

УДК 621.642.07; 620.192; 620.179.161

П.С. Кунина<sup>1</sup>, e-mail: pelagea47@mail.ru; Е.И. Величко<sup>1</sup>; М.Г. Приходько<sup>1</sup>; А.Е. Нижник<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кубанский государственный технологический 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.

.....

*P.S. Kunina<sup>1</sup>, e-mail: pelagea47@mail.ru; E.I. Velichko<sup>1</sup>; M.G. Prikhodko<sup>1</sup>; A.E. Nizhnik<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Kuban State Technological University (Krasnodar, Russia).

## The Development of The Modern Methods of Diagnostics of Welded Joints of Storage Tanks for Oil and Oil Products Using The Method of Ultrasonic Control

Vertical steel tanks of large capacity are important units in the technological chain of the oil pipeline transport. That's why, these constructions should have good conditions during the whole operation period. Despite of the rich experience gained in the field of tanks development for last years, tanks for oil and oil products still remain one of the most dangerous objects. For trouble-free operation it is necessary to periodically diagnose the technical condition of the tanks. It is necessary to diagnose periodically the technical condition of the tanks for failover operation. The article describes the analysis of statistical data obtained by using the currently used methods of nondestructive testing (NDT) to determine the current technical conditions and to diagnostic of vertical steel tanks. The comparison of two these methods of nondestructive testing based on the method of expert estimations was performed. The most suitable method of ultrasonic inspection for production conditions and the safest for the staff was identified which should be used in the diagnostic of rim weld and butt joints of reservoirs. The article presents the developed technique of determining possible defects using ultrasonic inspection (UT). It is more effective and reasonable for process of control of welded joints in the tanks of large capacity in comparison with the existing methods and suppose neither the emptying of the reservoir, nor breaking of the base and the foundation of the reservoir, allowing you to identify defects at an early stage of development.

**Keywords:** non-destructive control methods, welds joints, steel vertical tanks, equipment diagnostics, piezoelectric converter.

Таблица 1. Сравнение методов НК по ключевым показателям

Table 1. The comparison of NDT methods on critical indicators

№ No.	Показатель Parameter	Методы НК NDT Methods			
		УЗК Ultrasonic	ВИК Visual and measuring	МК Magnetic	РК Radiographic
1	Возможность определения внутренних дефектов The ability to determine internal defects	5	0	5	4
2	Мобильность Mobility	3	5	2	1
3	Определение координаты дефектов Determination of coordinates of defects	5	3	4	4
4	Оценка размеров дефектов Evaluation of defect sizes	5	2	5	4
5	Определение остаточной толщины металла днища и стенки Determination of residual thickness of metal bottoms and sides	5	0	5	5
6	Безвредность для человека Harmless to humans	4	5	2	1
7	Отсутствие специальных веществ для проведения контроля The lack of special substances for the control performing	4	5	2	0

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 проконтролировать 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 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 магнитопорошковый;
- токовых вихревой;
- 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 является одним из наиболее распространенных методов диагностики резервуаров.

С использованием метода экспертных оценок было проведено сравнение первых четырех наиболее 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. При использовании метода экспертных оценок заданные количественные вели-

Ссылка для цитирования (for citation):

Кунина П.С., Величко Е.И., Приходько М.Г., Нижник А.Е. Разработка современных методик диагностики сварных соединений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов методом ультразвукового контроля // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2017. No 3. С. 22–27.  
Kunina P.S., Velichko E.I., Prikhodko M.G., Nizhnik A.E. The Development of The Modern Methods of Diagnostics of Welded Joints of Storage Tanks for Oil and Oil Products Using The Method of Ultrasonic Control. Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2017, No. 3, P. 18–21. (In Russian)

Таблица 2. Определение средневзвешенного показателя  
Table 2. Determining a weighted-average parameter

Обозначение метода Designation of the method	$\sum_{i=1}^{n=7} m_i$	$Q = \sum_{i=1}^{n=7} m_i / n$
УЗК Ultrasonic	31	6,2
ВИК Visual and measuring	20	4
МК Magnetic	25	5
РК Radiographic	19	3,8

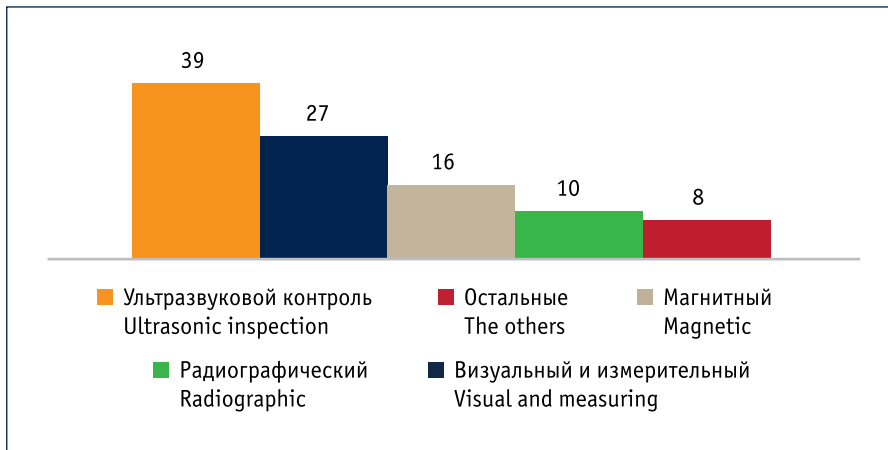


Рис. 1. Процентное соотношение применяемых методов НК при диагностике вертикальных стальных резервуаров

Fig. 1. The percentage of the applied NDT methods in the diagnosis of vertical steel tanks

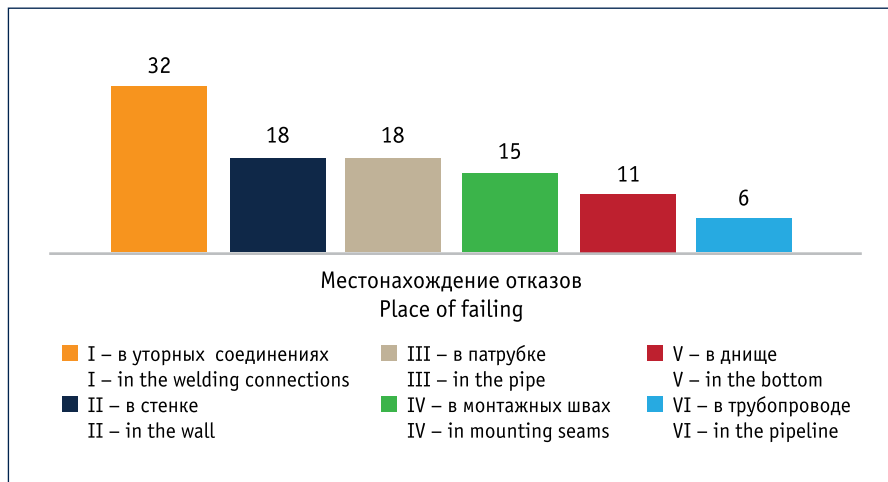


Рис. 2. Процентное соотношение дефектов в сварных соединениях РВС

Fig. 2. The percentage of defects in welded joints of VST

чины 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. м<sup>3</sup>) 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 образование 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 окрайек. 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 защищаться 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 внутренним

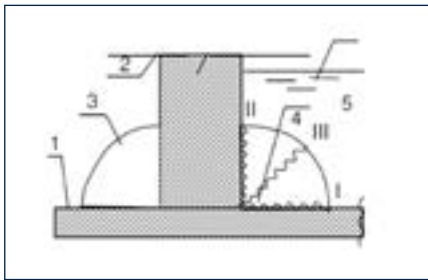


Рис. 3. Схемы возможных образований трещин в уторном соединении ВРС:

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

Fig. 3. Schemes of possible formation of cracks in welding connections of VST:

1 – buckling of the tank; 2 – vertical wall; 3 – external welding seam; 4 – in-seam; 5 – the stored petroleum product; I – fatigue crack of the first kind; II – a fatigue crack of the second kind; III – fatigue crack of the third kind

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 эхолокации (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 нали-

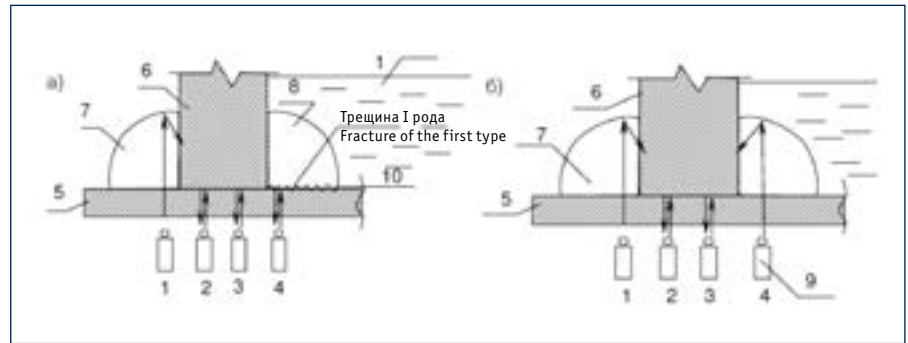


Рис. 4. Схема определения характерной горизонтальной трещины во внутреннем сварном шве:

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

Fig. 4. The scheme of the determining the typical horizontal cracks in the internal welded seam:

a) the scheme the ultrasound passing in the weld in case of the presence of horizontal cracks; b) the scheme the ultrasound passing in the weld in case of the absence of horizontal cracks

1–4 – area of the acoustic sensor installation; 5 – the buckling of the tank; 6 – vertical wall; 7 – external welding seam; 8 – internal welding seam; 9 – acoustic sensor; 10 – horizontal crack

чия 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, который был бы применим в условиях производственного этапа.

Нами было проведено исследование, включавшее установку различных датчиков около внешнего сварного

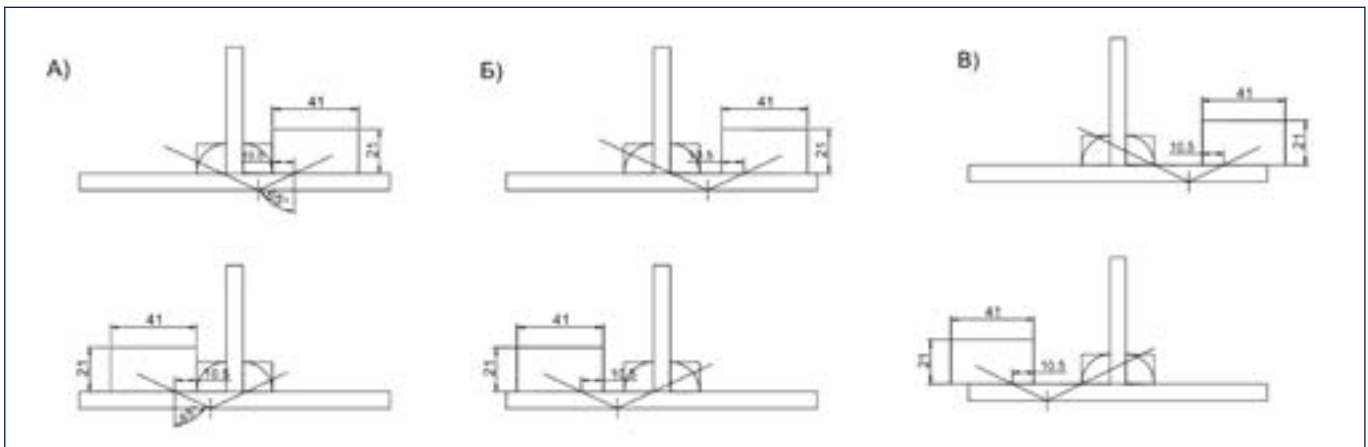


Рис. 5. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-2,5-65°-14

Fig. 5. The control scheme with the piezoelectric transformer П121-2,5-65°-14

Таблица 3. Используемые датчики УЗК

Table 3. Used sensors of ultrasonic control

№ No.	Наименование Name	Заводской номер Serial number	Длина, мм Length, mm	Высота, мм Height, mm	Стрела ввода, мм Input arrow, mm	Угол ввода, ° Input angle, °
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

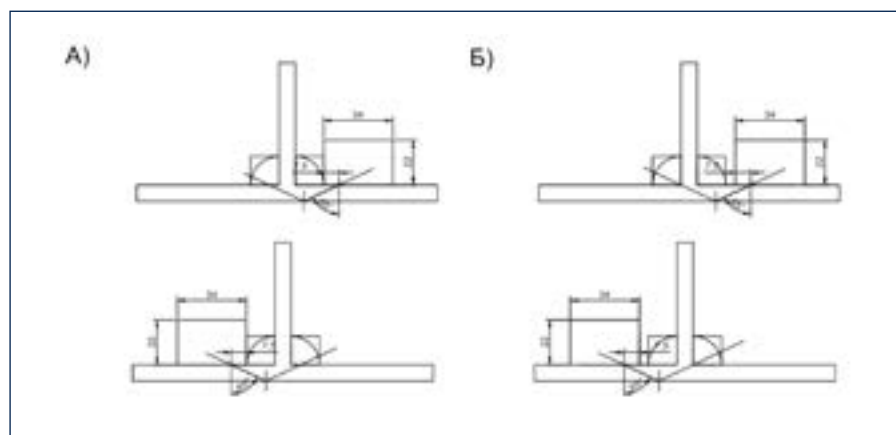


Рис. 6. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-5,0-65°-8

Fig. 6. The control scheme with the piezoelectric transformer П121-5,0-65°-8

шва. На основе наблюдений 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 соединений однажды отраженным лучом. При перемещении ПЭП по поверхно-

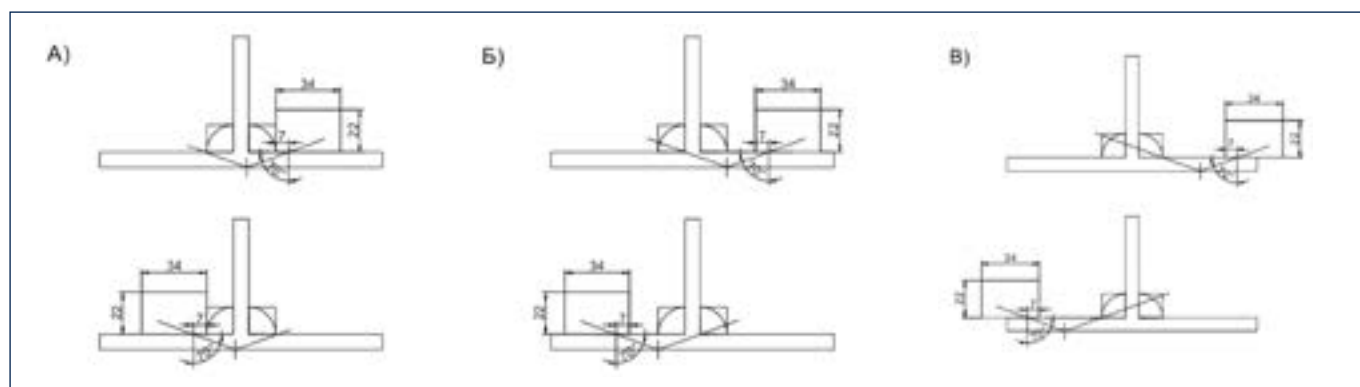


Рис. 7. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-5,0-70°-8

Fig. 7. The control scheme with the piezoelectric transformer П121-5,0 to 70°-8

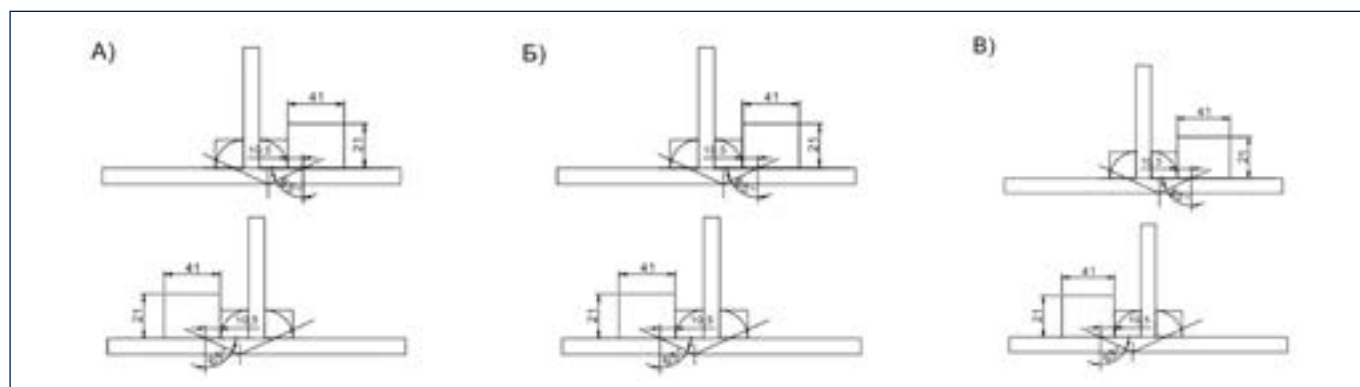


Рис. 8. Схема контроля с пьезоэлектрическим преобразователем П121-5,0-65°-003

Fig. 8. The control scheme with the piezoelectric transformer П121-5,0-65°-003

сти 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.

#### References:

1. GOST 14782-86. Nondestructive testing. Welded connections. Ultrasonic methods. (In Russian)
2. Yakovlev A.Ya., Alennikov S.G., Teplinskij Yu.A., Bykov I.Yu. Methods of the evaluating of the operational efficiency of the technological pipelines. Under general edition of the doctor of technical Sciences (PhD), Professor I.Yu. Bykov. Moscow, Centr LitNefteGaz LLC, 2008, 272 p. (In Russian)
3. Kunina P.S., Pavlenko P.P., Velichko E.I. Diagnostics of power equipment of pipeline transport of oil and gas. Krasnodar, Publishing house Yug, 2010, 552 p. (In Russian)
4. Polyakov A.V., Stepanov M.S., Dubov V.V. The evaluation of the technical condition of machines for the collection and preparation of production wells, which terms of use have finished at the area of Krasnodar region. Neft. Gaz. Novatsii = Oil. Gas. Innovations, 2014, No. 5, P. 32–36. (In Russian)

# RDCR 2017

Российский Круглый Стол по Бурению

13 Апреля  
Москва



## 5-й Российский Круглый Стол по Бурению

- Ведущий российский форум для буровых профессионалов
- Свыше 250 высококвалифицированных представителей ведущих российских нефтегазовых и буровых компаний
- Презентации по технологиям бурения от российских и международных нефтегазовых операторов
- Технологически ориентированные дискуссии за круглыми столами

**ЗАЯВИТЕ О СВОЕМ УЧАСТИИ УЖЕ СЕЙЧАС!**

**БУРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО  
ДОСТУПНЫ УЖЕ СЕГОДНЯ**