

УДК 62-192;620.19; 622.692.4

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРИ МОНИТОРИНГЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Пимнев А.Л., Земенкова М.Ю.

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,  
Тюмень, e-mail: muzemenkova@mail.ru

Энергетическая безопасность является одной из важнейших составляющих национальной безопасности страны. Наличие резервуарной емкости, находящейся в работоспособном, исправном состоянии, является весьма важным фактором в энергетической безопасности. Срок эксплуатации значительной части резервуаров превысил нормативный и в современных экономических условиях, когда строительство новых требует значительных финансовых затрат, прогнозирование состояния резервуаров по результатам их технического диагностирования приобретает особо важное значение. Техническое диагностирование вертикальных стальных резервуаров, эксплуатируемых на нефтегазовых предприятиях, в первую очередь, направлено на повышение их надежности. Для повышения эффективности диагностирования необходимо установить системную взаимосвязь между техническим состоянием вертикального стального резервуара, его надежностью, периодичностью технических диагностирования и их объемом. В данной статье рассмотрена оценка остаточного ресурса эксплуатации резервуаров при мониторинге их надежности.

**Ключевые слова:** надежность, мониторинг, резервуар, остаточный ресурс, оценка, работоспособное состояние, диагностирование, контроль, прогнозирование

## EVALUATION OF RESIDUAL LIFE USE IN RELIABILITY MONITORING TANKS IN THE CHANGING SERVICE CONDITIONS

Pimnev A.L., Zemenkova M.Y.

FGBO of higher education «Tyumen State Oil and Gas University»,  
Tyumen, e-mail: muzemenkova@mail.ru

Energy safety is one of the most important components of national security. The presence of reservoir capacity, located in an efficient, good condition is a very important factor in energy safety. The service life of a large part of the tank exceeded the normative and the current economic conditions, when the construction of new demands considerable financial expenses, prediction the state of tanks as a result of their technical diagnosis is particularly important. Technical diagnostics of vertical steel tanks operated on the oil and gas companies, primarily aimed at increasing their reliability. To improve the efficiency of diagnosis is necessary to establish a system link between the technical condition of vertical steel tank, its reliability, technical diagnosis periodicity and volume. In this article the estimation of residual life use in the monitoring of their reliability.

**Keywords:** reliability, monitoring, tank, residual life, evaluation, up state, diagnosis, inspection, prediction

Главным стратегическим ориентиром утвержденной Правительством Российской Федерации в 2009 году Энергетической стратегии России на период до 2030 года установлена энергетическая безопасность – одна из важнейших составляющих национальной безопасности страны [15]. Угрозы надежному топливо- и энергообеспечению определяются не только различными внешними факторами (геополитические, макроэкономические, конъюнктурные), но и состоянием и функционированием энергетического сектора страны, включая нефтяной комплекс в целом и магистральный транспорт нефти в частности.

Основными проблемами в сфере энергетической безопасности являются высокая степень износа основных фондов и низкая степень инвестирования в развитие отраслей топливно-энергетического комплекса.

Так, согласно [15], износ в нефтеперерабатывающей промышленности составляет 80%, а объем инвестиции в ТЭК не превысил 60% от объемов, запланированных ранее действовавшей Энергетической стратегией России на период до 2020 года. Например, инвестиционная программа ОАО «АК «Транснефть»» – компании, осуществляющей магистральный трубопроводный транспорт нефти, – предусматривает строительство 125 новых резервуаров общим объемом 1920 тыс. м<sup>3</sup> [2] в период с 2014 по 2020 г. Тогда как при рассмотрении Генеральной схемы развития нефтяной отрасли до 2020 года (утверждена Приказом Министерства энергетики РФ от 6 июня 2011 года № 212) на совещании Правительства Российской Федерации 28 октября 2010 г. отмечено, что для развития трубопроводного транспорта потребуются дополнительно построить и ввести

в эксплуатацию около 2500 тыс. м<sup>3</sup> резервуарной емкости. Это свидетельствует о важности сохранения существующей резервуарной емкости в работоспособном состоянии.

Как отмечено в [8], комбинация таких факторов, как производство нефти, ее потребление и темпы заполнения нефтехранилищ, может привести к значительному изменению мировых цен на нефть. Так, при увеличении объема добычи нефти и сокращении ее потребления нефтехранилища заполняются сырьем, а отрасль может испытывать нехватку мест для хранения нефти. В таких условиях наличие резервуарной емкости, находящейся в работоспособном, исправном состоянии является также весьма важным фактором в энергетической безопасности.

Учитывая, что строительство системы нефтепроводов России завершено в целом в конце 80-х годов XX века [9, 13], то на современном этапе одним из основных направлений повышения безопасности и обеспечения надёжности магистрального трубопроводного транспорта России является диагностический контроль эксплуатируемых объектов [4].

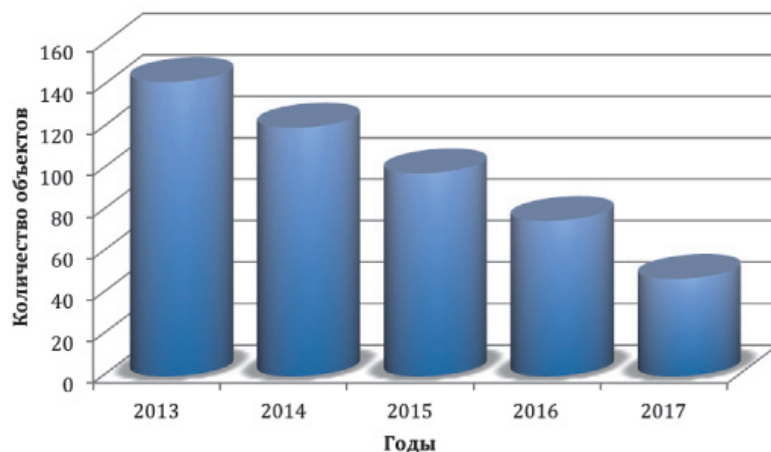
Техническое диагностирование резервуаров является частью долгосрочной программы технического перевооружения и реконструкции ОАО «АК «Транснефть»». Средства, направляемые на обеспечение надежности резервуарных парков, составляют 15% от объемов финансирования по Программе развития на период до 2020 года. Таким образом, в сложившейся экономической и экологической ситуации весьма актуальной становится задача определения оптимального межремонтного периода с учетом текущего технического состояния оборудования [3, 10].

Главным условием возможности безопасной эксплуатации резервуара на расчетных параметрах является удовлетворение параметров его элементов, работающих под нагрузкой, условиям прочности и устойчивости согласно СНиП II-23-81\* [12]. Таким образом, эксплуатация резервуара не допускается, когда по условиям прочности и устойчивости при статических нагрузениях отдельные элементы конструкции резервуара не соответствуют расчетным эксплуатационным параметрам вследствие коррозионного износа, механических повреждений, снижения механических свойств металла и т.д. В этом случае продление срока службы резервуара возможно при

установлении пониженных эксплуатационных параметров (снижение уровня залива, уменьшение избыточного давления и вакуума) или после проведения комплексных мероприятий по ремонту и усилению металлических конструкций резервуара.

Обеспечение эксплуатационной надёжности резервуара на более длительный срок (по сравнению с нормативным, который установлен в [12] и составляет 20 лет) осуществляется за счет использования современных технологий ремонта, материалов и оборудования. Так, в период с 2013 по 2017 годы наблюдается снижение объемов ремонта и строительства резервуаров со 140 до 50 объектов (рисунок). Связано это с тем, что после 10 лет эксплуатации резервуара после ремонта, как показала практика, по результатам диагностирования продлевается срок эксплуатации на 10–15 лет без проведения дополнительных работ.

Нормативным документом [12] установлены общие требования к определению остаточного ресурса резервуаров. Исходные данные для расчета должны приниматься по результатам технического диагностирования: фактические геометрические размеры, минимальные толщины конструктивных элементов, характеристики материалов. При этом прочностные характеристики материалов принимаются либо по данным проекта либо по результатам исследований химического состава и механических свойств металла, что, в свою очередь, позволит учитывать возможное снижение механических свойств основного металла или сварных соединений путем соответствующего уменьшения допускаемых напряжений. Определение остаточного ресурса резервуаров включает в себя расчеты на прочность и устойчивость, которые учитывают воздействия от эксплуатационной нагрузки (гидростатическое давление хранимой жидкости и избыточное давление газа, вакуум), концентрации напряжений, вызванных местными дефектами в сварных швах, отклонениями в геометрической форме стенки и другими дефектами, а также фактической (остаточной) толщины стенки. Для резервуаров, испытывающих циклические нагрузки, должны выполняться поверочные расчеты на малоцикловую усталость, а для резервуаров, эксплуатирующихся при пониженных температурах, – необходимо выполнение поверочных расчетов элементов конструкций с учетом хрупкого разрушения



*Объемы ремонта и строительства резервуарных емкостей в ОАО «АК «Транснефть»» в период с 2013 по 2017 годы (по данным [9])*

Работы многих авторов посвящены исследованиям по определению остаточного ресурса резервуаров и решены задачи по отдельным конструктивным элементам, учету каких-либо условий или критериев. Например, в работе [13] рассмотрена оценка долговечности уторных узлов вертикальных стальных цилиндрических резервуаров с возможными технологическими дефектами сварки. Под термином «уторный узел» понимается сопряжение вертикальной стенки и днища, который является наиболее нагруженным и ответственным элементом резервуара, при этом дефекты, образующиеся в уторном узле при сооружении и эксплуатации резервуаров, существенно снижают надежность и остаточный ресурс РВС. В результате исследований разработана методика оценки ресурса уторных сварных соединений резервуаров и установлена зависимость размеров подрезов и геометрии сварного шва и срока эксплуатации уторных узлов. Однако исследования выполнены для РВСПК-50000, что ограничивает область применения этой методики. Исследования [10] посвящены разработке методики расчета напряженно-деформированного и индивидуального остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров с учетом несовершенств геометрической формы по результатам технического диагностирования.

Дефекты, влияющие на эксплуатационную надежность РВС, могут образовываться в конструкции на всех этапах «жизни» резервуара. В зависимости от времени их образования все дефекты, встречающиеся в элементах конструкции

резервуаров, условно можно разделить на пять групп [10]:

- металлургические – появившиеся при изготовлении проката (закаты, расслоения, неравномерное легирование, задиры, микротрещины, нарушение геометрии проката и т.п.);
- заводские – появившиеся на этапе изготовления рулонных или иных заготовок (дефекты сварки и сборки);
- транспортные – появившиеся в процессе транспортировки заготовок до монтажной площадки (вмятины, смятие части рулона, вырывы, задиры, гофры и т.п.);
- монтажные – появившиеся в процессе монтажа резервуара (дефекты сварки и монтажа металлоконструкций, дефекты оснований и фундаментов, неубранные остатки монтажных приспособлений, угловатость монтажных швов и т.п.);
- эксплуатационные – появившиеся в процессе эксплуатации резервуара (осадка, потеря устойчивости, коррозия, хлопуны и т.п.).

Опыт выполнения обследований вертикальных стальных резервуаров позволяет сделать вывод, что основными дефектами, встречающимися практически во всех РВС и оказывающими существенное влияние на эксплуатационную надежность резервуаров, являются коррозионные дефекты и нарушения геометрической формы резервуара. Обусловлено это тем, что именно эти дефекты носят ярко выраженный эксплуатационный характер развития.

В работах [1, 3, 4, 7, 13] предложены математические модели контроля технологических показателей при определении риска, при выборе комплекса

технических средств для производства диагностических работ, при декларировании безопасности предприятий и т.п. Отмечено, что современные информационно-компьютерные технологии позволяют использовать более сложные, но гибкие и универсальные алгоритмы и математические аппараты. Это позволило разработать методику мониторинга прогнозирования показателей надежности и обеспечить тем самым переход от «послеотказовой» системы обслуживания и ремонтов к «предупредительной» по прогнозным показателям надежности.

Но, с другой стороны, анализ опыта эксплуатации РВС показывает, что значительная их часть на момент достижения нормативного срока эксплуатации обладает еще достаточно большим запасом работоспособности. Инженерный опыт подсказывает, что фактический ресурс РВС в значительной мере зависит от качества изготовления и монтажа, свойств продукта, хранимого в резервуаре, интенсивности процесса эксплуатации, инженерно-геологических условий, количества и качества проведенных ремонтов и т.д.

Анализируя вышесказанное, можно сделать вывод о необходимости решения проблемы оценки остаточного ресурса каждого резервуара в соответствии с его фактическим техническим состоянием и условиями эксплуатации [3, 4, 10, 11, 14]. Реализация решения проблемы включает в себя разработку и внедрение эффективных моделей технического диагностирования и прогнозирования срока безопасной эксплуатации стальных вертикальных резервуаров. При этом объем и характер контроля также должен зависеть от срока, условий эксплуатации и динамики показателей технического состояния.

### Список литературы

1. Диагностика повреждений и утечек при трубопроводном транспорте многофазных углеводородов / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Вектор Бук, 2002. – 432 с.
2. Долгосрочная программа развития ОАО «АК «Транснефть» на период до 2020 года [Электронный ресурс] / Материалы 12-го заседания Экспертного совета ОАО «АК «Транснефть», 29.12.2014, Москва. – Режим доступа: [http://www.transneft.ru/u/section\\_file/11882/29-12-2014-1.pdf](http://www.transneft.ru/u/section_file/11882/29-12-2014-1.pdf) Дата обращения: 10.10.2015.
3. Земенкова М.Ю. Системный мониторинг показателей надежности объектов трубопроводного транспорта: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2007. – 187 с.
4. Левитин Р.Е. Способ поддержания рабочего объема вертикальных стальных резервуаров / Р.Е. Левитин,

В.О. Некрасов, Ю.Д. Земенков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2014. – № 3. – С. 43–46.

5. Лисин Ю.В. Разработка инновационных технологий обеспечения надежности магистрального трубопроводного транспорта: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.19; ФГБОУ ВПО УГНТУ. – Уфа, 2013. – 426 с.

6. Мониторинг гидродинамических и технических характеристик трубопроводных систем / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Вектор Бук, 2008 – 432 с.

7. Некрасов В.О., Земенков Ю.Д. Перспективные методы повышения эксплуатационных свойств нефтяных резервуаров // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – М.: ВНИИСТ, 2012. – № 6. – С. 24–26.

8. Ночевка Ф. Нефть готова упасть до \$20 за баррель [Электронный ресурс]: Темпы заполнения нефтехранилищ в США пугают экспертов // Коммерсантъ.ru:[сайт]. – 25.03.2015, 11:00. <http://www.kommersant.ru/doc/2694007>. Дата обр.: 10.10.2015.

9. Обеспечение надежности и безопасности нефтепроводной системы России [Электронный ресурс] / А.Е. Сощенко // Нефтегазовая отрасль России: новые вызовы – новые стратегии: материалы 12-го Российского нефтегазового конгресса (RPGC 2015), 23–25.06.2015 года, Москва. [http://www.transneft.ru/u/news\\_article\\_file/1962/pr-s.pdf](http://www.transneft.ru/u/news_article_file/1962/pr-s.pdf) Дата обр.: 10.10.2015.

10. Пимнев А.Л. Разработка методики оценки несовершенств геометрической формы резервуаров при техническом диагностировании: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2006. – 169 с.

11. Пимнев А.Л. Системный подход при прогнозировании остаточного ресурса резервуаров и определении периодичности технического диагностирования // Нефтегазовый терминал: сборник научных статей памяти профессора Н.А. Малюшина. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 178–179.

12. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов: РД 08-95-95. – М.: ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002.

13. Семин Е.Е. Оценка долговечности уторных узлов вертикальных стальных резервуаров в процессе эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19; РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – М.: 2012. – 21 с.

14. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах / В.Н. Антипов, Ю.Д. Земенков, А.Б. Шабаров и др.; под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2002. – 432 с.

15. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2009. – № 48. – Ст. 5836.

### References

1. Diagnostika povrezhdenij i utechek pri truboprovodnom transporte mnogofaznyh uglevodorodov / Pod obshej redakcij Ju.D. Zezenkova. Tjumen: Vektor Buk, 2002. 432 p.
2. Dolgosrochnaja programma razvitija ОАО «АК «Transneft» na period do 2020 goda [Elektronnyj resurs] / Materialy 12-go zasedanija Jekspertnogo soveta ОАО «АК «Transneft», 29.12.2014, Moskva. Rezhim dostupa: [http://www.transneft.ru/u/section\\_file/11882/29-12-2014-1.pdf](http://www.transneft.ru/u/section_file/11882/29-12-2014-1.pdf) Data obrashhenija: 10.10.2015
3. Zezenkova M.Yu. Sistemnyj monitoring pokazatelej nadezhnosti obektov truboprovodnogo transporta: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.13.01 / M.Yu. Zezenkova; TGNGU. Tjumen, 2007. 187 p.
4. Levitin R.E. Sposob podderzhanija rabocheho obema vertikalnyh stalnyh rezervuarov / R.E. Levitin, V.O. Nekrasov, Yu.D. Zezenkov // Oborudovanie i tehnologii dlja neftegazovogo kompleksa. 2014. no. 3. pp. 43–46.



5. Lisin Ju.V. Razrabotka innovacionnyh tehnologij obezpechenija nadezhnosti magistralnogo truboprovodnogo transporta: Dis. ... dokt. tehn. nauk: 25.00.19 / Ju.V. Lisin; FGBOU VPO UGNTU. Ufa, 2013. 426 p.
6. Monitoring gidrodinamicheskikh i tehniceskikh harakteristik truboprovodnyh sistem // Pod obshej redakciej Ju.D. Zemenkova. Tjumen: «Vektor Buk», 2008 432 p.
7. Nekrasov V.O., Zemenkov Yu.D. Perspektivnye metody povyshenija jekspluatacionnyh svojstv neftnykh rezervuarov // Truboprovodnyj transport: teorija i praktika. Moskva: VNIIST, 2012. no. 6. pp. 24–26.
8. Nochevka F. Neft gotova upast do \$20 za barrel [Elektronnyj resurs]: Tempy zapolnenija neftehranilishh v SSHA pugajut jekspertov // Kommersant.ru: [sajt]. 25.03.2015, 11:00. <http://www.kommersant.ru/doc/2694007/Data> obrashhenija: 10.10.2015.
9. Obespechenie nadezhnosti i bezopasnosti nefteprovodnoj sistemy Rossii [Elektronnyj resurs] / A.E. Soshhenko / Materialy 12-go Rossijskogo neftegazovogo kongressa (RPGC 2015) «Neftegazovaja otrasl Rossii: novye vyzovy novye strategii», 23–25.06.2015 goda, Moskva. –[http://www.transneft.ru/u/news\\_article\\_file/1962/pr-s.pdf](http://www.transneft.ru/u/news_article_file/1962/pr-s.pdf) Data obr.: 10.10.2015.
10. Pimnev A.L. Razrabotka metodiki ocenki nesovershenstv geometricheskoj formy rezervuarov pri tehnicеском diagnostirovanii: dis. ... kand. tehn. nauk: 25.00.19; TjumGNGU. Tjumen, 2006. 169 p.
11. Pimnev A.L. Sistemnyj podhod pri prognozirovanii ostatochnogo resursa rezervuarov i opredelenii periodichnosti tehnicеского diagnostirovanija // V sbornike: Neftegazovyy terminal: sb. nauchnyh statej pamjati professora N.A. Maljushina. Tjumen: TjumGNGU, 2015. pp. 178–179.
12. Polozhenie o sisteme tehnicеского diagnostirovanija svarnykh vertikalnykh cilindricheskikh rezervuarov dlja nefti i nefteproduktov: RD 08-95-95. M.: GUP «NTC po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortehnadzora Rossii», 2002.
13. Semin E.E. Ocenka dolgovechnosti utornykh uzlov vertikalnykh stalnykh rezervuarov v processe jekspluatcii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk.: 25.00.19; RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina. M.: 2012. 21 p.
14. Tehnicеская i parametricheskaja diagnostika v truboprovodnykh sistemah / Antipev V.N., Zemenkov Ju.D., Shabarov A.B. i dr. Pod obshej redakciej Ju.D. Zemenkova. Tjumen: izd-vo «Vektor Buk», 2002, 432 p.
15. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda: Rasporjazhenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 13 nojabrja 2009 goda no. 1715-*r* // Sobranie zakonodatelstva Rossijskoj Federacii. 2009. no. 48. St. 5836.

---

**Рецензенты:**

Соколов С.М., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Торопов С.Ю., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.