

УДК 620.179.1:622.692.23

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Федосов Артем Васильевич<sup>1</sup>,  
fedsv-artem@rambler.ru

Абдрахманов Наиль Хадитович<sup>1</sup>,  
pb0t@mail.ru

Вадулина Надежда Вячеславовна<sup>1</sup>,  
momus7@mail.ru

Хафизова Дильбар Фанилевна<sup>1</sup>,  
dilbarkhafizova@gmail.com

Абдрахманова Карина Наилевна<sup>1</sup>,  
akarinan@mail.ru

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
Россия, 450062, г. Уфа, Космонавтов, 1.

**Актуальность** исследования обусловлена постоянным ростом числа резервуарных парков, выработавших установленный срок эксплуатации и являющихся морально и технически устаревшими, что неизбежно приводит к отказам оборудования и авариям на нефтегазовых объектах, в том числе наносит непоправимый вред экологии и жизни работников. В условиях ограниченных экономических рамок и трудностей ремонтно-восстановительных работ без вывода оборудования из эксплуатации предотвратить аварийные ситуации возможно лишь при проведении технического диагностирования и постоянного анализа состояния резервуаров с помощью дистанционного мониторинга.

**Цель:** разработка и предложение метода неразрушающего контроля резервуара, позволяющего определять возможность его дальнейшей эксплуатации без остановки плановой работы, планировать дальнейший порядок ремонтных работ и оставшийся срок безопасной службы.

**Объекты:** резервуар вертикальный стальной, акустико-эмиссионный метод контроля, инфраструктура резервуарного парка предприятия, дистанционные методы контроля оборудования.

**Методы:** анализ нормативно-технических документов, прогнозные построения на предмет выявления опасных участков на резервуарах вертикальных стальных, моделирование беспроводной системы передачи данных.

**Результаты.** Установлено, что с применением низкотемпературного режима нагружения резервуара при акустико-эмиссионном методе контроля с добавлением беспроводной GSM системы мониторинга можно существенно повысить безопасность эксплуатации резервуарных парков и оценить остаточный ресурс резервуаров.

**Выводы.** С помощью акустико-эмиссионного контроля с низкотемпературным нагружением локальных участков резервуара, а также постоянного дистанционного мониторинга резервуаров нефтебазы, применяя беспроводную передачу информации по технологии GSM в режиме реального времени можно существенно уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций.

### Ключевые слова:

Промышленная безопасность, резервуар вертикальный стальной, акустико-эмиссионный метод контроля, дистанционный мониторинг, GSM система, документоориентированная система управления базами данных.

### Введение

Состояние резервуаров вертикальных стальных (РВС) на нефтегазовых объектах характеризуется высоким износом (около 90 %). Большая часть резервуаров все еще продолжает эксплуатироваться, увеличивая вероятность возникновения аварийных ситуаций на предприятиях [1].

При отсутствии достаточных инвестиций для реконструкции и ремонта систем хранения нефти, а также ввиду длительности и трудоемкости строительства новых резервуаров, решением проблемы является продление ресурса существующих резервуаров путем проведения своевременного технического диагностирования и постоянного мониторинга нефтебазы.

Обзорный анализ нормативно-методических документов по техническому диагностированию РВС показал, что методы неразрушающего контроля

(НК), используемые в настоящее время, такие как рентгенография, ультразвуковая толщинометрия, капиллярные, магнитные и другие виды контроля, направлены на поиск и нахождение дефектов, образовавшихся в результате эксплуатации резервуара [2]. Структура металла претерпевает необратимые изменения, поэтому необходимо определять дефекты еще на раннем этапе их развития.

В настоящее время необходимость введения и использования новых подходов к традиционным методам контроля является актуальной задачей. К таким методам относится прежде всего акустико-эмиссионный (АЭ) контроль [3, 4].

### Акустико-эмиссионный контроль

АЭ метод контроля позволяет выявлять и регистрировать акустические волны, возникающие в

процессах деформирования, связанных с ростом дефектов и структурными превращениями в металле. С помощью этого метода можно своевременно выявлять развивающиеся дефекты сварных соединений и основного металла, а также определять степень опасности дефекта и скорость его развития [5, 6].

Чем больше деформирован материал, тем выше уровень эмиссии, поэтому при проведении АЭ диагностирования в конструкциях необходимо создавать искусственную пластическую деформацию путем изменения таких рабочих параметров, как давление, уровень налива и т. д., что затратно для предприятия.

В данной работе предлагается способ АЭ контроля, который значительно сократит экономические затраты. В предлагаемом методе, так же как и при обычном методе АЭ контроля, создается пластическая деформация контролируемой поверхности, но на заранее выбранном участке, где высока вероятность возникновения дефектов. Воздействуя низкими температурами на материал можно существенно повысить выявляемость дефектов. В работах [7, 8] были проведены исследования с использованием охладителя в виде сухого льда, которые определили большую степень обнаружения дефектов металла. Сущность данного метода состоит в том, что на заранее выбранном участке РВС создается упругая деформация охлаждением поверхности с помощью сухого льда, сублимация которого начинается при минус семидесяти двух градусах по Цельсию, что исключает фиксацию ложных акустических шумов [9, 10].

Предложенным методом можно нагружать как днище резервуара, так и его стенки. Нагружение сухим льдом стен резервуара предлагается производить при помощи разборных апаловок из легких материалов, что не затруднит их установку. В пространство между стенкой и апаловкой загружается оксид углерода и проводится АЭ контроль с применением защищенных от влияния низких температур преобразователей акустической эмиссии (рис. 1).

Таким образом, предлагаемый низкотемпературный метод нагружения существенно повышает производительность диагностирования, понижает экономические затраты за счет исключения дорогостоящего нагружения всего объекта, а также исключает возможность возникновения пожара и взрывов, что является важнейшим аспектом в безопасной эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО) в нефтегазовой сфере.

#### Дистанционный мониторинг нефтебазы

Чтобы достичь максимальной эффективности эксплуатации РВС при минимальных затратах, предлагается обеспечить постоянный дистанционный мониторинг на нефтебазе путем модернизации приборов АЭ контроля GSM системой.

В настоящее время на нефтебазах используются примитивные системы сбора и обработки данных, вплоть до записи и обработки результатов в таких программах, как Excel [11, 12].

Вследствие этого на производстве возникают проблемы, связанные со сбором и анализом данных о количестве веществ на резервуарных парках, а также с затратами на исправление сопутствующих ошибок при расчете объемов производства и т. д. Это особенно актуально, когда парки распределены по всему предприятию или находятся в разных городах.

Исходя из возможностей новых технологий указанные проблемы можно решить с помощью беспроводной системы передачи данных с использованием технологии GSM через GSM/GPRS модемы (рис. 2) [13, 14].

Основным преимуществом подобных сетей является возможность развертывания сети без прокладки кабеля, что позволит специалистам установить необходимое оборудование непосредственно на рабочей станции, без затрагивания инфраструктуры организации. Широкая распространенность на рынке позволяет существенно уменьшить стоимость развертывания сети и гарантирует совместимость оборудования [15, 16].

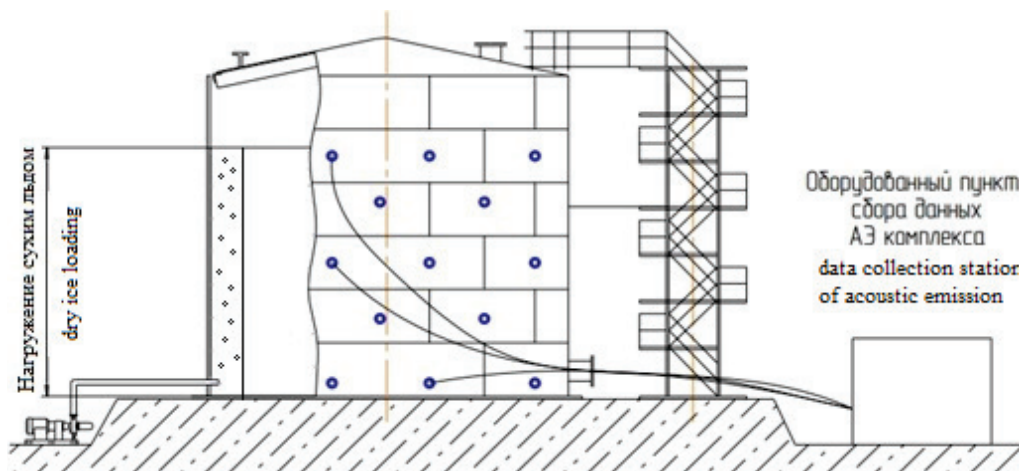


Рис. 1. Нагружение резервуара сухим льдом

Fig. 1. Tank loading with dry ice

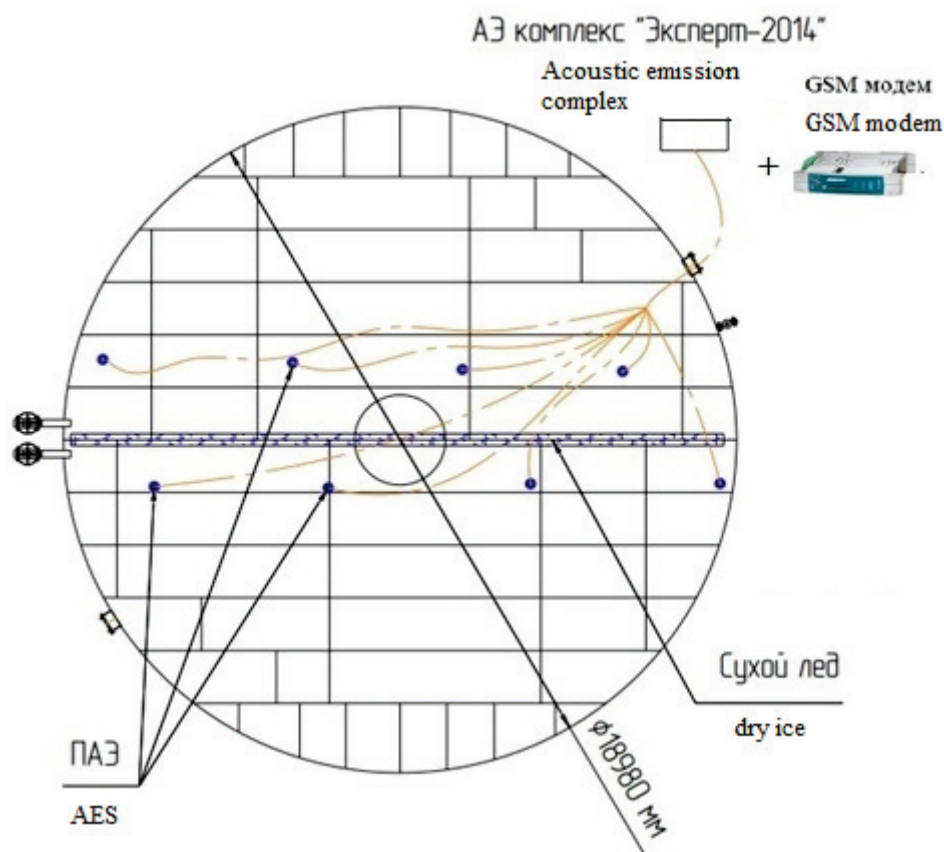


Рис. 2. АЭ контроль с добавлением GSM системы

Fig. 2. Acoustic emission control with use of GSM system



Рис. 3. Структура системы

Fig. 3. System hardware architecture

Передача информации по технологии GSM условно спроектирована на рис. 3.

Этапы сбора, передачи и обработки данных:

- 1) сбор и декодирование получаемого сигнала с помощью модуля МСД;
- 2) передача данных с модуля МСД на GSM-модем по платформе RS-232;
- 3) получение данных с РВС на сервер по сети GSM;
- 4) трансляция готовых сведений на рабочую станцию по платформе RS-232 [17, 18].

Добавление и подключение к серверной части МСД модемов, используемых на резервуарном парке, позволит одновременно контролировать все резервуары предприятия в режиме реального времени.

Разработанная архитектура также предусматривает возможность сбора данных сервером. При этом добавление API-модуля существенно снизит нагрузку на рабочей станции, вынося вычисления на сервер, а оператору управляя только результаты анализа приборов [19]

Модель программного продукта системы представлена на рис. 4.



Рис. 4. Модель программного продукта системы

Fig. 4. Model of the software part of the system

Сбор и анализ данных выполняется в «виртуальном паспорте резервуара», написанном на Ruby и осуществляется либо по протоку сети GSM, либо по протоку Modbus, который в течение всего времени эксплуатации работает в режиме реального времени.

Модули, использующие платформы AMQP, Node.js, формируют и выполняют обработку данных соответственно.

Структура базы данных, используемая в системе, должна отражать наиболее актуальные данные – это тип резервуара, название вещества, давление и влажность в резервуаре, состояние работы устройства и т. д.

Система управления базами данных (СУБД) MongoDB представлена для ознакомления на рис. 5 и может использоваться в системе мониторинга резервуарного парка, так как содержит в себе все необходимые данные для контроля состояния резервуарного парка или нефтебазы в целом [20].

### Заключение

Благодаря эффективности нахождения развивающихся дефектов с помощью акустико-эмиссионного контроля с низкотемпературным нагружением локальных участков резервуара, а также постоянного дистанционного мониторинга нефтебазы с помощью беспроводной передачи информации по технологии GSM в режиме реального времени можно существенно уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций.

За счет низкой стоимости и простоты в установке данной системы можно в кратчайшие сроки перейти к ее эксплуатации на реальных промышленных предприятиях.

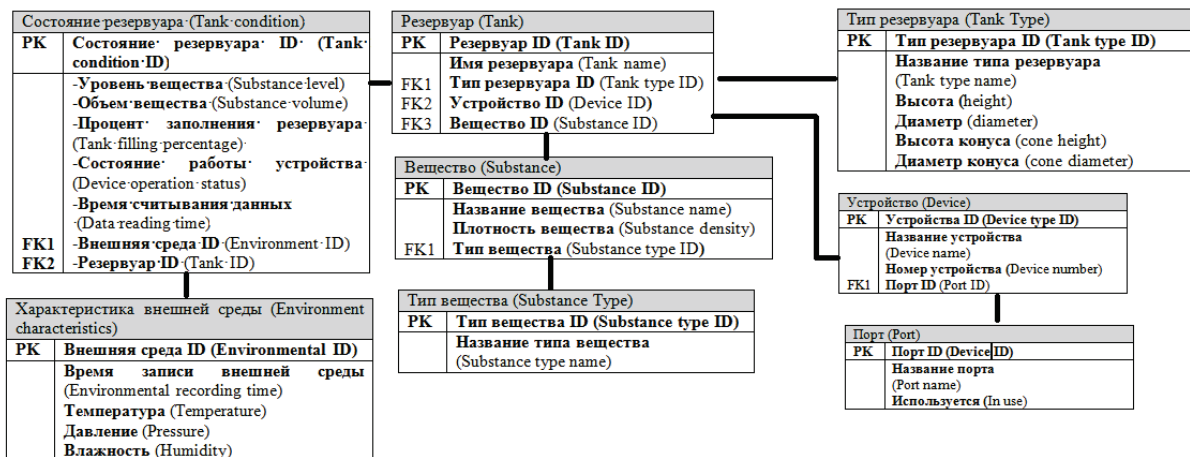


Рис. 5. Логическая модель базы данных

Fig. 5. Logical database model

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самигуллин Г.Х., Лягова А.А. Определение предельных размеров трещиноподобных дефектов в стенке стальных вертикальных резервуаров // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 104–107.
2. ГОСТ 31385–2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. – М: Стандартинформ, 2010. – 56 с.

3. Buganova S.N. Stress pattern in the zone of the manway tie-in the wall of a cylindrical tank // Modern Science. – 2007. – № 4-1. – P. 21–26.
4. ГОСТ Р 56542–2015. Контроль неразрушающий, классификация видов и методов. – М: Стандартинформ, 2015. – 5 с.
5. Tissot B.P. Preliminary data on the mechanisms and kinetics of the formation of petroleum in sediments. Computer simulation of a reaction flowsheet // Oil & Gas Science and Technology. – Re-

- vue de Institut Français du Pétrole. – 2003. – V. 58. – № 2. – P. 183–202.
6. Актуальность новых подходов в исследовании причин деформаций резервуаров / П.В. Потешкин, Р.М. Тимебулатов, А.Н. Авренюк, Р.А. Сабилов, Р.В. Зиннатуллин, Е.В. Салаев, М.И. Амангулов // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 10. – С. 50–53.
  7. Большаков А.М., Андреев Я.М. Характер отказов резервуаров для хранения нефтепродуктов, эксплуатирующихся в условиях Севера по принципу плоскостных и объемных дефектов // Материалы МК «ЖиКМ». – М., 22–24 октября 2012. – М.: ИМАШ РАН, 2012. – С. 12–13.
  8. A model for carbon and stainless steel reinforcing bars including inelastic buckling for evaluation of capacity of existing structures / Z. Zhou, D. Lavorato, C. Nuti, G.C. Marano // COMPDYN 2015 – 5<sup>th</sup> ECCOMAS thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering. – Heraklion, Greece, 2015. – P. 876–886.
  9. Maleki A.P., Ziyaeifar M.K. Sloshing damping in cylindrical liquid storage tanks with baffles // Journal of Sound and Vibration. – 2008. – V. 311. – № 1–2. – P. 372–385.
  10. Patkas L.A., Karamanos S.A. Variational solutions for externally induced sloshing in horizontal-cylindrical and spherical vessels // Journal of Engineering Mechanics. – 2014. – № 133. – P. 641–655.
  11. Оценка и обеспечение безопасности эксплуатации нефтегазопроводов в условиях нестационарности технологических параметров / З.Х. Павлова, Х.А. Азметов, Н.Х. Абдрахманов, А.Д. Павлова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 1. – С. 132–139.
  12. Improving the quality of competence-oriented training of personnel at industrial enterprises / V.D. Sekerin, L.M. Gaisina, N.V. Shutov, N.Kh. Abdrakhmanov, N.E. Valitova // Quality – Access to Success. – 2018. – V. 19. – № 165. – P. 68–73.
  13. A repair and retrofitting intervention to improve plastic dissipation and shear strength of oil tanks / D. Lavorato, C. Nuti, S. Santini, B. Briseghella, J. Xue // IABSE conference. Structural engineering, providing solutions to global challenges report. – Geneva, 2015. – P. 1762–1767.
  14. Quantification of the amplitude variability of the steel. Variability of linear and non-linear structural response of a single degree of freedom system / E. Koufoudi, C. Cornou, S. Grange, F. Dufour, A. Imtiaz // Bulletin of Earthquake Engineering. – 2018. – № 5. – P. 202–208.
  15. Федосов А.В., Закирова З.А., Абдрахимова И.Р. Перспективы применения риск-ориентированного подхода в области промышленной безопасности // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. УГНТУ. – 2018. – № 1. – С. 145–161.
  16. Simultaneous detection of liquid level and refractive index change by using long period fiber grating sensor device / Y. Huang, B. Chen, E. Pienkowski, G. Chen, H. Xiao // Sensor and Accurater A: Physical. – 2011. – P. 34–36.
  17. James Khaliq S.W., Tatam R.P. Fiber-optic liquid level sensor using a long-period grating // Opt. Lett. – 2001. – V. 26. – P. 1224–1226.
  18. Monteiro M.S. Experimental investigations of various methods of sludge measurements in storage oil tanks // Advances in Remote Sensing. – 2015. – V. 4. – № 2. – P. 119–137.
  19. A new approach for a special assessment of the working conditions at the production factor's impact through forecasting the occupational risks / N.Kh. Abdrakhmanov, N.V. Vadulina, A.V. Fedosov, S.M. Ryamova, E.Sh. Gaisin // Man in India. – 2017. – V. 97. – № 20. – P. 495–511.
  20. 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 / A.V. Fedosov, N.Kh. Abdrakhmanov, E.Gh. Gaysin, G.M. Sharafutdinova, K.N. Abdrakhmanova, A.A. Shammatoeva // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2018. – V. 10. – P. 433–437.

Поступила: 16.11.2018 г.

#### Информация об авторах

**Федосов А.В.**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной безопасности и охраны труда Уфимского государственного нефтяного технического университета

**Абдрахманов Н.Х.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной безопасности и охраны труда Уфимского государственного нефтяного технического университета.

**Вадудина Н.В.**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной безопасности и охраны труда Уфимского государственного нефтяного технического университета.

**Хафизова Д.Ф.**, студент кафедры промышленной безопасности и охраны труда Уфимского государственного нефтяного технического университета.

**Абдрахманова К.Н.**, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета.

UDC 620.179.1:622.692.23

## DIAGNOSIS OF VERTICAL STEEL TANKS AS A TOOL TO IMPROVE SAFETY OPERATION OF OIL AND GAS FACILITIES

Artem V. Fedosov<sup>1</sup>,  
fedsv-artem@rambler.ru

Nail Kh. Abdrakhmanov<sup>1</sup>,  
pbot@mail.ru

Nadezhda V. Vadulina<sup>1</sup>,  
momus7@mail.ru

Dilbar F. Khafizova<sup>1</sup>,  
dilbarkhafizova@gmail.com

Karina N. Abdrakhmanova<sup>1</sup>,  
akarinan@mail.ru

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University,  
1, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia.

**The relevance** of the research is related to increasing a number of tank farms that have developed a standard operating life. It inevitably leads to equipment failure and accidents at oil and gas facilities, including irreparable harm to the environment and workers lives. Under limited economic frameworks conditions and due to difficulties of repair and restoration work without decommissioning equipment, the only way to prevent emergencies is technical diagnostics and continuous remote monitoring analysis of the tanks state.

**The aim** of the research is to develop and propose non-destructive testing method of a reservoir, which allows determining the possibility of its further operation without shutdown of planned work and allows planning the further repair work and safe service remaining period.

**Objects:** vertical steel tank, acoustic emission control method, infrastructure of the enterprise's tank farm.

**Methods:** analysis of regulatory-technical documents, forecasting hazardous areas allocation on vertical steel tanks, modeling of a wireless data transmission system.

**Results.** It was established that the use of a low-temperature mode of tank loading with addition of a wireless GSM monitoring system during acoustic emission controlling allows increasing significantly the safety of tank farms operation.

**Conclusions.** Acoustic emission monitoring with low-temperature loading of reservoirs local sections, as well as constant remote monitoring of the tank farm and using the real-time wireless transmission of information by GSM technology can significantly reduce the probability of emergencies.

### Key words:

Industrial safety, vertical steel tank, acoustic emission monitoring method, remote monitoring, GSM system, document-oriented database management system.

### REFERENCES

- Samigullin G.H., Lyagova A.A. Determination of crack-like defects limiting size in the steel vertical tanks wall. *Neftyanoe hozyaystvo*, 2017, no. 3, pp. 104–107. In Rus.
- GOST 31385–2008. *Rezervuary vertikalnye tsilindricheskie stalnye dlya nefti i nefteproduktov. obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard 31385–2008. Vertical cylindrical steel tanks for petroleum and petroleum products. General regulations]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 56 p. In Rus.
- Buganova S.N. Stress pattern in the zone of the manway tie-in to the wall of a cylindrical tank. *Modern Science*, 2017, no. 4–1, pp. 21–26.
- GOST P 56542–2015. *Kontrol nerazrushayushchy, klassifikatsiya vidov i metodov* [State Standard 56542–2015. Non-destructive testing, classification of species and methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 5 p.
- Tissot B.P. Preliminary data on the mechanisms and kinetics of the formation of petroleum in sediments. Computer simulation of a reaction flowsheet. *Oil & Gas Science and Technology – Revue de Institut Français du Pétrole*, 2003, vol. 58, no. 2, pp. 183–202.
- Poteshkin P.V., Timerbulatov R.M., Avrenyuk A.N., Sabirov R.A., Zinnatullin R.V., Salyaev E.V. The relevance of new approaches of storage tank deformation causes study. *Neftyanoe hozyaystvo*, 2017, no. 10, pp. 50–53. In Rus.
- Bolshakov A., Andreev Ya.M. Kharakter otkazov rezervuarov dlya khraneniya nefteproduktov ekspluatiruyushchikhsya v usloviyakh Severa po printsipu ploskostnykh i obyemnykh defektov [The nature of failures of North operating oil storage tanks according to the principle of plane and volume defects]. *Materialy MK «ZHiKM»*. Moscow, 22–24, October 2012, pp. 12–13.
- Zhou Z., Lavorato D., Nuti C., Marano G.C. A model for carbon and stainless steel reinforcing bars including inelastic buckling for evaluation of capacity of existing structures. *COMPADYN 2015 – 5<sup>th</sup> ECCOMAS thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering* Heronissos, Greece, 2015. pp. 876–886.
- Maleki A.P., Ziyaeifar M. K. Sloshing damping in cylindrical liquid storage tanks with baffles. *Journal of Sound and Vibration*, 2008, vol. 311, no. 1–2, pp. 372–385.
- Patkas L.A., Karamanos S.A. Variational solutions for externally induced sloshing in horizontal-cylindrical and spherical vessels. *J Eng Mech.*, 2014, no. 133, pp. 641–655.
- Pavlova Z.Kh., Azmetov Kh.A., Abdrakhmanov N.Kh., Pavlova A.D. Assessment and safety of oil and gas pipelines operation

- under conditions of unsteady technological parameters. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329, no. 1, pp. 132–139. In Rus.
12. 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.
  13. Lavorato D., Nuti C., Santini S., Briseghella B., Xue J. A repair and retrofitting intervention to improve plastic dissipation and shear strength of oil tanks. *IABSE conference. Structural engineering, providing solutions to global challenges report*. Geneva, 2015. pp. 1762–1767.
  14. Koufoudi E., Cornou C., Grange S., Dufour F., Imtiaz A. Quantification of the amplitude variability of the steel. Variability of linear and non-linear structural response of a single degree of freedom system. *Bull Earthq Eng.*, 2018, no. 5, pp. 202–208.
  15. Fedosov A.V., Zakirova Z.A., Abdrahmanova I.R. Perspectives of application of risk-based approach in the industrial safety area. *Neftegazovoe delo*, 2018, no. 1, pp. 145–161. In Rus.
  16. Huang Y., Chen B., Pienkowski E., Chen G., Xiao H. Simultaneous detection of liquid level and refractive index change by using long period fiber grating sensor. *Sensor and Accurator A: Physical*, 2011, pp. 34–36.
  17. James Khaliq S.W., Tatam R.P. Fiber-optic liquid level sensor using a long-period grating. *Opt. Lett.*, 2001, vol. 26, pp. 1224–1226.
  18. Monteiro M.S. Experimental investigations of various methods of sludge measurements in storage oil tanks. *Advances in Remote Sensing*, 2015, vol. 4, no. 2, pp. 119–137.
  19. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E.Sh. A new approach for a special assessment of the working conditions at the production factor's impact through forecasting the occupational risks. *Man in India*, 2017, vol. 97, no. 20, pp. 495–511.
  20. 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.

Received: 16 November 2018.

#### Information about the authors

**Artem V. Fedosov**, Cand. Sc., associate professor, Ufa State Petroleum Technological University.

**Nail Kh. Abdrakhmanov**, Dr. Sc., professor, Ufa State Petroleum Technological University.

**Nadezhda V. Vadulina**, Cand. Sc., associate professor, Ufa State Petroleum Technological University.

**Dilbar F. Khafizova**, student, Ufa State Petroleum Technological University.

**Karina N. Abdrakhmanova**, postgraduate student, Ufa State Petroleum Technological University.