрушающего контроля. Акустико-эмиссионный метод контроля имеет ряд преимуществ: обеспечивает обнаружение только развивающихся дефектов; возможен контроль зон, недоступных для других методов; возможна оценка скорости развития дефектов; возможно определение мест течей. Применим при мониторинге

процесса сварки, мониторинге структурных превращений в материалах, при исследовании свойств материалов и в материаловедении.

К основным недостаткам акустико-эмиссионного метода контроля можно отнести процессы типа ударов, трения, течей и другие, возникающие на фоне контроля развития трещин и коррозии, они становятся источниками нежелательных шумов.

С целью исключения акустических помех и увеличения выявляемости дефектов предложен способ обнаружения и локализации дефектов методом акустико-эмиссионного контроля, путем создания в контролируемом изделии напряженно-деформированного состояния с помощью комбинированного локального низкотемпературного (парами жидкого азота) и механического воздействия. Предлагаемый метод значительно повышает выявляемость дефектов. Тем не менее использование сложных в получении паров жидкого хладагента требует специального оборудования, что ограничивает спектр контролируемых изделий и применяется преимущественно в лабораторных условиях и не отвечает условиям проведения оперативного диагностирования резервуаров. Также в отличие от традиционного метода акустико-эмиссионного контроля, в котором напряженное состояние материала получают путем нагружения всего контролируемого объекта, в усовершенствованном методе акустико-эмиссионного контроля исследуемый материал предлагается нагружать локально – на опасных участках объекта, что повысит производительность и снизит экономические затраты.

Abstract. Non-destructive quality control methods are widely used in oil industry. The task of developing new control methods that expand the scope of non-destructive testing is of great importance. Acoustic emission control method has several advantages: provides detection of only developing defects; it is possible to control zones inaccessible to other methods; assessment of the rate of defects development is possible; leaks detection is possible. Applicable for

welding process monitoring, for monitoring of structural transformations in materials, in study of materials properties and in materials science.

The main disadvantages of the acoustic emission control method are processes such as impacts, friction, leaks, and others that occur during monitoring of cracks and corrosion development, they become sources of unwanted noise.

In order to eliminate acoustic noise and increase defects detection, there is a method for detecting and localizing defects by the acoustic emission control. It based on creating a stress-strain state in a controlled product by using a combined local low-temperature (liquid nitrogen vapor) and mechanical effect. The proposed method significantly increases the detectability, however, the use of liquid refrigerant vapor requires special equipment, which limits the range of controlled products and is used only in laboratory conditions and does not meet the conditions for the operational diagnosis of tanks. Also, in contrast to the traditional acoustic emission control method, in which the stress state of a material is obtained by loading the entire object under control, the improved acoustic emission control method suggests local loading – in dangerous parts of the object, which will increase productivity and reduce economic costs.

Ключевые слова: метод неразрушающего контроля; электромагнитно-акустическое преобразование; акустико-эмиссионный метод контроля; низкотемпературное нагружение; локальное нагружение

Key words: non-destructive control; electromagnetic acoustic conversion; acoustic emission control method; low temperature loading; local loading

В нефтегазовой отрасли при техническом диагностировании технологического оборудования широко применяются методы неразрушающие контроля (НК) качества. При этом большое значение приобретает задача разработки новых методов диагностирования, расширяющих возможность применения средств НК [1].

Согласно требованиям ряда нормативных документов [2, 3], метод акустической эмиссии (АЭ) принадлежит к акустическим методам НК и технической диагностики. Метод АЭ базируется на физическом исследовании излучения волн напряжений при быстрой локальной реорганизации структуры металла. Ряд сигналов акустической эмиссии лежит в звуковом и ультразвуковом диапазонах. Функционирование полосы частот оборудования изменяется в интервале от 10 кГц до 1 МГц в зависимости от типа, величин, акустических качеств оборудования, а также параметров шумов на оборудовании. Источником акустико-эмиссионной энергии служит переменное поле упругих напряжений от развивающихся дефектов. Для стимуляции дефектом излучения упругих акустических волн объект нагружается механическим или тепловым способом.

Основными признаками метода акустической эмиссии, определяющими его преимущества, возможности, параметры и области применения, являются следующие качества:

- акустическая эмиссия обнаруживает только развивающиеся трещины, а это дает возможность определять дефекты не по размерам, а в зависимости от угрозы и аварийности объекта;
- большая чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по расчетным оценкам составляет порядка 1×10^{-6} мм², что соответствует идентификации скачка трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм, что показывает на очень высокую чувствительностью к растущим дефектам [4–7];
- положение и ориентация дефекта не влияют на выявляемость дефектов;
- обнаружение зон, которые недоступны для других методов (не влияет существование тепло- и гидроизоляции, механических свойств и дизайна);

- предотвращение больших изменений в конструкции оборудования при апробациях и эксплуатации за счет оценки скорости развития дефектов;

- определение мест пропуска нефтепродуктов.

Данные свойства позволяют АЭ находить область применения:

- контроль качества сварных швов, наблюдение структурных превращений в металлах;

- исследование свойств материалов и в материаловедении (мониторинг увеличения трещин в материалах, исследование роста трещин, вызванных коррозионными процессами, исследование движения дислокаций в материалах, исследование структурных превращений и структурной стабильности металла, исследование усталостных процессов в металлах, определение предела текучести материала и разрывов) [8, 9].

Возможности, связанные с использованием АЭ метода, дают большие преимущества по сравнению с другими традиционными методами контроля, которые требуют, например, снятия изоляционных оболочек, опорожнения исследуемого оборудования от перерабатываемого продукта, но главным достоинством этого метода является определение трудно обнаруживаемых ультразвуковым, рентгеновским, вихретоковым методами вновь образующихся трещин или язв. Но большая стоимость аппаратуры и обучение специалистов, которые проводят измерения и обрабатывают данные, сокращают возможность применения АЭ контроля.

В настоящее время универсальных АЭ приборов не существуют. Все известные АЭ приборы разделяют на три основные группы:

- аппаратура для научных исследований в лабораторных условиях. Особенности данной группы являются максимальное число измеряемых параметров, возможность применения в широком диапазоне измерений и при достаточно точном изменении чувствительности, широкая полоса частот и высокая точность измерений;

- аппаратура для технологического неразрушающего контроля в условиях производства и эксплуатации конструкций для контроля качества сварки, контроля течей на технологическом оборудовании. Приборы этой группы имеют небольшие размеры и массу, высокую работоспособность в неблагоприятных условиях и наличие специальных помехозащитных устройств. При этом измеряется, как правило, не более одного-двух параметров, диапазон изменения которых заранее определен;
- комплекты аппаратуры для определения координат месторасположения дефектов – источников сигналов АЭ (многоканальная аппаратура).

Темой большинства исследований АЭ является совершенствование аппаратуры и программных алгоритмов анализа спектра акустических эмиссий от источников, однако только небольшое количество трудов посвящено усовершенствованию путем технологического решения.

Часто бывает полезно использовать АЭ метод совместно с другими методами НК. При применении метода АЭ намного сокращается время диагностирования, что ведет к экономии средств, затрачиваемых на их проведение, а также отпадает необходимость останавливать оборудование на время диагностирования.

Развитие дефектов до момента отказа сварной конструкции является достаточно длительным процессом, сопровождающимся излучением ультразвуковых волн из вершины трещины при локальной динамической перестройке структуры металла. Для регистрации данного процесса возможно применение АЭ метода неразрушающего контроля, позволяющего определить и оценить степень опасности зарождающихся трещин, которые могут находиться на большом расстоянии от места доступа к поверхности конструкций, а также определить форму и условные границы трещин.

Метод акустической эмиссии обычно применяется при контроле продукции при их производстве – это приемо-сдаточный контроль,

периодический контроль, в процессе использования оборудования и является чрезвычайно чувствительным к любым видам структурных перемещений в широком частотном диапазоне работы (обычно от 20 до 1200 кГц). Аппаратура определяет не только рост трещин или развитие пластической деформации, но и процессы трения, ударов, течей жидкости или газа через свищи и фазовые переходы различных веществ.

Область применения АЭ метода контроля:

- контроль процесса сварки;
- контроль износа и соприкосновения оборудования при автоматической механической обработке, контроль износа и потерь смазки на объектах, связанных с вращением [10, 11] и трением компонентов, обнаружение утерянных частей и частиц оборудования;
- выявление течей, кавитационных явлений на оборудовании;
- обследование нефтезаводского оборудования, в том числе и переход из одной фазы в другую.

К дефектам, которые можно определить при помощи акустической эмиссии, можно отнести процессы типа ударов, трения, течей и другие, которые образуются в ходе увеличения трещин и коррозионных процессов, они являются источниками нежелательных шумов. В действительности предложено большое количество решений для уменьшения и удаления нежелательных шумов. Установлено, что акустические шумы (помехи) являются основной преградой для повсеместного внедрения акустической эмиссии в диагностирование технических устройств. Их дальнейшее изучение с целью устранения шумовых преград и производственная апробация являются важными задачами.

С целью исключения акустических помех и увеличения выявляемости дефектов предложен способ определения и локализации дефектов методом АЭ контроля путем создания в испытуемом предмете напряженно-деформированного состояния с помощью комбинированного локального низкотемпературного (парами жидкого азота) и механического

воздействия [12]. Конечно, этот способ повышает выявляемость, но применение трудоемких в получении паров жидкого хладагента требует специального оборудования, что ограничивает спектр исследуемых объектов и применяется преимущественно в лабораторных условиях, что не отвечает условиям оперативного диагностирования резервуаров.

В качестве недостатка обычных методов НК указывается невозможность определения за небольшой промежуток времени реальной степени опасности дефекта [13, 14]. В сравнении с обычным методом АЭ контроля, в котором напряженное состояние материала получают путем нагружения всего исследуемого объекта, в усовершенствованном методе АЭ контроля исследуемый материал предлагается нагружать локально – на опасных участках объекта [15]. При этом нет необходимости нагружать весь контролируемый объект, соответственно, не теряя возможностей стандартного АЭ контроля, можно существенно повысить производительность диагностирования со снижением экономических затрат АЭ диагностирования за счет исключения дорогостоящего нагружения всего объекта с изменением штатных эксплуатационных характеристик.

Для достижения указанных преимуществ в предлагаемом методе контроля используется нагружение локального участка материала путем воздействия на контролируемую поверхность низкими температурами, которые отвечают требованиям взрывопожаробезопасности, что является важнейшим аспектом при эксплуатации опасных производственных объектов в нефтехимических, газовых и т.д. производствах.

Выбор способа локального нагружения участка листа необходимо осуществлять с позиций безопасности, минимального расхода материалов и производительности процесса. Этим критериям преимущественно соответствует способ низкотемпературной деформации с использованием охладителя в виде сухого льда (диоксид углерода – температура при твердом состоянии минус 72 °С. Контроль параметров упругой

деформации в зоне нагружения и контроля распределения температурного поля на стальном листе сопровождается измерением температурного поля с применением термопар типа ТХА (К), при этом размещение термопар выбирается таким образом, чтобы измерение температуры производилось непосредственно под сухим льдом и за его пределами.

Предлагаемый способ был опробован на стальном вертикальном резервуаре РВС-3000 для хранения светлых нефтепродуктов на одной из нефтебаз (рисунки 1, 2).

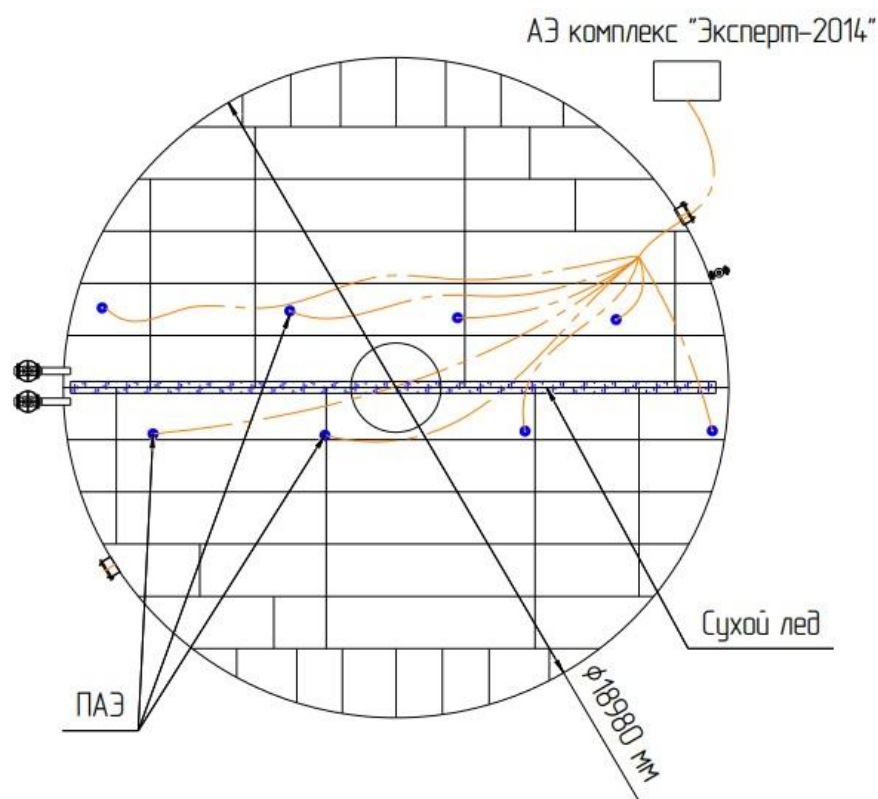


Рисунок 1. Схема АЭ контроля при низкотемпературном нагружении днища РВС-3000

Зафиксированы по модифицированному локально динамическому критерию 5 событий «III» класса опасности (класс опасности выявляется при помощи программного обеспечения АЭ комплекса), координаты обнаруженных опасных участков соответствуют:

- участок № 1 (рисунок 3) – сварное соединение опорного кольца с днищем. Сканирование места прихватки УЗК показало наличие протяженной несплошности – трещины;
- участок № 2 (рисунок 4) – вмятина по основному металлу с пересечением сварного соединения. Проведение комплекса НК вмятины стандартными средствами несплошностей не выявило, но по показаниям твердометрии установлено понижение твердости относительно других участков днища резервуара на 50 %, что свидетельствует об изменении механических свойств металла;
- участок № 3 (рисунок 5) – остатки временных сварных прихваток при монтаже резервуара. При проведении монтажных работ прихватки производились с прожогом основного металла.

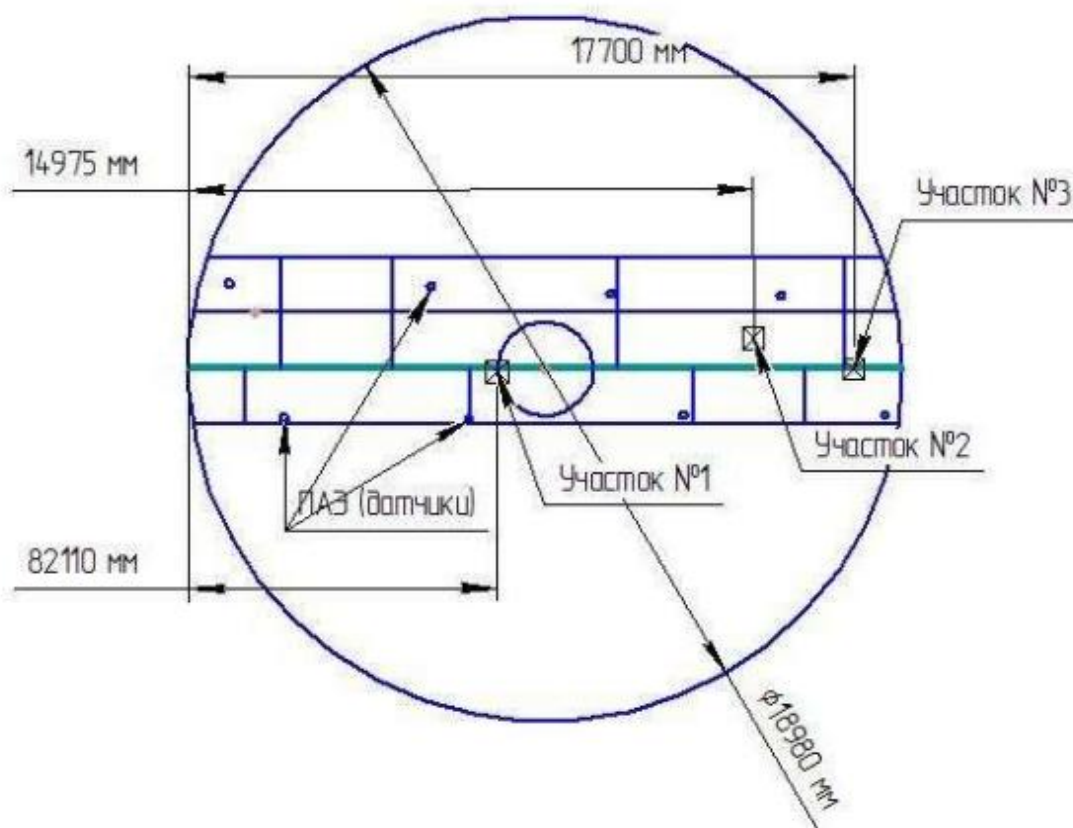


Рисунок 2. Координаты опасных участков, обнаруженные АЭ методом на днище резервуара

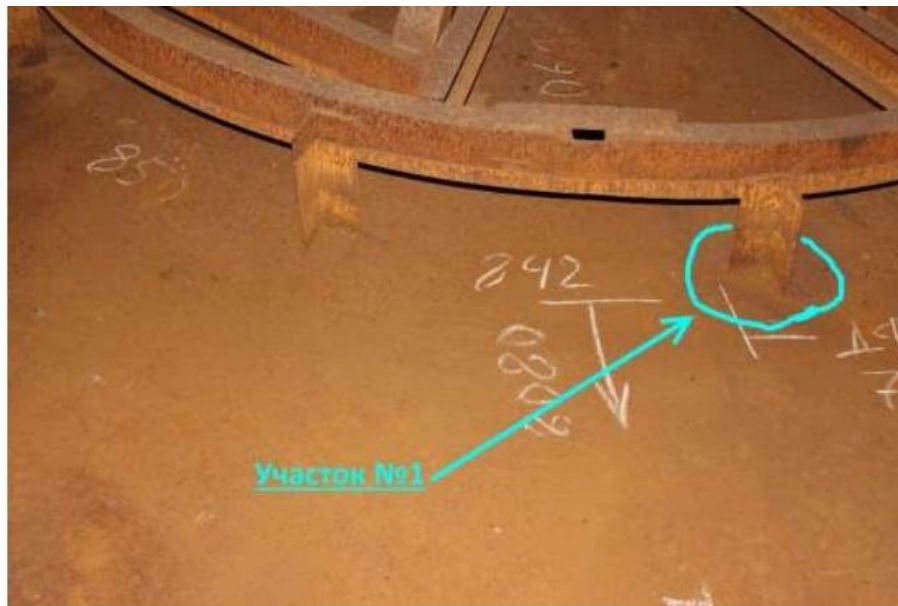


Рисунок 3. Участок № 1, прихватка опорного кольца центральной стойки

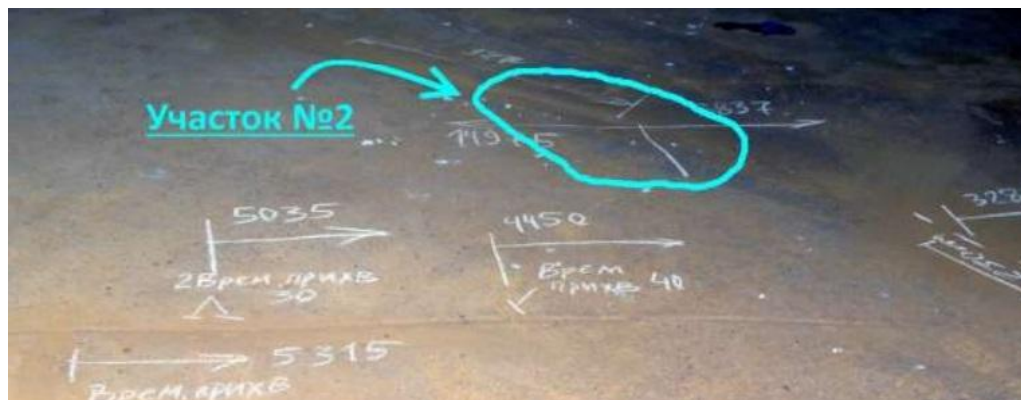


Рисунок 4. Участок № 2, деформация листового металла в виде вмятины



Рисунок 5. Участок № 3, временные прихватки на основном металле

На особо опасных участках (вдоль монтажного соединения днища) резервуара РВС-3000 применен метод АЭ контроля с использованием низкотемпературного локального нагружения. Зафиксированы и обнаружены координаты по модифицированному локально динамическому критерию событий «Ш» класса опасности акустических событий. Во время использования дополнительных методов НК на опознанных участках АЭ контролем как опасные обнаружены нарушения сплошности наплавленного и основного металлов, размерами больше допустимых, согласно нормативным требованиям.

На основании исследований разработана блок-схема алгоритма проведения технического диагностирования резервуаров с применением на ответственных участках локального низкотемпературного нагружения при АЭ контроле (рисунок 6).



Рисунок 6. Алгоритм проведения технического диагностирования резервуаров с применением локального низкотемпературного нагружения при АЭ контроле

Выводы

Проведенные исследования АЭ метода контроля в сочетании с низкотемпературным локальным нагружением показывают высокую точность определения зарождающихся дефектов за счет снижения посторонних помех, по сравнению со стандартной схемой нагружения.

Данное совершенствование существенно снижает себестоимость диагностирования без снижения выявляемости по сравнению со стандартной схемой контроля.

Список используемых источников

1. Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorohobko V., Abdrakhmanova L., Basyirova A. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology Based on Information-Management Safety System // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. No. 12. P. 7880-7888.
2. ГОСТ Р 52727-2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2007. 11 с.
3. ГОСТ Р ИСО 22096-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Метод акустической эмиссии. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.
4. Ларионов В.П., Кузьмин В.Р., Слепцов О.И. Хладостойкость материалов и элементов конструкций. Новосибирск: Наука, 2005. 290 с.
5. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Диагностика технического состояния и оценка ресурса высокорисковых машин // «Механические измерения и испытания»: матер. II Междунар. симпозиума. М.: МАПП, 2010. Ч. 1. С. 20- 24.
6. Крылов В.А. Практический подход к решению задачи АЭ-диагностики оборудования АЭС // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 1990. № 1. С. 77-85.

7. Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Гилязов Э.М. Техническое диагностирование нефтегазового оборудования с трещиноподобными дефектами как мера повышения безопасности производства // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов: сб. тр. Уфа, 2017. № 1 (9). С. 95-101.

8. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности. М.: Изд-во «Спектр», 2011. 187 с.

9. Шайбаков Р.А., Давыдова Д.Г., Кузьмин А.Н., Абдрахманов Н.Х., Марков А.Г. Помехоустойчивый метод акустико-эмиссионного мониторинга резервуаров // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2013. № 4. С. 448-464. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/ShaybakovRA/ShaybakovRA_2.pdf (дата обращения: 18.08.2019).

10. Пат. 2424510 РФ, МПК G 01 N 29/14. Способ обнаружения в процессе сварки дефектов в сварных швах и определения их местоположения по акустическим сигналам и устройство для его осуществления / С.И. Кабанов, К.В. Канифадин. 2009127178/28, Заявлено 14.07.2009; Опубл. 20.07.2011. Бюл. 2.

11. Sekerin V.D., Gaisina L.M., Shutov N.V., Abdrakhmanov N.Kh., Valitova N.E. Improving the Quality of Competence-Oriented Training of Personnel at Industrial Enterprises // Quality – Access to Success. 2018. Vol. 19. No. 165. P. 68-73.

12. Колесников В.А., Намазбаев Т.С., Есенбаев С.Х. Средства измерения и контроля технологических процессов на предприятиях горно-металлургического комплекса. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2012. 107 с.

13. Кускильдин Р.А., Абдрахманов Н.Х., Закирова З.А., Ялалова Э.Ф., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 2 (108). С. 111-120.

14. Fedosov A.V., Abdrakhmanov N.Kh., Gaysin E.Gh., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanova K.N., Shammatova A.A. The Use of Mathematical Models in the Assessment of the Measurements' Uncertainty for the Purpose of the Industrial Safety Condition Analysis of the Dangerous Production Objects // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2018. Vol. 10. P. 433-437.

15. Шайбаков Р.А., Абдрахманов Н.Х., Кузеев И.Р., Симарчук А.С., Байбурин Р.А. Влияние опасных факторов, возникающих при пожаре пролива, и его тушения на напряженно-деформированное состояние трубопровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2008. Вып. 4 (74). С. 109-114.

References

1. Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorohobko V., Abdrakhmanova L., Basyirova A. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology Based on Information-Management Safety System. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, No. 12, pp. 7880-7888.

2. *GOST R 52727-2007. Tekhnicheskaya diagnostika. Akustiko-emissionnaya diagnostika. Obshchie trebovaniya* [State Standard R 52727-2007. Technical Diagnostics. Acoustic Emission Diagnostics. General Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 11 p. [in Russian].

3. *GOST R ISO 22096-2015. Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. Metod akusticheskoi emissii* [State Standard R ISO 22096-2015. Condition Monitoring and Diagnostics of Machines. Acoustic Emission Method]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 15 p. [in Russian].

4. Larionov V.P., Kuz'min V.R., Sleptsov O.I. *Khladostoikost' materialov i elementov konstruksii* [Cold Resistance of Materials and Structural Elements]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 290 p. [in Russian].

5. Makhutov N.A., Gadenin M.M. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya i otsenka resursa vysokoriskykh mashin [Diagnostics of Technical Condition and Resource Assessment of High-Risk Machines]. *Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma «Mekhanicheskie izmereniya i ispytaniya»* [Proceedings of the II International Symposium «Mechanical Measurements and Tests»]. Moscow, MAPP Publ., 2010, Part 1, pp. 20-24. [in Russian].

6. Krylov V.A. Prakticheskii podkhod k resheniyu zadachi AE diagnostiki oborudovaniya AES [Practical Approach to Solving the Problem of AE Diagnostics of NPP Equipment]. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchii kontrol' – Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing*, 1990, No. 1, pp. 77-85. [in Russian].

7. Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Gilyazov E.M. Tekhnicheskoe diagnostirovanie neftegazovogo oborudovaniya s treshchinopodobnymi defektami, kak mera povysheniya bezopasnosti proizvodstva [Technical Diagnostics of Oil and Gas Equipment with Crack-Like Defects as a Measure to Improve Production Safety]. *Sbornik trudov «Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov»* [Proceedings «Examination of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities»]. Ufa, 2017, No. 1 (9), pp. 95-101. [in Russian].

8. Makhutov N.A., Gadenin M.M. *Tekhnicheskaya diagnostika ostatochnogo resursa i bezopasnosti* [Technical Diagnostics of Residual Life and Safety]. Moscow, Izd-vo «Spektr» Publ., 2011. 187 p. [in Russian].

9. Shaibakov R.A., Davydova D.G., Kuz'min A.N., Abdrakhmanov N.Kh., Markov A.G. Pomekhoustoichivyi metod akustiko-emissionnogo monitoringa rezervuarov [Nonsensitive to Noise Method of Acoustic Emission Monitoring of Tanks]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2013, No. 4, pp. 448-464. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/ShaybakovRA/ShaybakovRA_2.pdf (accessed 18.08.2019). [in Russian].

10. Kabanov S.I., Kanifadin K.V. *Sposob obnaruzheniya v protsesse svarki defektov v svarnykh shvakh i opredeleniya ikh mestopolozheniya po akusticheskim signalam i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A Method for Detecting Defects in Welds During Welding and Determining Their Location by Acoustic Signals and a Device for its Implementation]. Patent RF, No. 2424510, 2011. [in Russian].

11. Sekerin V.D., Gaisina L.M., Shutov N.V., Abdrakhmanov N.Kh., Valitova N.E. Improving the Quality of Competence-Oriented Training of Personnel at Industrial Enterprises. *Quality – Access to Success*, 2018, Vol. 19, No. 165, pp. 68-73.

12. Kolesnikov V.A., Namazbaev T.S., Esenbaev S.Kh. *Sredstva izmereniya i kontrolya tekhnologicheskikh protsessov na predpriyatiyakh gornometallurgicheskogo kompleksa* [Means of Measurement and Control of Technological Processes at the Enterprises of Mining and Metallurgical Complex]. Karaganda, Izd-vo KarGTU, 2012. 107 p. [in Russian].

13. Kuskil'din R.A., Abdrakhmanov N.Kh., Zakirova Z.A., Yalalova E.F., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. *Sovremennye tekhnologii dlya provedeniya proizvodstvennogo kontrolya, povyshayushchie uroven' promyshlennoi bezopasnosti na ob'ektakh neftegazovoi otrasli* [Modern Technologies for Operation Control Monitoring Increasing Industrial Safety Level on Oil and Gas Industry Objects]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 2 (108), pp. 111-120. [in Russian].

14. Fedosov A.V., Abdrakhmanov N.Kh., Gaysin E.Gh., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanova K.N., Shammatova A.A. The Use of Mathematical Models in the Assessment of the Measurements' Uncertainty for the Purpose of the Industrial Safety Condition Analysis of the Dangerous Production Objects. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2018, Vol. 10, pp. 433-437.

15. Shaibakov R.A., Abdrakhmanov N.Kh., Kuzeev I.R., Simarchuk A.S., Baiburin R.A. Vliyanie opasnykh faktorov, voznikayushchikh pri pozhare proliva, i ego tusheniya na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie truboprovoda [Influence of the Dangerous Factors Arising at the Fire of the Passage, and Its Suppression on the Intense Deformed Condition of the Pipeline]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2008, Issue 4 (74). pp. 109-114. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Абдрахманов Наиль Хадитович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Nail Kh. Abdrakhmanov, Doctor of Technical Science, Professor of Industrial Safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: anailx@mail.ru

Шайбаков Рустем Ахтямович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

Rustem A. Shaibakov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Industrial Safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rashaibakov@mail.ru

Леонов Олег Александрович, магистрант кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Oleg A. Leonov, Undergraduate Student of Industrial Safety and Labor Protection Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: Leo.94@list.ru

Абдрахманова Карина Наилевна, аспирант, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Karina N. Abdrakhmanova, Post-graduate Student, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: akarinan@mail.ru

Басырова Аида Рустемовна, студент кафедры «Архитектура», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aida R. Basyrova, Student of Architecture Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: aida_basyrova@mail.ru