

УДК 622.692.4.07:620.179.16-033.3

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ И ВКЛЮЧЕНИЙ В БЕТОН НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН

Попова А.И.

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
e-mail: alen.popova2011@yandex.ru*

***Аннотация.** Для надежной работы обетонированного трубопровода важна не только утяжеляющая способность балластного слоя, но и его прочностные характеристики как защитного слоя, а так же его целостность и упругость. На этапе входного контроля на строительной площадке предлагается проводить контроль бетонного покрытия трубы ультразвуковым методом. Сложность нашего объекта исследования состоит в том, что мы не имеем двустороннего подхода к бетонному слою, а доступная поверхность к тому же скрыта под полимерным слоем. В этой статье обратим более пристальное внимание на то, каким образом дефекты в бетоне влияют на изменение параметров ультразвуковой волны.*

***Ключевые слова:** труба, бетонное покрытие, дефект, ультразвук, контроль, диагностика*

При транспортировке больших объемов нефти, высоких давлениях необходимо обеспечивать надежность магистральных нефтепроводов и предупреждение отказов, аварий. Отказы на магистральных трубопроводах наносят не только большой экономический ущерб из-за потерь продукта и нарушения непрерывного процесса производства в смежных отраслях, но могут сопровождаться загрязнением окружающей среды, возникновением пожаров и даже человеческими жертвами. Для совершенствования системы предупреждения отказов важно иметь налаженную схему проведения входного контроля материалов для строительства трубопроводов. В связи с растущим объемом сооружения трубопроводов из обетонированных труб в настоящее время ведется работа по созданию «Методики входного контроля обетонированных труб».

Планируя входной контроль качества пришедших на строительство магистрального газопровода труб, определим, какие дефекты наиболее вероятны, где они могут быть обнаружены, и какое приборное обеспечение нам необходимо для их выявления.

Существующие методики прописывают правила контроля стальных труб без балластного слоя. Объект нашего исследования отличается наличием на наружной поверхности стальной трубы бетонного слоя толщиной 8 - 15 мм и полимерной оболочки толщиной 6 - 8 мм. Поскольку готовые изолированные трубы, перед процессом нанесения утяжеляющего слоя на заводе проходят стопроцентный контроль качества, состояние основного металла стальной трубы и наружного

антикоррозионного покрытия будем считать удовлетворяющим требования к качеству, повреждения основного металла возможны исключительно на открытых (не обетонированных) концах труб на длине до 150 мм. А вот верхний защитный слой и слой балластирующий может получить дефекты и как в процессе изготовления, так и в процессе транспортировки или в случае не соблюдения условий хранения.

Дефектом считают отклонения свыше предусмотренных техническими условиями и требованиями проекта. Деформации полимерной оболочки, ее механические повреждения (сквозные и поверхностные) и отклонения в геометрических размерах и массе свыше указанных в ТУ могут быть выявлены при существующем порядке входного контроля:

- визуальный контроль включает осмотр наружной и внутренней поверхности;

- измерительный контроль включает замеры веса в воде и на воздухе, изменение геометрических размеров, толщины слоев, овальности и прямолинейности элементов конструкции;

- несплошность и адгезия изоляции к стальной поверхности трубы проверяется с учетом результатов визуального контроля;

- состояние бетона проверяется постукиванием с целью определения пустот под полимерной оболочкой.

Получается, что качество бетона покрытия труб в настоящее время принимается по сертификатам завода изготовителя практически «на веру». Этого явно не достаточно, т.к. важна не только утяжеляющая способность балластного слоя, но и его прочностные характеристики как защитного слоя, его целостность и упругость. В этой статье обратим более пристальное внимание на дефекты бетонного слоя.

Очевидно, что часть дефектов бетонного слоя представляет из себя посторонние включения (наполнитель нестандартного размера, шлак, любые предметы не предусмотренные технологией), часть дефектов, напротив, характеризуется пустотами, это поры большего размера, чем это предусмотрено технологией, трещины различной формы и размеров, сколы, выбоины, отшелушивание. К дефектам отнесем и изменение структуры бетона, это не нормативная прочность, влажность, твердость и другие характеристики. Классификация дефектов бетона по виду и форме приведена на рис. 1. По значимости дефекты разделим на критические, значительные и малозначительные.

Для обнаружения дефектов в бетоне предлагается использовать приборы, основанные на ультразвуковом методе. Их часто используют, как дефектоскопы, так как помимо прочности можно получить еще и сведения о глубине образовавшихся трещин, найти пустоты, арматуру, произвести более глубокий анализ конструкции. Ультразвуковой метод контроля прочности бетона основан на изме-

рении прибором времени прохождения ультразвукового импульса в материале от излучателя к приемнику. Скорость распространения ультразвука в бетоне зависит от его плотности, упругости, от наличия дефектов (трещин, пустот), определяющих прочность и качество.



Рис. 1. Классификация дефектов бетона по виду и форме

Сложность нашего объекта исследования состоит в том, что мы не имеем двустороннего подхода к бетонному слою, а доступная поверхность к тому же скрыта под полимерным слоем

Для решения указанной проблемы необходимо установить экспериментально:

- возможность проводить прозвучивание бетона при одностороннем доступе;
- влияние на результаты контроля наличия пустот маленького размера (40x40x40 мм) в бетоне;
- влияние на результаты контроля наличия арматуры в бетоне;
- влияние на результаты контроля полимерного слоя.

Кроме того необходимо аналитическим методом установить возможность использовать предлагаемый прибор для контроля прочности как основного параметра, характеризующего качество бетона.

В рамках этой работы был проведен ряд экспериментов по контролю опытных моделей, представляющих собой бетонный блок с заложенными «порами», арматуру и полимерное покрытие. Элементы, для создания опытной модели и схема заложения имитаций «пор» и «арматуры» в опытной модели представлены на рис. 2 и 3.

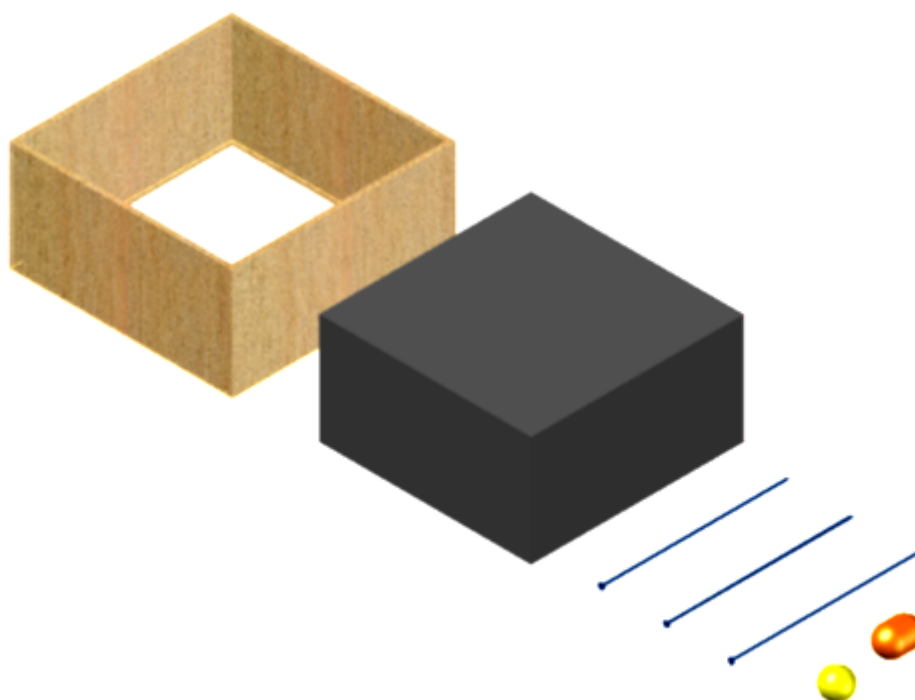


Рис. 2. Элементы для создания опытной модели

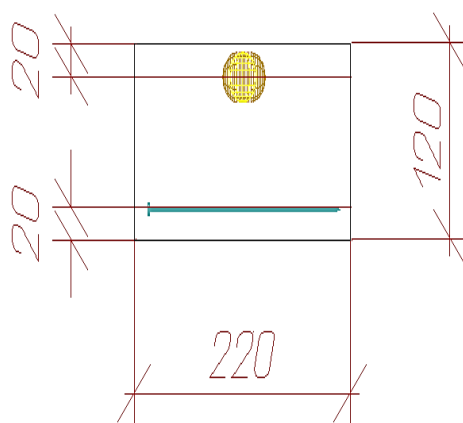


Рис. 3. Схема заложения имитаций «пор» и «арматуры» в опытной модели

Замеры произведены прибором Пульсар 1.2 по четырем сторонам способами поверхностного и сквозного прозвучивания и показали следующие результаты.

Таблица 1. Измерение параметров способом поверхностного прозвучивания

Участок замера	Сторона А				Сторона Б			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Точка замера	Точка А.1	Точка А.2	Точка А.3	Точка А.4	Точка Б.1	Точка Б.2	Точка Б.3	Точка Б.4
Длина L , мм	120	120	120	120	120	120	120	120
Время t , мкс	38,26	37,60	37,51	36,06	41,80	58,30	38,42	30,12
Скорость V , м/с	3136	3190	3199	3328	2871	2059	3123	3984
Прочность, R , МПа	15,6	16,7	17,5	18,5	14,3	10,6	16,0	19,9

Участок замера	Сторона В				Сторона Г			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Точка замера	Точка В.1	Точка В.2	Точка В.3	Точка В.4	Точка Г.1	Точка Г.2	Точка Г.3	Точка Г.4
Длина L , мм	120	120	120	120	120	120	120	120
Время t , мкс	38,78	38,21	36,47	37,10	40,26	38,22	37,61	31,96
Скорость, V , м/с	3094	3140	3290	3234	2980	3139	3190	3754
Прочность, R , МПа	16,8	16,1	16,9	16,6	15,6	16,6	17,1	17,7

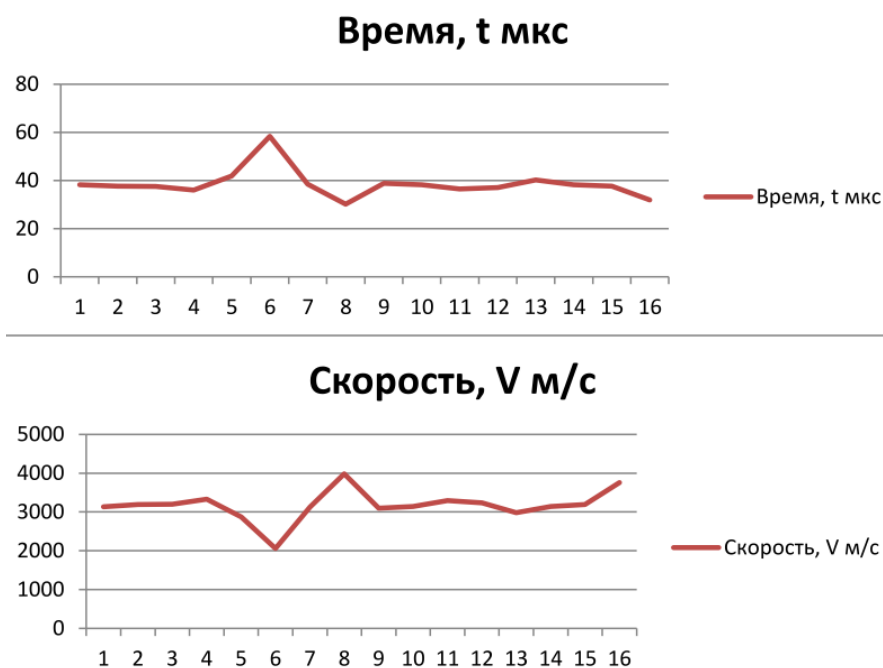


Рис. 4. Графики изменения параметров (времени и скорости прохождения УЗ сигнала) по результатам поверхностного прозвучивания

Точки 6 и 13 соответствуют местам заложения "поры" (теннисные шарики диаметром 30 мм). Точки 8 и 16 соответствуют местам заложения "арматуры" (стальные пруты диаметром 3,5 мм)

Таблица 2. Таблица обработки результатов

Математическая обработка результата	Средние значения	Влияние поры		Влияние арматуры	
		отклонения		отклонения	
Точки замера		6	13	8	16
Время t , мкс	38,51	3,26	1,72	-8,42	-6,58
Время t , %	100 %	8,5 %	4,5%	-21,9 %	-17,1 %
Скорость V , м/с	3169,44	-1110,4	-189,4	814,56	584,56
Скорость V , %	100 %	-35,0 %	-6,0 %	25,7 %	18,4 %

Зафиксированные отклонения превышают допускаемую погрешность прибора, равную $\pm(0,01t + 0,1)$, где t – измеренное время, мкс. Обработка результатов выполнена в программе Excel.

Таблица 3. Результаты контроля способом сквозного прозвучивания (ориентация арматуры вдоль линии установки преобразователей)

Участок замера	Сторона А-В					
	1	2	3	4	5	6
Точка замера	Точка А 1.1	Точка А 1.2	Точка А 1.3	Точка А 1.4	Точка А 2.1	Точка А 2.2
Длина L , мм	220	220	220	220	220	220
Время t , мкс	67,24	65,74	66,35	52,43	61,86	63,10
Скорость, V , м/с	3272	3346	3315	4190	3556	3486
Прочность R , МПа	17,2	17,6	17,4	22,1	18,7	18,3

Участок замера	Сторона А-В					
	7	8	9	10	11	12
Точка замера	Точка А 2.3	Точка А 2.4	Точка А 3.1	Точка А 3.2	Точка А 3.3	Точка А 3.4
Длина L , мм	220	220	220	220	220	220
Время t , мкс	62,58	51,1	65	65	65,03	56,60
Скорость, V , м/с	3515	4305	3351	3383	3394	3894
Прочность R , МПа	18,5	22,7	17,6	17,8	17,9	20,5

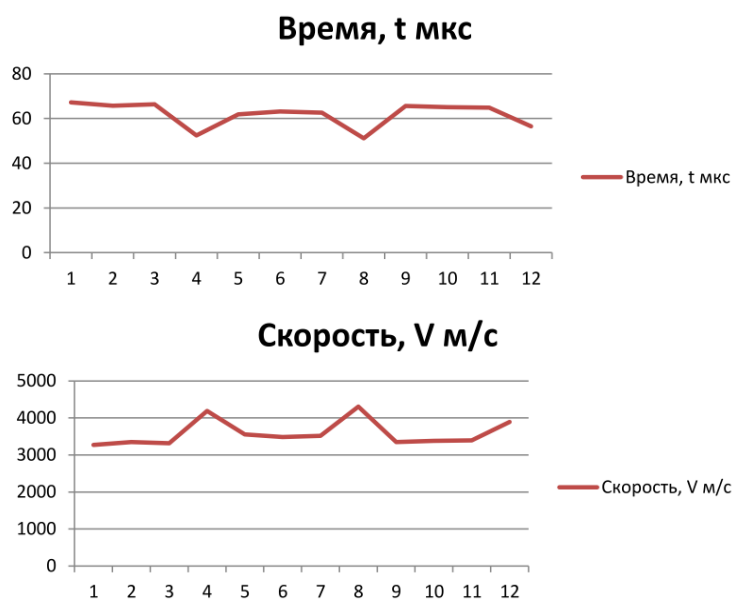


Рис. 5. График изменения параметров по результатам сквозного прозвучивания

Точки 4, 8, 12 расположены на уровне установки арматуры (вдоль линии установки преобразователей). Зафиксировано уменьшение времени и увеличение скорости прозвучивания.

Таблица 4. Результаты контроля способом сквозного прозвучивания (ориентация арматуры поперек линии установки преобразователей)

Участок замера	Сторона Б-Г					
	1	2	3	4	5	6
Точка замера	Точка Б 1.1	Точка Б 1.2	Точка Б 1.3	Точка Б 1.4	Точка Б 2.1	Точка Б 2.2
Длина L, мм	220	220	220	220	220	220
Время t, мкс	64,50	64,30	64,81	66,20	63,60	64,97
Скорость V, м/с	3410	3421	3395	3323	3459	3386
Прочность R, МПа	17,9	18,0	17,9	17,5	18,2	17,8

Участок замера	Сторона Б-Г					
	7	8	9	10	11	12
Точка замера	Точка Б 2.3	Точка Б 2.4	Точка Б 3.1	Точка Б 3.2	Точка Б 3.3	Точка Б 3.4
Длина L, мм	220	220	220	220	220	220
Время t, мкс	64,91	64,89	65,75	67,41	66,95	66,54
Скорость V, м/с	3389	3390	3346	3264	3286	3306
Прочность R, МПа	17,8	17,8	17,6	17,2	17,3	17,4

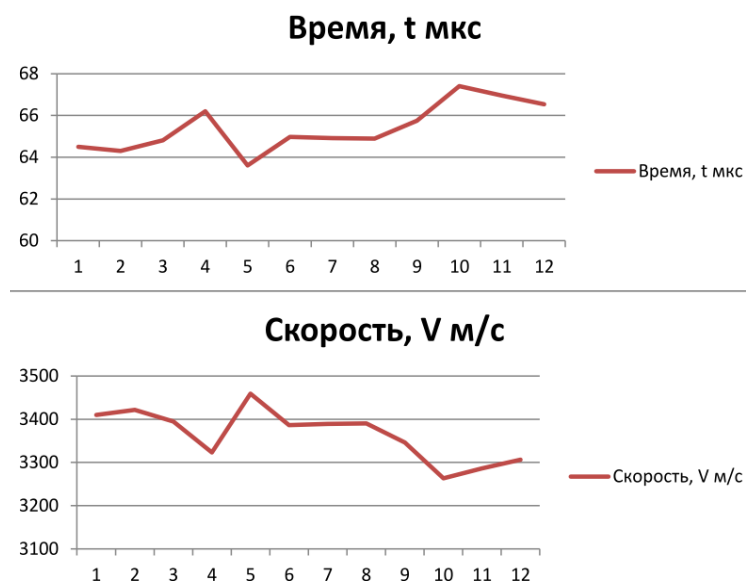


Рис. 6. График изменения параметров по результатам сквозного прозвучивания

Точки 4, 8, 12 расположены на уровне установки арматуры (поперек линии установки преобразователей). Зависимостей не выявлено.

Далее рассмотрим влияние на результаты контроля полимерного слоя. Напомним, что на строительной площадке мы не имеем двустороннего подхода к бетонному слою для сквозного прозвучивания, а доступная поверхность к тому же скрыта под полимерным слоем.

Для решения указанной проблемы необходимо установить экспериментально:

- возможность проводить прозвучивание бетона при одностороннем доступе;
- влияние на результаты контроля бетона наличия полимерного покрытия.

В рамках этой работы были проведены ряд экспериментов по контролю опытных моделей, представляющих собой бетонный блок с искусственными включениями, покрытый слоем ленты ПВХ, имитирующей защитное покрытие обетонированной трубы.

Замеры произведены прибором Пульсар-1.2 способом поверхностного прозвучивания. Испытания проводились при температуре 20 °С, естественной влажности (55 - 60 %). Схема прозвучивания представлена на рис. 7. Датчики устанавливались в двух противоположных направлениях: А-В и Б-Г. Направление прозвучивания модели А-В и Б-Г представлены на рис. 8 и 9. Результаты произведенных замеров представлены в таблицах и графиках.

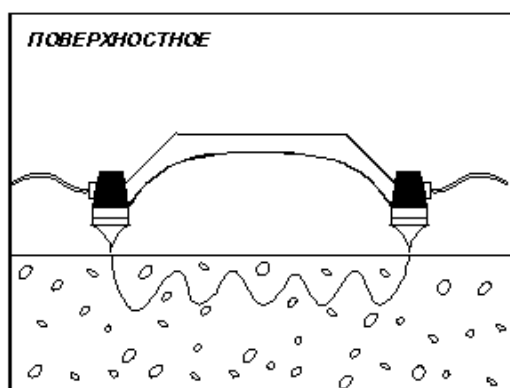


Рис. 7. Схема прозвучивания

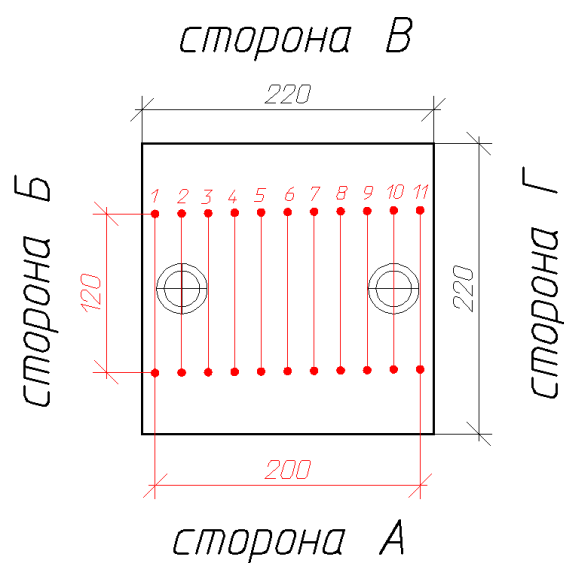


Рис. 8. Направление прозвучивания модели А-В

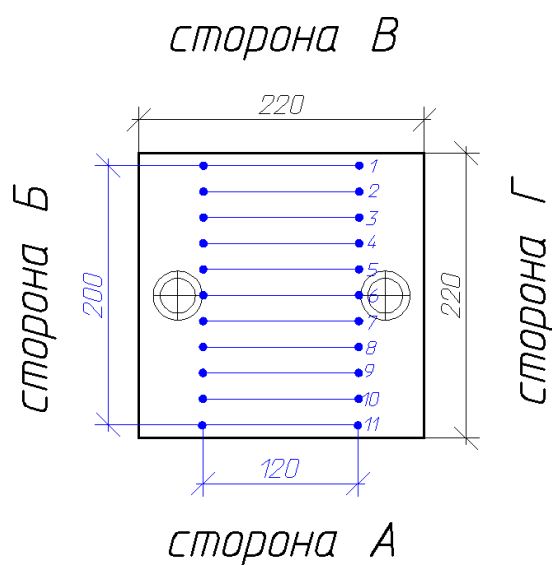


Рис. 9. Направление прозвучивания модели Б-Г

Направление А-В:

Таблица 5. Результаты замера параметров.
Условие 1. Контролируется открытый бетон

		Измерение параметров способом поверхностного прозвучивания. Модель 1. Верх. Направление А-В									
Участок замера, №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Длина, L мм	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Время, t мкс	31,04	31,96	30,71	29,65	29,51	29,81	30,15	30,41	30,26	32,02	30,13
Скорость, V м/с	3866	3755	3908	4047	4066	4025	3980	3946	3966	3748	3983

Таблица 6. Результаты замера параметров. Условие 2.
На поверхность бетона уложена пленка ПВХ в общей толщине 1 мм

		Измерение параметров способом поверхностного прозвучивания. Модель 1. Верх. Направление А-В									
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L, мм	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
t, мкс	28,02	29,15	27,98	27,14	26,84	27,11	27,56	27,45	27,64	29,34	27,42
V, м/с	4283	4117	4289	4422	4471	4426	4354	4372	4342	4090	4376
$\Delta t, \%$	-9,73%	-8,79%	-8,89%	-8,47%	-9,05%	-9,06%	-8,59%	-9,73%	-8,66%	-8,37%	-8,99%
$\Delta V, \%$	10,78%	9,64%	9,76%	9,25%	9,95%	9,96%	9,40%	10,78%	9,48%	9,13%	9,88%

Среднее значение сокращения времени прохождения сигнала составляет -8,94%. Среднее значение возрастания скорости прохождения сигнала составляет 9,82%.

Таблица 7. Результаты замера параметров. Условие 3.
Толщина пленки увеличена до 2 мм

		Измерение параметров способом поверхностного прозвучивания. Модель 1. Верх. Направление А-В									
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L, мм	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
t, мкс	27,72	28,75	27,86	26,54	26,72	26,61	27,45	27,49	27,38	29,49	27,25
V, м/с	4329	4174	4307	4521	4491	4510	4372	4365	4383	4069	4404
$\Delta t, \%$	-10,70%	-10,04%	-9,28%	-10,49%	-9,45%	-10,73%	-8,96%	-9,60%	-9,52%	-7,90%	-9,56%
$\Delta V, \%$	11,98%	11,17%	10,23%	11,72%	10,44%	12,03%	9,84%	10,62%	10,52%	8,58%	10,57%

Среднее значение сокращения времени прохождения сигнала составляет -9,66%. Среднее значение возрастания скорости прохождения сигнала составляет 10,70%.

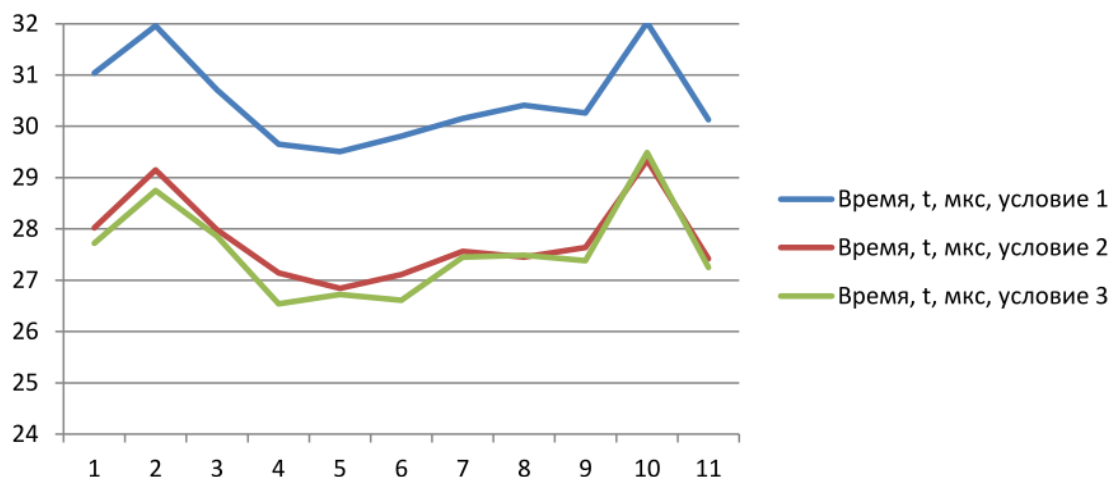


Рис. 10. График изменения времени прохождения сигнала в контролируемых точках

На линии замеров 2 и 10 в направлении А-В на пути прохождения сигнала размещены искусственные «поры» (теннисные шарики). Здесь очевидно увеличение времени прохождения сигнала на 1,18 и 1,9 мкс соответственно по сравнению со средним значением времени прохождения сигнала равным 27,57 мкс. Характер линии графика, построенного на результатах замеров в условии 1 и условиях 2, 3, сохраняется. Максимальное отклонение по времени и скорости прохождения сигнала зафиксировано на участке 6 и составляет -10,73 % и -12,03 % соответственно.

Направление В-Г:

Таблица 8. Результаты замера параметров. Условие 1.
Контролируется открытый бетон

Измерение параметров способом поверхностного прозвучивания. Модель 1. Верх. Направление Б-Г											
№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Длина, L мм	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Время, t мкс	30,25	29,99	30,75	29,57	29,26	30,11	30,59	30,43	30,89	31,04	30,84
Скорость, V м/с	3967	4001	3902	4058	4101	3985	3923	3943	3885	3866	3891

Таблица 9. Результаты замера параметров. Условие 2.
На поверхность бетона уложена пленка ПВХ в общей толщине 1 мм

Измерение параметров способом поверхностного прозвучивания. Модель 1. Верх. Направление Б-Г											
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L, мм	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
t, мкс	27,53	27,35	28,05	26,88	26,61	27,01	27,98	27,59	28,09	28,41	28,06
V, м/с	4359	4388	4278	4464	4510	4443	4289	4349	4272	4224	4277
$\Delta t, \%$	-8,99%	-8,80%	-8,78%	-9,10%	-9,06%	-10,30%	-8,53%	-9,33%	-9,06%	-8,47%	-9,01%
$\Delta V, \%$	9,88%	9,65%	9,63%	10,01%	9,96%	11,48%	9,33%	10,29%	9,97%	9,26%	9,91%

Среднее значение сокращения времени прохождения сигнала составляет -9,04%. Среднее значение возрастания скорости прохождения сигнала составляет 9,94%.

Таблица 10. Результаты замера параметров. Условие 3.
Толщина пленки увеличена до 2 мм

Измерение параметров способом поверхностного прозвучивания. Модель 1. Верх. Направление Б-Г											
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L, мм	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
t, мкс	27,02	27,46	27,81	26,71	26,35	26,98	27,61	27,52	27,74	28,45	27,56
V, м/с	4441	4370	4315	4493	4554	4448	4346	4360	4326	4218	4354
$\Delta t, \%$	-10,68%	-8,44%	-9,56%	-9,67%	-9,95%	-10,40%	-9,74%	-9,56%	-10,20%	-8,34%	-10,64%
$\Delta V, \%$	11,95%	9,21%	10,57%	10,71%	11,04%	11,60%	10,79%	10,57%	11,36%	9,10%	11,90%

Среднее значение сокращения времени прохождения сигнала составляет -9,74%. Среднее значение возрастания скорости прохождения сигнала составляет 10,80%.

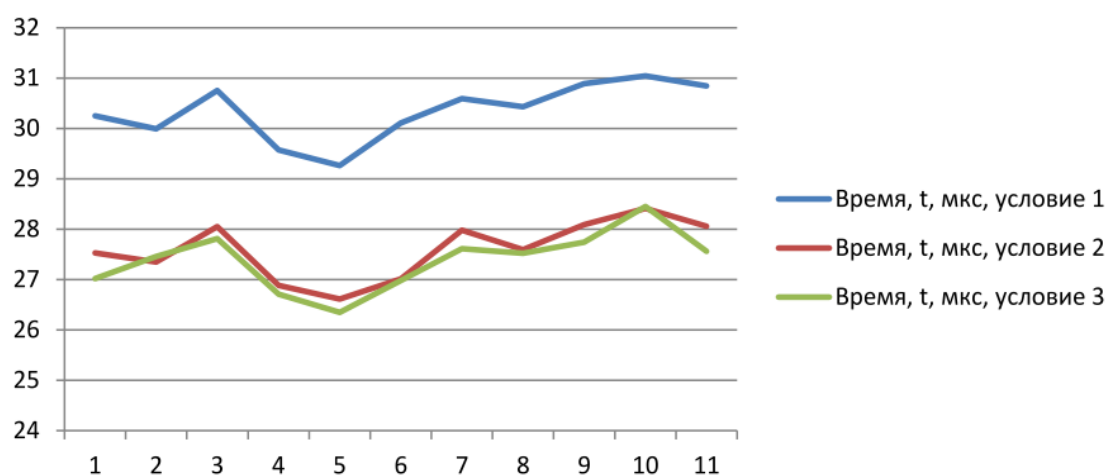


Рис. 11. График изменения времени прохождения сигнала в контролируемых точках

На линии замеров в направлении Б-Г искусственных дефектов не заложено. Изгибы графика объясняются неоднородностью состава и свойств бетона. Характер линии графика построенного на результатах замеров в условиях 1 и условиях 2, 3 сохраняется.

По результатам замеров отметим, что наличие даже небольших пустот увеличивает время прохождения ультразвука, расположенная вдоль линии контроля стальная арматура заметно уменьшает его.

Таким образом, экспериментально установлено:

1. Проводить ультразвуковой контроль бетона при одностороннем доступе возможно способом поверхностного прозвучивания.

2. Наличие пустот маленького размера (40x40x40 мм) в бетоне оказывает влияние на результаты контроля. На участке с заложённой «порой» зафиксировано увеличение времени прохождения ультразвука, показания скорости одновременно уменьшились.

3. Наличие арматуры в бетоне оказывает влияние на результаты контроля. При поверхностном прозвучивании вдоль расположения арматуры скорость прохождения ультразвука увеличилось, а время сократилось. При поверхностном прозвучивании поперек расположения арматуры закономерностей в изменении показателей не установлено.

4. Сквозное прозвучивание подтверждает установленную зависимость – вдоль расположения арматуры скорость прохождения ультразвука увеличилось, а время сократилось.

5. Слой ленты ПВХ не препятствует прохождению УЗ волн и сокращает время прохождения сигнала пропорционально толщине защитного слоя.

6. На линии замеров, где размещены искусственные «поры» очевидно увеличение времени прохождения сигнала на 1,18 и 1,9 мкс по сравнению со средним значением.

7. Времена прохождения сигнала через полимерное покрытие толщиной 2 мм отличаются от результатов, полученных на открытой поверхности бетона, но характер линии графика сохраняется.

Таким образом, экспериментально установлено, что ультразвуковой прибор «Пульсар-1», модификация «Пульсар-1.2» может быть применен для оценки свойств и дефектоскопии бетонного покрытия на стальных трубах по времени и скорости распространения, и форме принимаемых ультразвуковых колебаний (УЗК) в условиях одностороннего доступа даже через слой ленты ПВХ при условии ее плотного прилегания к поверхности бетона. При этом результаты замеров по покрытию толщиной 2 мм отличаются от результатов открытой поверхности, но характер линии графика сохраняется, позволяя при этом выявить заложённые дефекты по аномальному изменению времени и скорости.

Литература

1. Измеритель времени распространения ультразвука «ПУЛЬСАР-1», модификация «Пульсар-1.2». Руководство по эксплуатации. Паспорт. НПП «Интер-прибор». 41 с.

2. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. М.: Стандартинформ. 24 с.

**INFLUENCE OF A POLYMERIC COVERING
AND INCLUSIONS IN CONCRETE ON PARAMETER'S
VARIATION OF PROPAGATION ULTRASONIC WAVES**

A.I. Popova

Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia

e-mail: alen.popowa2011@yandex.ru

Abstract. *For accident-free work of pipeline made heavier by a concrete layer not only mass but also durability, integrity and resilient properties of concrete is important. On the stage of reception of pipe on building it is suggested to check up the concrete layer of pipe through an ultrasonic method. In this case difficulty of diagnostics of concrete consists of absence of bilateral approach. This article reveals problems an accessible surface is hidden under a polymeric layer. This article reveals how defects in a concrete to influence on the parameter's variation of ultrasonic wave.*

Keywords: *pipe, concrete covering, defect, ultrasound, control, diagnostics*

References

1. Izmeritel' vremeni rasprostraneniya ul'trazvuka "PUL'SAR-1", modifikatsiya "Pul'sar-1.2". Rukovodstvo po ekspluatatsii. Pasport. (Ultrasound propagation time meter "Pulsar-1", model type "Pulsar-1.2". User Manual. Passport) NPP Interpribor. 41 p.
2. GOST 17624-87. Concrete. Ultrasonic method of strength evaluation. Moscow, Standartinform. 24 p.