

Исследовательские испытания оборудования для дистанционного зондирования трубопроводов

Степанов Е. Г.¹, Вялых И. Л.², Доронин А. В.³, Мухаметшина Л. А.⁴

¹Степанов Евгений Георгиевич / Stepanov Evgenij Georgievich – начальник испытательной лаборатории неразрушающего контроля, ООО «Энергодиагностика»;

²Вялых Игорь Леонидович / Vjalyh Igor' Leonidovich - кандидат технических наук, начальник лаборатории технической диагностики трубопроводов и оборудования, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»;

³Доронин Алексей Викторович / Doronin Aleksej Viktorovich - начальник экспертно-аналитического отдела, ООО Энергодиагностика
г. Москва;

⁴Мухаметшина Лилия Аминовна / Muhametshina Lilija Aminovna - первый заместитель генерального директора, ООО «Энергия», г. Дубна

Аннотация: в статье рассматриваются результаты исследовательских испытаний прибора экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R на испытательном стенде ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и оценка его основных рабочих характеристик.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, длинноволновый ультразвуковой контроль, MsS 3030R, Teletest FOCUS+, Wawemaker G4.

Современная диагностика трубопроводов располагает большим арсеналом физических методов и средств, решающих различные задачи дефектоскопии. Все они позволяют с достаточной эффективностью находить в трубопроводах дефекты. Существенным недостатком оборудования является его низкая «дальнобойность», т. е. его можно эффективно применять для диагностики трубопроводов в малом диапазоне на участках длиной до 2-х метров.

Большой интерес для экспертов и специалистов НК представляют методы дистанционного зондирования, лишенные этих недостатков. Представителями этого класса являются приборы экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R, Teletest FOCUS+ и Wawemaker G4.

Нами проводились исследовательские испытания возможности оборудования дистанционного зондирования трубопроводов с использованием прибора MsS 3030R (генератора направленных волн) [1], позволяющего выявлять дефекты различного происхождения.

Цель проведения исследовательских испытаний – оценка возможности оборудования MsS 3030R находить дефекты различных размеров и направлений и оценить погрешность измерения расстояния до них.

Объект испытаний

Исследовательские испытания прибора MsS 3030R проведены на стенде для проведения испытаний оборудования неразрушающего контроля и диагностирования ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (далее – испытательный стенд).

Испытательный стенд представляет собой расположенную на опорах плеть из четырех труб внешним диаметром 1420 мм с толщиной стенки 18,0 мм, 17,0 мм, 16,6 мм, 17,6 мм, имеющих естественные и искусственные дефекты в основном металле, стыковых и продольных сварных соединениях.

Испытательный стенд расположен на открытом участке Опытно-экспериментального центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Общая длина стенда 45,5 метров. Общая длина участков труб стенда с паспортными дефектами, предназначенных для проведения испытаний - 39 метров.

Внешние условия при проведении испытаний: температура плюс 7 °С, атмосферное давление 768 мм рт. ст., относительная влажность 86 %, без осадков.

Общая схема испытательного стенда показана на рисунке 1.



Порядок проведения испытаний

Исследовательские испытания возможности прибора MsS 3030R - выявлять дефекты различного происхождения, проведены в два этапа:

- оценка основных технических и технологических параметров прибора;
- оценка выявляемости различных типов дефектов трубопроводов прибором MsS 3030R.

Порядок проведения исследовательских испытаний:

- развертывание прибора в рабочее положение;
- установка (монтаж) преобразователя прибора на испытательный стенд (в околошовной зоне кольцевого сварного соединения № 2 на участке с угловым положением от 1 часа до 3 часов);
- генерация ультразвуковых волн в обе стороны от установки магнитострикционного датчика справа и слева от сварного соединения № 2 испытательного стенда с фиксированием результатов (дефектограмм) контроля для оценки чувствительности контроля и выявляемости различных типов дефектов.

Учитывая, что представленный на испытания комплект оборудования включал только один магнитострикционный датчик (длиной 800 мм), не позволяющий охватить всю поверхность труб испытательного стенда, зона излучения-приема была ограничена сектором с угловыми координатами от 0,5 часов до 3,5 часов.

После окончания контроля результаты диагностики были сопоставлены с паспортом дефектов испытательного стенда.

Оценка прибора MsS 3030R проведена по факту выявления в основном металле труб и сварных соединениях паспортизованных дефектов, находящихся в секторе от 0,5 часов до 3,5 часов.

По результатам контроля труб испытательного стенда с помощью прибора MsS 3030R выполнена оценка следующих параметров:

- выявляемость различных видов дефектов в основном металле труб и сварных соединениях;
- минимально обнаруживаемые размеры дефектов.

Результаты исследовательских испытаний.

Оценка выявляемости различных типов дефектов трубопроводов

Оценку выявляемости дефектов прибором MsS 3030R проводили по факту выявления отдельных естественных (глубиной более 10 % от толщины стенки трубы) и искусственных паспортизованных дефектов в основном металле труб, околошовных зонах и сварных соединениях испытательного стенда, находящихся в секторе от 0,5 часов до 3,5 часов (зона излучения-приема магнитострикционного преобразователя с учетом расширения диаграммы направленности по мере удаления от излучателя).

Перечни различных типов дефектов, выявленных прибором MsS 3030R, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Перечень дефектов, выявленных прибором MsS 3030R (находящихся в зонах, отмеченных как дефекты по результатам контроля)

№ п/п	№ трубы, № дефекта по паспорту стенда	Тип дефекта	Размеры дефекта	Результат выявления прибором	Примечания
1	Труба № 4, дефект № 4.15	Наклонный пропил (угол наклона 45 градусов) в основном металле трубы	Длина 220,0 мм; Ширина 3,0 мм; Максимальная глубина 6,5 мм	Дефект Д1 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 18600 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стенда 18665 мм. Угловое положение 3,5 часа
2	Труба № 4, дефект № 4.16	Продольный пропил в основном металле трубы	Длина 220,0 мм; Ширина 3,0 мм; Максимальная глубина 5,0 мм	Дефект Д2 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 15600 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стенда 15725 мм. Угловое положение 2,5 часа. Требуется подтверждение, поскольку поперечный отражатель практически отсутствует

3	Труба № 2, Дефект № 2.115	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 20 мм; Глубина 14,2 мм	Дефект Д5 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 1880 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 1907 мм. Угловое положение 1,5 часа.
4	Труба № 2, Дефект № 2.113	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 20 мм; Глубина 10,3 мм	Дефект Д6 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 2380 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 2409 мм. Угловое положение 1,5 часа.
5	Труба № 2, Дефект № 2.114	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 20 мм; Глубина 8,0 мм	Дефект Д7 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 2900 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 2909 мм. Угловое положение 2,5 часа.
6	Труба № 2, Дефект № 2.103	Поперечный пропил в основном металле трубы	Длина 230,0 мм; Ширина 4,0 мм; Максимальная глубина 9,0 мм	Дефект Д8-Д9 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 4050 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 4072 мм. Угловое положение 2,0 часа.
7	Труба № 2, Дефект № 2.112	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 16 мм; Глубина 14,0 мм	Дефект Д10 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 6600 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 6600 мм. Угловое положение 1,5 часа.
8	Труба № 2, Дефект № 2.111	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 16 мм; Глубина 14,0 мм	Дефект Д11 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 6750 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 6744 мм. Угловое положение 2,7 часа.
9	Труба № 2, Дефект № 2.118	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 12 мм; Глубина 8,5 мм	Дефект Д12 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 7900 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 7880 мм. Угловое положение 2,7 часа.
10	Труба № 2, Дефект № 2.108	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 12 мм; Глубина 8,5 мм	Дефект Д13 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 8500 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 8557 мм. Угловое положение 2,7 часа.
11	Труба № 1, Дефект № 1.83	Поперечный пропил по кромке валика усиления кольцевого сварного шва	Длина 120,0 мм; Ширина 8,0 мм; Максимальная глубина 6,0 мм	Дефект Д14 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 11300 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стэнда 11457 мм. Угловое положение 1,0 час.

12	Труба № 1, Дефект № 1.82	Зашлифовка на внешней поверхности трубы	Длина 90,0 мм; Ширина 90,0 мм; Максимальная глубина 7,0 мм	Дефект Д15 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 13400 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стенда 13607 мм. Угловое положение 2,2 часа.
13	Труба № 1, Дефект № 1.84	Наклонный пропил (угол наклона 45 градусов) в основном металле трубы	Длина 190,0 мм; Ширина 7,0 мм; Максимальная глубина 4,0 мм	Дефект Д17 по результатам MsS 3030R. Продольная координата 18300 мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стенда 18377 мм. Угловое положение 3,5 часа.

Выявленные дефекты Д1, Д17 представляют собой наклонные пропилы размером 220x3,0x6,5, 190x7,0x4,0 Д2 - продольный пропил 220x3,0x5,0 мм; Д5-Д7 представляют собой сверление в металле трубы, диаметром 20 мм и глубиной 14,2, 10,3 и 8,0 мм; Д8, Д9, Д14 - поперечные пропилы 230x4,0x9,0 мм, 120x8,0x6,0 мм; Д10-Д11 - сверление в металле трубы, диаметром 16 мм и глубиной 14,0 мм; Д12-Д13 - диаметром 12 мм и глубиной 8,5 мм; Д15 - зашлифовка на внешней поверхности трубы 90x90x7,0 мм.

Минимальные глубины выявленных дефектов составили:

- для пропилов 4 мм (24 % толщины стенки трубы);
- для засверловки 8 мм (48 % толщины стенки трубы);
- для зашлифовки 7 мм (38 % толщины стенки трубы).

Таблица 2. Перечень дефектов, находящихся в зоне излучения-приема магнитоострикционного преобразователя и не выявленных прибором MsS 3030R

№ п/п	№ трубы, № дефекта по паспорту стенда	Тип дефекта	Размеры дефекта	Результат выявления прибором	Примечания
1	Труба № 1, Дефекты 1С.19-1С.37	Стандартизованные продольные пропилы (19 шт.)	Длина 20,0 мм; Ширина 0,5 мм; Глубина от 0,6 мм до 2,7 мм	Не выявлены	Угловое положение от 1,0 часа до 2,0 часа.
2	Труба № 1, Дефект № 1.85	Зашлифовка на внутренней поверхности трубы	Длина 220,0 мм; Ширина 220,0 мм; Максимальная глубина 5,0 мм	Не выявлен	Угловое положение 3,2 часа.
3	Труба № 2, Дефект № 2.101	Продольный пропил по кромке валика усиления продольного сварного шва	Длина 155,0 мм; Ширина 3,0 мм; Максимальная глубина 7,0 мм	Не выявлен	Угловое положение 0,7 часа.
4	Труба № 2, Дефект № 2.102	Продольный пропил в основном металле трубы	Длина 140,0 мм; Ширина 2,0 мм; Максимальная глубина 2,0 мм	Не выявлен	Угловое положение 3,5 часа.
5	Труба № 2, Дефект № 2.106	Засверловка в основном металле трубы	Диаметр 12 мм; Глубина 5,5 мм	Не выявлен	Угловое положение 2,7 часа.
6	Труба № 3, Дефекты 3С1-3С4	Стандартизованные поперечные пропилы в основном металле трубы (4 шт.)	Длина от 20 мм до 40 мм; Глубина от 1,7 мм до 3,5 мм	Не выявлен	Угловое положение от 1,0 часа до 2,0 часов.
7	Труба № 3, Дефекты 3С11-3С15	Стандартизованные продольные пропилы в основном металле трубы (4 шт.)	Длина от 20 мм до 40 мм; Глубина от 2,6 мм до 4,3 мм	Не выявлен	Угловое положение от 1,2 часа до 1,5 часов.

8	Труба № 3, Дефекты 3С5-3С10	Стандартизованные продольные пропилы в околошовной зоне продольного сварного шва (5 шт.)	Длина 20,0 мм; Ширина 0,5 мм; Глубина 2,6 мм	Не выявлен	Угловое положение от 2,2 часа до 3,5 часов.
9	Труба № 3, Дефект 3.145	Сквозная вырезка в основном металле трубы, отремонтированная заваркой с нарушением технологии сварки (сквозные дефекты)	Длина 250 мм; Ширина 150 мм	Не выявлен	Угловое положение 1,5 часа.
10	Труба № 4, Дефекты 4С1-4С4	Стандартизованные продольные пропилы в основном металле трубы (4 шт.)	Длина 20,0 мм; Ширина 0,5 мм; Глубина 2,8 мм	Не выявлен	Угловое положение от 0,5 часа до 1,5 часа.
11	Труба № 4, Дефекты 4С22-4С25	Стандартизованные засверловки в основном металле трубы (4 шт.)	Диаметр 10 мм; Глубина 4,7 мм	Не выявлен	Угловое положение от 0,5 часа до 1,5 часа.
12	Труба № 2, Дефекты 2.15; 2.29; 2.31; 2.32; 2.35; 2.36; 2.42; 2.49; 2,50	Естественные трещиноподобные дефекты в основном металле трубы и околошовной зоне продольного сварного шва (скопления трещин КРН, 9 шт.)	Длина от 60 мм до 465 мм; Ширина от 20 мм до 90 мм; Максимальная глубина более 2,0 мм (более 12 % толщины стенки)	Не выявлены	Угловое положение от 0,5 часа до 3,0 часов.
13	Труба № 1, Дефекты 1.4; 1.9; 1.16; 1,20; 1,30	Естественные трещиноподобные дефекты в основном металле трубы (скопления трещин КРН, 5 шт.)	Длина от 40 мм до 165 мм; Ширина от 30 мм до 100 мм; Максимальная глубина более 2,0 мм (более 12 % толщины стенки)	Не выявлены	Угловое положение от 2,0 часов до 3,0 часов.
14	Кольцевые сварные соединения № 1; № 2; № 3. Дефекты сварных швов (29 шт.)	Провис корня шва, смещение кромок, непровар корня шва, несплавление кромок, цепочки пор, шлака	Подлежат отбраковке в соответствии с [2]	Не выявлены	Угловое положение от 0,5 часов до 3,5 часов.

При проведении исследовательских испытаний прибором MsS 3030R не выявлены следующие типы дефектов:

- продольные пропилы глубиной до 7 мм (40 % толщины стенки трубы);
- зашлифовка на внутренней поверхности трубы глубиной 5 мм (26 % толщины стенки);
- естественные трещиноподобные дефекты в основном металле трубы и околошовной зоне продольного сварного шва (скопления трещин КРН) глубиной до 2,5 мм (16 % толщины стенки трубы);
- дефекты сварных соединений (смещения кромок, непровары, поры и др.), подлежащие отбраковке в соответствии с [2].

При проведении исследовательских испытаний погрешность определения расстояний прибором MsS 3030R составила:

- при определении расстояний до конструктивных отражателей (край трубы, кольцевое сварное соединение) 60-100 мм, не более 1 % от измеряемой величины;
- при определении расстояний до дефектов от 0 мм до 207 мм, что не превышает 2 % от измеряемой величины. Результаты сравнения координат, выявленных прибором MsS 3030R, геометрических отражателей (края труб, кольцевые сварные соединения) с паспортными данными испытательного стенда приведены в таблице 3.

Таблица 3. Продольные координаты геометрических отражателей испытательного стенда

№ п/п	Элемент испытательного стенда (метка дефекта)	Продольная координата по данным прибора MsS 3030R, мм	Продольная координата, пересчитанная по паспорту стенда, мм	Разница, мм (%)
1	Край трубы (EP1)	22500	22600	100 (0,44 %)
2	Край трубы (EP2)	22800	22867	67 (0,29 %)
3	Кольцевое сварное соединение № 1 (W2)	11300	11360	60 (0,53 %)
4	Кольцевое сварное соединение № 2 (W1)	11240	11337	77 (0,69 %)

Заключительная часть

По результатам проведенных исследовательских испытаний установлено:

Представленная конструкция прибора экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R обеспечивает контроль труб по всей ее длине, за исключением продольных сварных соединений.

Эффективная дальность действия прибора MsS 3030R на открытых участках трубопроводов – 45 метров практически без ослабления сигнала (т. е. представленный вариант конструкции прибора может быть использован для обнаружения крупных дефектов всех зон трубопроводов в малогабаритных шурфах, а также использовать его для диагностики переходов трубопроводов через овраги, автомобильные и железные дороги совместно с приборами акустико-эмиссионного контроля).

Прибор экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R может быть применен для труб различного диаметра. При этом преимуществом MsS 3030R является возможность сборки датчика любой конфигурации непосредственно на объекте.

Управление прибора экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R осуществлено по проводной связи с клавиатуры дефектоскопа при удалении оператора до 15 м.

Представленный прибор экспресс-диагностики поддерживает частотный диапазон от 1 до 250 кГц.

Зона, в которой невозможно обнаружить дефекты прибором MsS 3030R – расстояние 200 мм от установки датчика (в зависимости от частоты).

При проведении экспресс-контроля точность определения координат дефектов варьируется в пределах ± 200 мм.

Прибор экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R обеспечивает выявление в основном металле труб и околошовных зонах продольных сварных соединений:

- стандартизованных искусственных дефектов (пропилы и засверловки);
- скоплений естественных трещиноподобных дефектов;
- естественных коррозионных дефектов (зон общей и язвенной коррозии).

Чувствительность прибора экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R обеспечивает выявление в основном металле труб стандартизованных искусственных дефектов $S_{экв} 1,0 \text{ см}^2$ и более.

Разрешающая способность прибора экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R обеспечивает раздельное выявление в основном металле труб стандартизованных искусственных пропилов, расположенных на расстоянии 100 мм и более.

При испытаниях проведена проверка технологических параметров прибора экспресс-диагностики трубопроводов MsS 3030R непосредственно на трубопроводе.

При проведении экспресс-контроля в зонах продольных сварных соединений дефекты фактически не выявляются.

На основании полученных результатов исследовательских испытаний целесообразно:

- внедрить метод экспресс-диагностики трубопроводов с прибором MsS 3030R в качестве длинноволнового метода обследования нефте и газопроводов на объектах нефтегазового комплекса и других производственных объектах различных министерств и ведомств, уточнение характера и размеров дефектов проводить традиционными методами НК.

Литература

1. Мониторинг состояния трубопроводов. Генератор волноводных волн MsS 3030R. М.: ООО «Компания МС Диагностика», 2010. 7 с.
2. СТО Газпром 2-2.4-083-2006. «Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов». М.: ООО «Информационно-рекламный центр газовой промышленности» 2007. 105 с.