

УДК 621.642.07; 620.192; 620.179.161

П.С. Кунина¹, Е.И. Величко¹, М.Г. Приходько¹, А.Е. Нижник¹

¹ Кубанский государственный технический университет (Краснодар, Россия).

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДИК ДИАГНОСТИКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Вертикальные стальные резервуары большого объема являются значимым звеном в технологической цепочке трубопроводного транспорта нефти. Поэтому эти сооружения должны находиться в исправном состоянии весь период эксплуатации. Несмотря на довольно большой опыт, накопленный в последние годы в резервуаростроении, резервуары для нефти и нефтепродуктов остаются одними из наиболее опасных объектов. Для безотказной работы необходимо периодически проводить диагностику технического состояния резервуаров.

В статье произведен анализ статистических данных, полученных с применением используемых в настоящее время методов неразрушающего контроля (НК) для определения текущего технического состояния и диагностирования вертикальных стальных резервуаров. На основе метода экспертных оценок проведено сравнение этих методов неразрушающего контроля. Выявлен наиболее пригодный в производственных условиях и безопасный для персонала метод, который следует применять при диагностике уторных и стыковых соединений резервуаров, – ультразвуковой метод контроля.

В работе приводится разработанная методика определения возможных дефектов с использованием ультразвукового контроля (УЗК). Она является более эффективной и рациональной для контроля сварных соединений в резервуарах большого объема по сравнению с существующими методиками и не предполагает ни опорожнения резервуара, ни нарушения фундамента и основания резервуара, позволяя выявлять дефекты на ранней стадии развития.

Ключевые слова: методы неразрушающего контроля, сварные соединения, резервуары вертикальные стальные, диагностика оборудования, пьезоэлектрические преобразователи.

Поскольку вертикальные стальные резервуары большого объема являются одним из ключевых звеньев технологической цепочки трубопроводного транспорта нефти, эти сооружения должны находиться в исправном техническом состоянии весь период эксплуатации. Несмотря на довольно большой опыт в резервуаростроении, накопленный за последние годы, резервуары для

нефти и нефтепродуктов остаются одними из наиболее опасных объектов.

ЭТО СВЯЗАНО С ЦЕЛЫМ РЯДОМ ПРИЧИН, ИЗ КОТОРЫХ НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫМИ ЯВЛЯЮТСЯ:

- высокая пожаро- и взрывоопасность хранимых продуктов;
- большие размеры конструкций и связанная с этим протяженность

сварных швов, которые трудно контролировать по всей длине;

- несовершенства геометрической формы, неравномерные просадки фундамента и оснований;
- высокая скорость коррозионных процессов;
- малоцикловая усталость отдельных зон стенки конструкции;
- сложный характер нагружения конструкции в зоне уторного шва

Таблица 1. Сравнение методов НК по ключевым показателям

№	Показатель	Методы НК			
		УЗК	ВИК	МК	РК
1	Возможность определения внутренних дефектов	5	0	5	4
2	Мобильность	3	5	2	1
3	Определение координаты дефектов	5	3	4	4
4	Оценка размеров дефектов	5	2	5	4
5	Определение остаточной толщины металла дна и стенки	5	0	5	5
6	Безвредность для человека	4	5	2	1
7	Отсутствие специальных веществ для проведения контроля	4	5	2	0

Таблица 2. Определение средневзвешенного показателя

Обозначение метода		
УЗК	31	6,2
ВИК	20	4
МК	25	5
РК	19	3,8

в сочетании с практическим отсутствием контроля сплошности этих сварных соединений.

Исследования в области повышения надежности конструкции резервуаров вертикальных стальных (РВС) являются актуальными, поскольку разрушение резервуаров влечет за собой потери не только экономические, но и экологические и даже человеческие.

На основе статистических данных было определено значение регулярного технического диагностирования объекта (резервуара), которое в зависимости от объема произведенных операций подразделяется на полное и частичное. Полное включает различные виды контроля и осуществляется с периодичностью не менее одного раза в 10 лет, при том что частичное – не менее одного раза в 5 лет.

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫМИ МЕТОДАМИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ЯВЛЯЮТСЯ:

- визуально-измерительный;
- радиографический;
- ультразвуковой;

- капиллярный или магнитопо- рошковый;
- токовихревой;
- измерение твердости;
- гидравлические испытания;
- пневматические испытания.

На основе анализа литературы [1, 2] была построена гистограмма, наглядно показывающая процентное соотношение используемых методов НК для определения текущего состояния и диагностики вертикальных стальных резервуаров. Исходя из данной гистограммы можно сделать вывод, что УЗК яв-

ляется одним из наиболее распро- страненных методов диагностики резервуаров.

С использованием метода экс- пертных оценок было проведено сравнение первых четырех наи- более распространенных методов, при этом оценка осуществлялась в рейтинговых баллах от 0 до 5, где 0 – метод не позволяет обнаружить заявленный показатель, 5 – метод обеспечивает 100%-е обнаружение. Результаты рейтинга методов, а также показатель, по которому они сравнивались, сведены в таблицу.

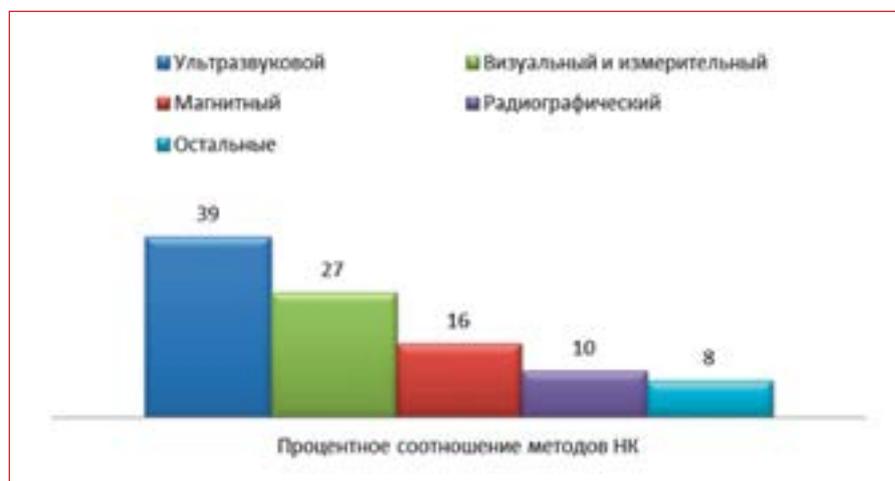


Рис. 1. Процентное соотношение применяемых методов НК при диагностике вертикальных стальных резервуаров

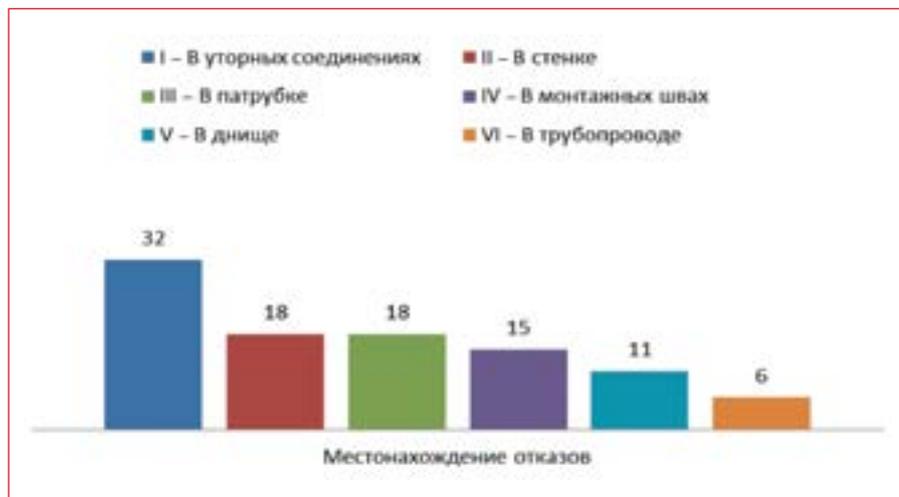


Рис. 2. Процентное соотношение дефектов в сварных соединениях РВС:

I – в трубопроводе; II – в днище; III – в монтажных швах; IV – в патрубке; V – в стенке; VI – в уторных соединениях

При использовании метода экспертных оценок заданные количественные величины представляют собой мнение эксперта и принимаются на основе априорной информации, опыта проведения методов НК и анализа литературных источников, отражающих информацию по данному вопросу.

В результате проведенного анализа получаем таблицу экспертных оценок по методам (табл. 1).

Определение обобщенной оценки каждого метода определяется по средневзвешенному показателю. Результаты анализа показателей табл. 1 приведены в табл. 2.

Таким образом, устанавливаем, что наиболее рациональным методом,

который следует применять при диагностике уторных и стыковых соединений резервуаров, является ультразвуковой метод контроля.

При анализе технической документации (журналы планово-предупредительного ремонта) резервуара (10 тыс. м³) были выявлены наиболее распространенные дефекты. На рис. 2 представлена гистограмма распределения, наглядно показывающая процентное соотношение дефектов в сварных соединениях резервуаров.

Из гистограммы видно, что наиболее частое возникновение и развитие дефектов происходит в уторных соединениях. Как показывает практика, зарождение и об-

разование трещин, возникновение дефектов в уторных соединениях может происходить по трем характерным направлениям, представленным на рис. 3.

На практике очень часто приходится определять наличие трещин и расслоений в зоне внутреннего сварного шва, уторного соединения вертикальной стенки и окрайки. Данная задача решается, но с относительно большими затратами и только после полного опорожнения РВС от нефтепродукта.

В ранее разработанных методиках УЗК предлагается метод определения ожидаемых трещин на основе использования ультразвукового толщиномера и модифицированного высокочувствительного магнитоупругого тестера для оценки действующих и «остаточных» напряжений.

Определение горизонтальной трещины по такой методике следующее: окрайка в зоне нахождения внутреннего сварного шва должна зачищаться снизу от коррозии для обеспечения акустического контакта датчика прибора ультразвукового толщиномера и металла окрайки, затем датчик устанавливается снизу на защищенное место окрайки непосредственно под внутренним сварным швом с обеспечением полного акустического контакта.

В случае наличия между окрайкой и вертикальной стенкой или

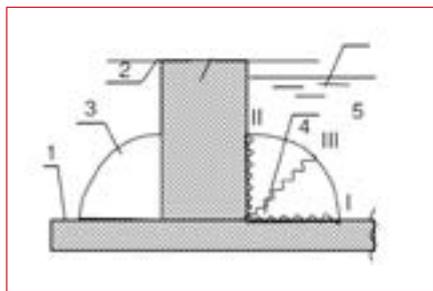


Рис. 3. Схемы возможных образований трещин в уторном соединении РВС:

1 – окрайка; 2 – вертикальная стенка; 3 – внешний сварной шов; 4 – внутренний шов; 5 – хранимый нефтепродукт; I – усталостная трещина первого рода; II – усталостная трещина второго рода; III – усталостная трещина третьего рода

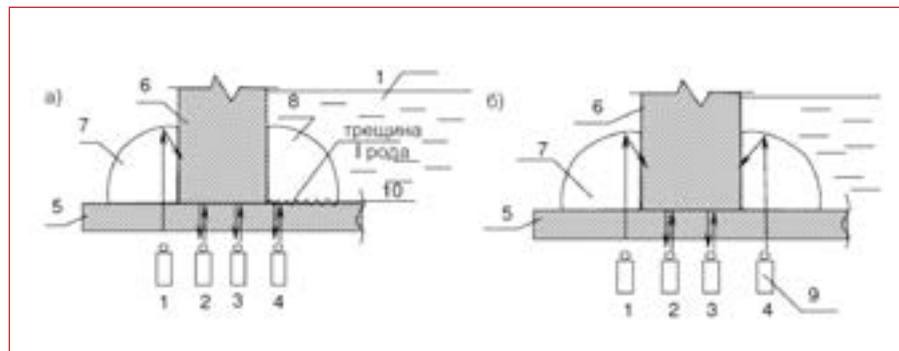


Рис. 4. Схема определения характерной горизонтальной трещины во внутреннем сварном шве:

а) схема прохождения ультразвука при наличии горизонтальной трещины в сварном шве; б) схема прохождения ультразвука при отсутствии горизонтальной трещины в сварном шве:

1–4 – зоны установки акустического датчика; 5 – окрайка; 6 – вертикальная стена; 7 – внешний сварной шов; 8 – внутренний сварной шов; 9 – акустический датчик; 10 – горизонтальная трещина

Таблица 3. Используемые датчики УЗК

№	Наименование	Заводской номер	Длина, мм	Высота, мм	Стрела ввода, мм	Угол ввода, град.
1	П121-2,5-65°-14	00521	41	21	10,5	65
2	П121-5,0-65°-8	01028	34	22	7,5	65
3	П121-5,0-70°-8	01049	34	22	7,0	70
4	П121-5,0-65°-003	643	28	22	7,5	65

внутренним сварным швом любой микротрещины или микрорасслоения посланный ультразвуковой сигнал отражается от верхней плоскопараллельной поверхности и вновь возвращается в тот же приемно-передающий датчик, так как ультразвуковой толщиномер работает с одним и тем же универсальным датчиком в режиме эхолотации (рис. 4а), соответственно, при установке датчика в зоны 2–4. При этом на цифровом табло прибора будет высвечиваться только толщина окрайки с точностью 0,1 мм, что является ярким признаком наличия горизонтальной микротрещины в исследуемом сварном шве.

При установке датчика в зону 1 на рис. 4а и в зону 4 на рис. 4б, когда горизонтальная трещина в сварном шве отсутствует, ультразвук без каких-либо потерь пройдет через окрайку непосредственно в сварной шов и, дойдя до его верхней поверхности, отразится от нее под углом, синхронным углу ее наклона к горизонту, что не позволит указанному сигналу вновь вернуться в датчик, что в данном случае также является наглядным и косвенным признаком отсутствия в сварном шве ожидаемой горизонтальной трещины.

К сожалению, в условиях производства данная методика оказывается не вполне пригодной вследствие затруднения установки датчика пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) под днище резервуара. Очевидно, что в силу недостатков этого метода, основными из которых являются опорожнение резервуара и подрыв подсыпки основания резервуара, необходимы разработка и внедрение способа,

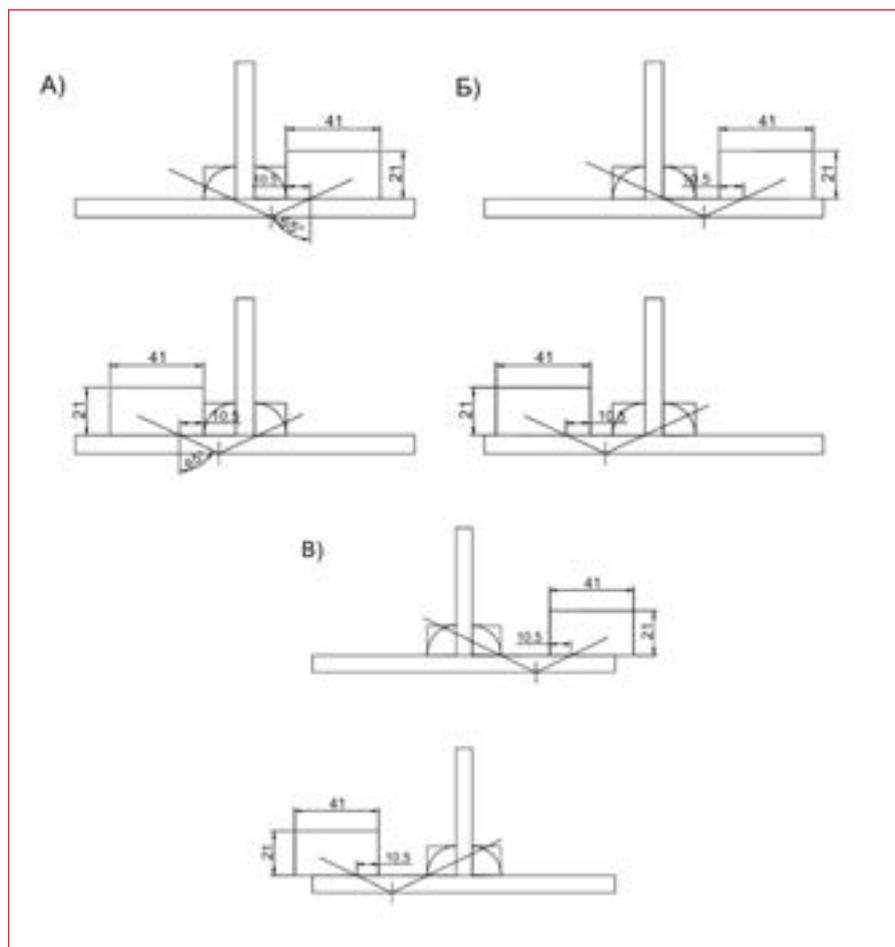


Рис. 5. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-2,5-65°-14

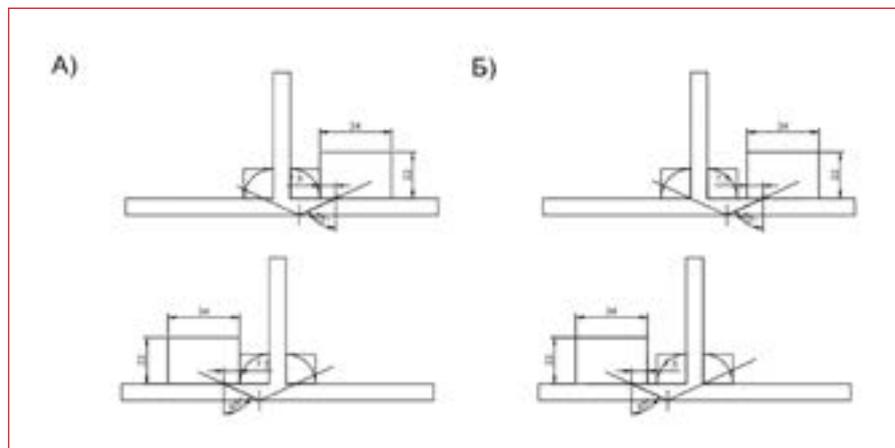


Рис. 6. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-5,0-65°-8

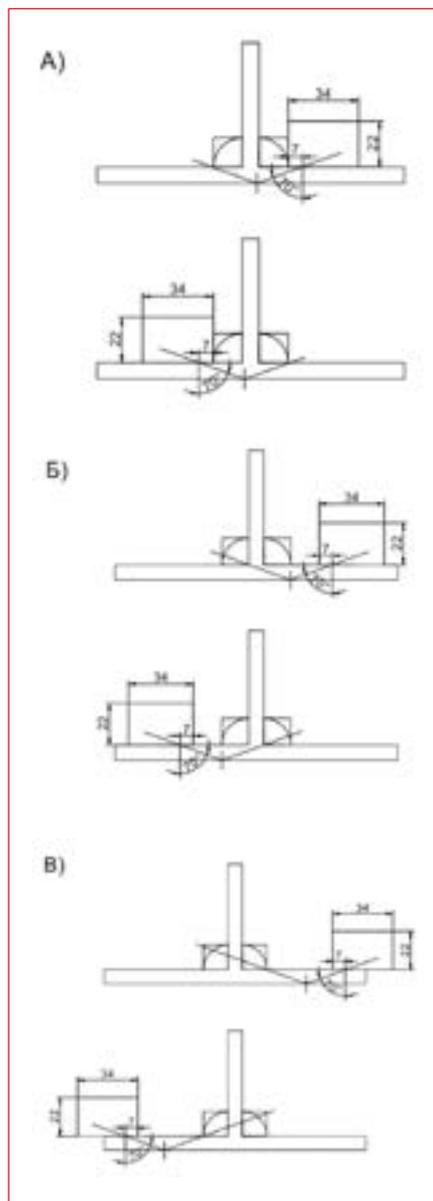


Рис. 7. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-5,0-70°-8

который был бы применим в условиях производственного этапа. Нами было проведено исследование, включавшее установку различных датчиков около внешнего сварного шва. На основе наблю-

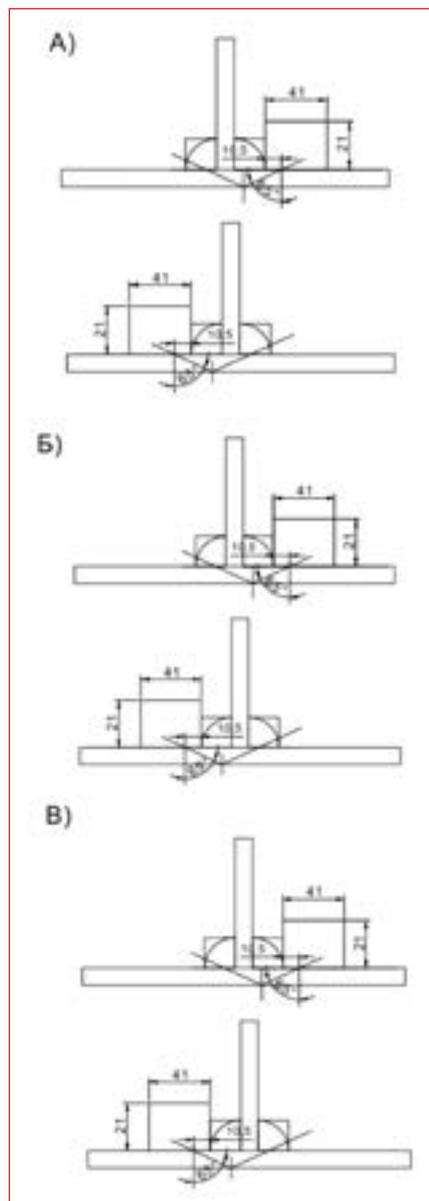


Рис. 8. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-5,0-65°-003

дений было получено графическое отображение проведения эксперимента, изображенное на рис. 5–8, а характеристики датчиков ПЭП сведены в табл. 3. Цель исследования заключалась в определении

дефектов в швах резервуаров и подборе ПЭП, а также в выработке методики диагностики сварных соединений резервуара.

На рис. 5 изображен поиск дефектов ПЭП (П121-2,5-65°-14) с углом ввода 65°. Поиск дефектов таким ПЭП позволяет определять дефекты сварных соединениях однажды отраженным лучом. При перемещении ПЭП по поверхности стального листа (А, Б, В) видно, что меняется область обнаружения, – соответственно, таким методом можно обнаружить дефекты во всем сварном шве. Однако, возможно, остается область сварного соединения вне зоны контроля вследствие физики ультразвуковой волны, тогда можно оставшуюся часть сварного шва проконтролировать с обратной стороны сварного соединения (рис. 7). На рис. 6 и 8 показана аналогичная ситуация с разницей лишь в параметрах ПЭП (табл. 3). Но наибольший интерес представляет рис. 7, так как с помощью устройства (ПЭП), изображенного на нем, можно проконтролировать весь сварной шов, не прибегая к усложнению процесса (когда необходимо переставлять ПЭП на другую сторону сварного шва).

Проанализировав схемы, можно сделать вывод, что по сравнению с ранее предложенной описанная методика является более эффективной и рациональной для контроля сварных соединений в резервуарах большого объема, так как этот способ не требует ни опорожнения резервуара, ни нарушения подсыпки основания резервуара, в то же время позволяя выявлять дефекты на ранней стадии развития и не допуская возникновения аварийных ситуаций.

Литература:

1. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
2. Яковлев А.Я., Алеников С.Г., Теплинский Ю.А., Быков И.Ю. Методы оценки эксплуатационной работоспособности труб технологических газопроводов / Под общ. ред. д.т.н., проф. И.Ю. Быкова. М.: ООО «Центр ЛитНефтеГаз», 2008. 272 с.
3. Кунина П.С., Павленко П.П., Величко Е.И. Диагностика энергетического оборудования трубопроводного транспорта нефти и газа. Краснодар: ИД «Юг», 2010. 552 с.
4. Поляков А.В., Степанов М.С., Дубов В.В. Оценка технического состояния аппаратов сбора и подготовки продукции скважин, отработавших срок службы на территории Краснодарского края // Нефть. Газ. Новации. 2014. № 5. С. 32–36.