

**УДК 622.831.**

М.А. Ильяшов, С.Д. Гребенюк, В.Б. Усаченко

**ВИЗУАЛЬНО-ПРИБОРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КАПИТАЛЬНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ ШАХТЫ В ЦЕЛЯХ ПОДДЕРЖАНИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ**

Викладено результати діагностики заглиблених капітальних водопропускних споруд

**VISUAL INSPECTION OF INSTRUMENT OF CAPITAL FACILITIES  
MINE FOR MAINTAINING THE OPERATING RELIABILITY**

Shows the results of diagnostic underground culvert capital

Коецепцией Государственной программы обеспечения технической безопасности в основных отраслях экономики Украины приоритетными задачами определены своевременная диагностика и повышение эксплуатационной надежности объектов представляющих государственный интерес. К числу таких отнесены объекты горнодобывающего комплекса, в том числе и угольной промышленности. Все объекты поверхностного и подземного комплексов угольной шахты можно отнести к таким важнейшим группам: 1) горно-технический поверхностный комплекс (копры, надшахтные здания, здания и сооружения обогатительного и водохозяйственного комплексов и др.); 2) поверхностные объекты технолого-экологического назначения (резервуары хранения воды, различные заглубленные и подземные галереи для транспортирования твердых сред и флюидов, пруды-накопители воды для обеспечения оборотного цикла технологического предела); 3) объекты социально-культурного назначения; 4) объекты подземного горно-технологического цикла (вертикальные, наклонные и горизонтальные выработки долговременной эксплуатации, водосборники, камеры насосных и электроподстанций, угольные бункера и др.).

Из большого числа перечисленных объектов важную роль в обеспечении жизнедеятельности угольной шахты имеет поверхностный водохозяйственный комплекс со своей разветвленной сетью транспортирующих трубопроводов, различных резервуаров хранения воды и других флюидов и, как правило, включающий систему прудов-накопителей воды с разными конструкциями водосбросов. В системе поверхностного водохозяйственного комплекса шахты «Красноармейская - Западная № 1» эксплуатируется три крупных пруда-накопителя воды.

Наше визуально-приборное обследование относится к оценке технического состояния шахтного водосброса верхнего и нижнего прудов шахты «Красноармейская - Западная № 1». Предварительное обследование показало, что длительная эксплуатация объектов без выполнения капитальных ремонтов вызвало существенное снижение проектных характеристик как железобетона, так и всех конструкций объектов. Поэтому целью проведенного обследования было установление качественных и количественных показателей технического состояния объекта для обоснования проектных решений по повышению их эксплуатационной надежности.

Общая планировочная схема расположения объектов, шахт водосброса и отводящих заглубленных железобетонных труб показана на рис. 1, а общий их вид – представлен на рис. 2 и 3.

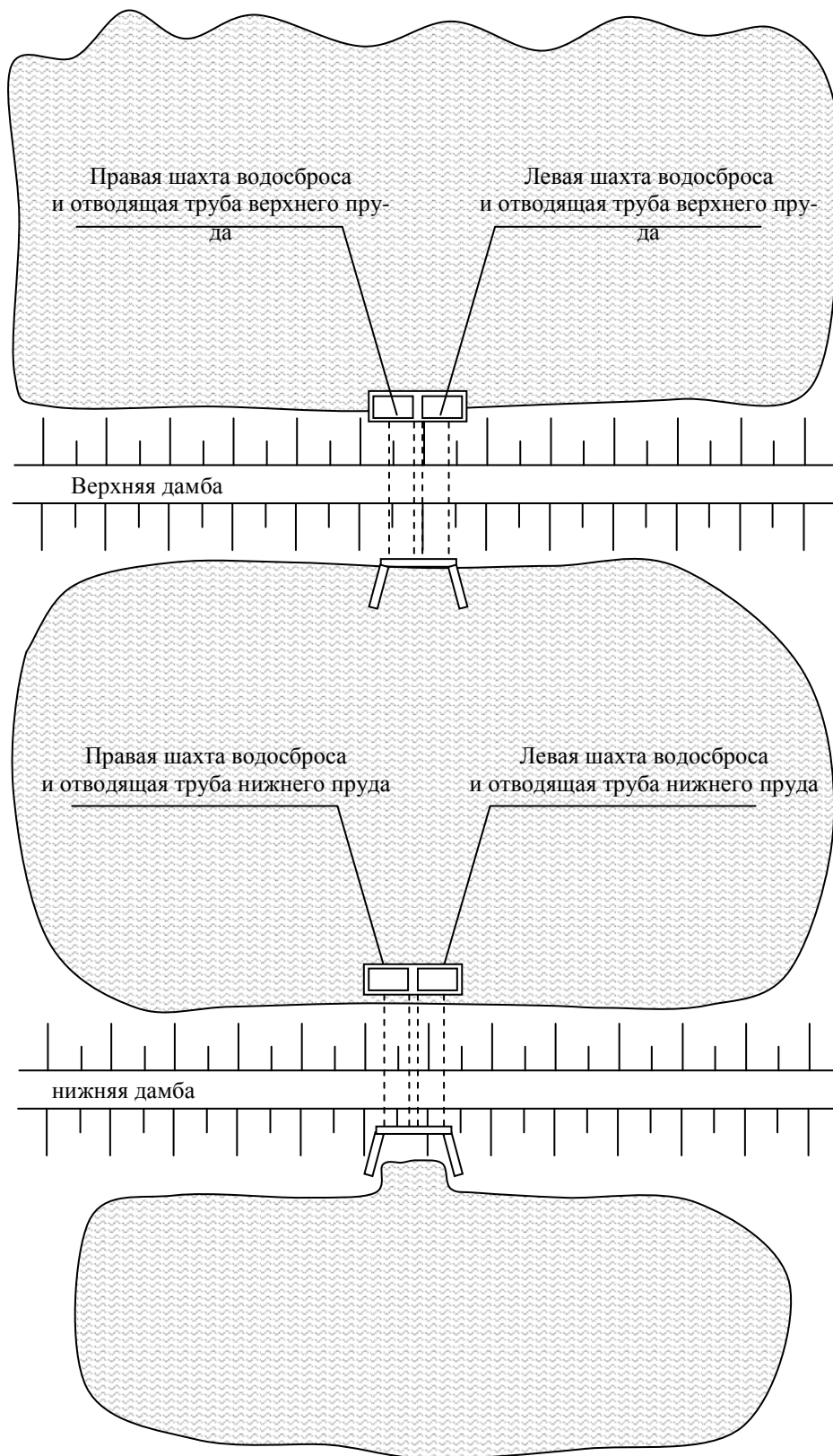


Рис. 1 – Общая схема водосбросов и отводящих труб



Рис. 2 – Внешний вид водопроводящих сооружений

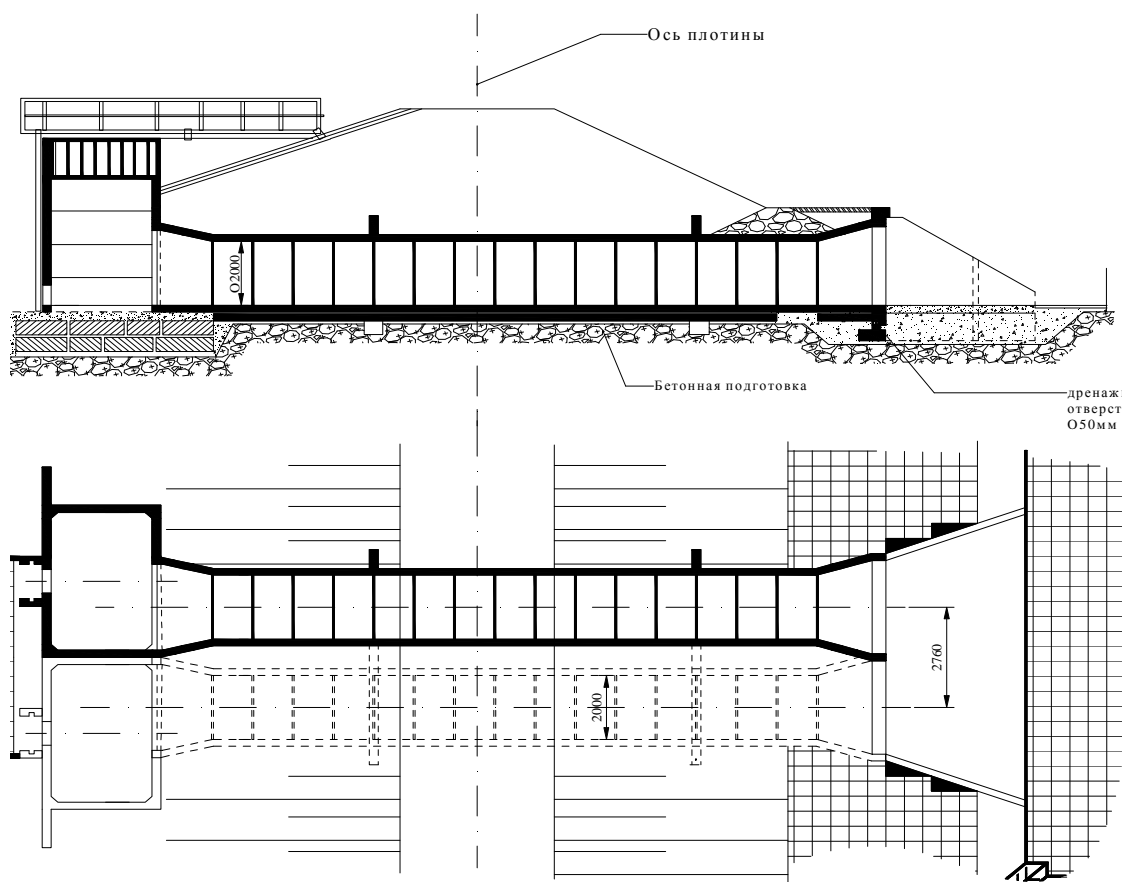


Рис. 3 – Схема шахтного водосброса нижнего пруда

Каждое водопропускное сооружение (ВПС) прудов-накопителей представляет собой два шахтных водосброса с 2-я очковыми трубами круглого сечения диаметром 2,0 м. Конструкции объектов содержат верхнюю и нижнюю дамбы, облицованные железобетонными плитами.

В работе использована комплексная методика оценки состояния бетонных и железобетонных конструкций, апробированная на ряде гидротехнических объектов аналогичного назначения. Методика ориентирована на преимущественное использование методов неразрушающего контроля.

Стадии выполнения работы включали:

получение массива данных путем измерений и наблюдений непосредственно на объекте;

камеральная обработка полученных материалов.

Полевые работы на объекте осуществлялись в следующей последовательности:

общее изучение водопропускных сооружений, выделение их иерархической структуры;

разбивка измерительной сетки в пределах каждой трубы для последующих визуальных наблюдений и вибродиагностики;

выполнение визуального и инструментального обследования для каждого очка;

выполнение виброакустической диагностики поверхностей оболочки конструкции для выявления скрытых заколов, расслоений, а также пустот в окружающем конструкцию грунте.

Для визуальных наблюдений и виброакустики по каждому очку труб разбивались профили, параллельные оси ВПС. Шаг профиля в продольном направлении был выбран равным 1 м. Измерения выполнялись мерной лентой Р10. За нулевую отметку профилей взято начало трубы со стороны входного оголовка.

При визуальном обследовании надводной части регистрировались следующие формы нарушенности:

наличие трещин в бетонных и железобетонных конструкциях;

заколообразования и отслоения на бетонной поверхности;

участки обнажения арматуры;

участки фильтрации воды в трубу со стороны грунтовой толщи;

зоны выщелачивания бетона.

Выявленные визуально дефекты наносились на заранее подготовленную для каждого очка развертку поверхности. Положение и размеры дефектов определялись с помощью нанесенной ранее разметочной сетки. Отдельные характеристики, например, ширина швов, измерялись с помощью линейки. Наиболее характерные виды дефектов фотографировались с помощью цифровой фотокамеры.

Виброакустическая диагностика выполнялась с целью выявления заоболочечных пустот и установления нарушений целостности конструктивных элементов сооружения. Ее реализация основана на закономерностях свободных колебаний плиты, односторонне контактирующей с грунтовой толщей и имею-

щей однотипный характер заземления по контуру. Для выбора информативных параметров при осуществлении диагностики и обоснования критериев при оценке полученных результатов выполнялся теоретический анализ колебательного процесса при импульсном точечном возбуждении одной из точек трубы. При этом важным является только качественная сторона процесса, а не возможность количественного определения характеристик колебания. Точное определение выражений для амплитуд спектральных составляющих связано со значительными трудностями. Ранее показано [1], что коэффициент затухания свободных колебаний возрастает с увеличением вязкости  $\eta^*$  окружающей с (1.1) и ее плотности  $\rho^*$ . Следовательно, в зонах с заполненными водой или воздухом полостями за боковыми стеками ВПС, значения указанных параметров более низкие, чем для нормальной грунтовой толщи.

Таким образом, для выполнения диагностики состояния системы "Охранная конструкция ВПС - грунтовая толща" целесообразно использовать средства виброакустического контроля с первичными преобразователями в виде сейсмоприемника, регистрирующими вибросмещение и определяющими в процессе аналоговой обработки сигнала усредненную за время продолжительности колебаний амплитудную характеристику сигнала. Для этого применяется ряд средств виброакустического контроля: ИСК-1, ДИКОН, ДВШ-2К, ДВШ-2М. Наиболее подходящим для решения поставленной задачи, исходя из перечисленных выше требований, является спектроанализатор параллельного действия с кратковременной аналоговой памятью ИСК-1Ш. Его основные технические характеристики [1]:

частотный диапазон спектрального анализа, Гц	- 32 – 16000;
количество частотных каналов	- 10;
количество поддиапазонов уровня	- 3;
общий динамический диапазон, дБ	- 81;
минимальный уровень сигнала на входе, мВ	- 0,4;
напряжение питания, В	- 3,3 – 4,1;
потребляемая мощность, Вт	- 1,5;
масса носимого комплекта, кг	- 5.

Согласно представлениям о механизме возникновения изгибных колебаний в двумерных структурах их характер определяется в основном параметрами носимого удара, а не условиями приема. Поэтому точкой, к которой следует отнести результаты вибродиагностики, является именно точка удара. Схема расположения точек удара в сечении очка каждого вида представлена на рис. 4. Шаг профилей составляет 1 м. Точки приема располагают на 1 м сзади или спереди контролируемого сечения. Амплитуда сигнала определяется выражением:

$$A = 27(n-1) + 3 \text{ м}, \quad (1)$$

где:  $n$  – номер диапазона прибора,  $m$  – ступень уровня внутри диапазона.

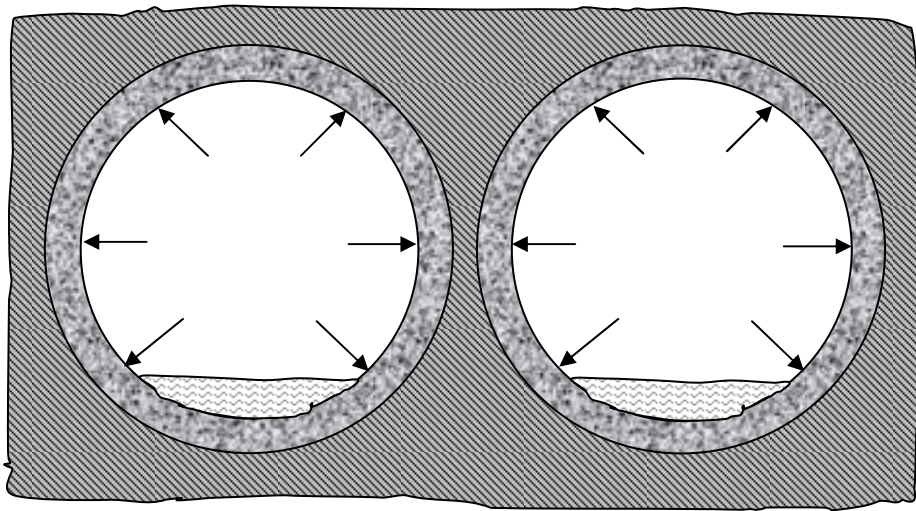


Рис. 4 – Схема расположения точек возбуждения в очках водопропускного сооружения

Остановимся на результатах визуального обследования. Визуально были обследованы следующие элементы ВПС:

левые и правые шахты водосброса верхнего и нижнего пруда;

звенья отводящих труб ВПС верхнего и нижнего пруда;

выходные оголовки ВПС с блоками откосных крыльев;

плиты противофильтрационного покрытия дамбы верхнего и нижнего пруда.

В результате выполненного обследования установлено, что для внутренней поверхности шахты водосброса основными являются такие виды дефектов:

расслоение между основной бетонной конструкцией и торкретом;

разрушение бетона на значительную глубину, сопровождающееся обнажением арматуры и ее коррозией;

разрушение швов между секциями шахты водосброса, сопровождающееся фильтрацией воды со стороны пруда внутрь ВПС.

Для звеньев отводящих труб основными дефектами является:

коррозия поверхности бетона;

разрушение швов между звеньями с образованием глубоких выколов в нижней их части;

разрушение бетона на значительную глубину с обнажением и коррозией арматуры (рис. 5).

Для выходных оголовков основные дефекты следующие:

разрушение бетона порталной стенки ВПС нижнего пруда в районе ее постоянного контакта с поверхностью воды (рис. 6);

разрушение бетона откосных крыльев.

При визуальном обследовании плит противофильтрационного покрытия дамбы верхнего и нижнего пруда зафиксированы такие виды нарушений:

просадка плит;

трещины в плитах;

сколы поверхности бетона плит;

разрушение швов между плитами;

наличие грунтовых наносов и растительности



Рис. 5 – Разрушение бетона, обнажение и коррозия арматуры

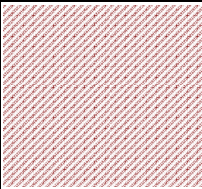

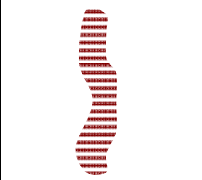


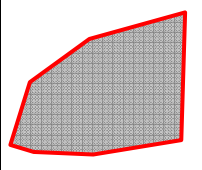



Рис. 6 – Разрушение порталной стенки выходного оголовка

Условные обозначения наиболее характерных типов нарушений, выявленных путем визуального осмотра, даны в табл. 1.

21

Таблица 1 – Условные обозначения различных форм нарушенности

Интенсивность проявления	Графическое обозначение	Комментарий
поверхностное разрушение бетона		амплитуда неровностей до 2 см
разрушение бетона с обнажением арматуры		2-25 см в глубь
разрушение материала швов между плитами и секциями труб		на глубину от 3 до 18 см
участки увлажнения		
участки капежа		
Места отслоения бетонных плит		Наблюдаются в шахтах водосброса и в местах при- мыкания выходного оголовка и труб. Толщина от- слоившихся плит в пределах 13 см
Выколы бетона с обнажением арматуры		Данный вид коррозии наблюдаются, в основном, в нижней части труб и на стыках секций. Глубина ко- леблется в пределах от 8 до 40 см

В качестве иллюстрации результаты визуального обследования представле-  
ны графически на рисунках 7 и 8.



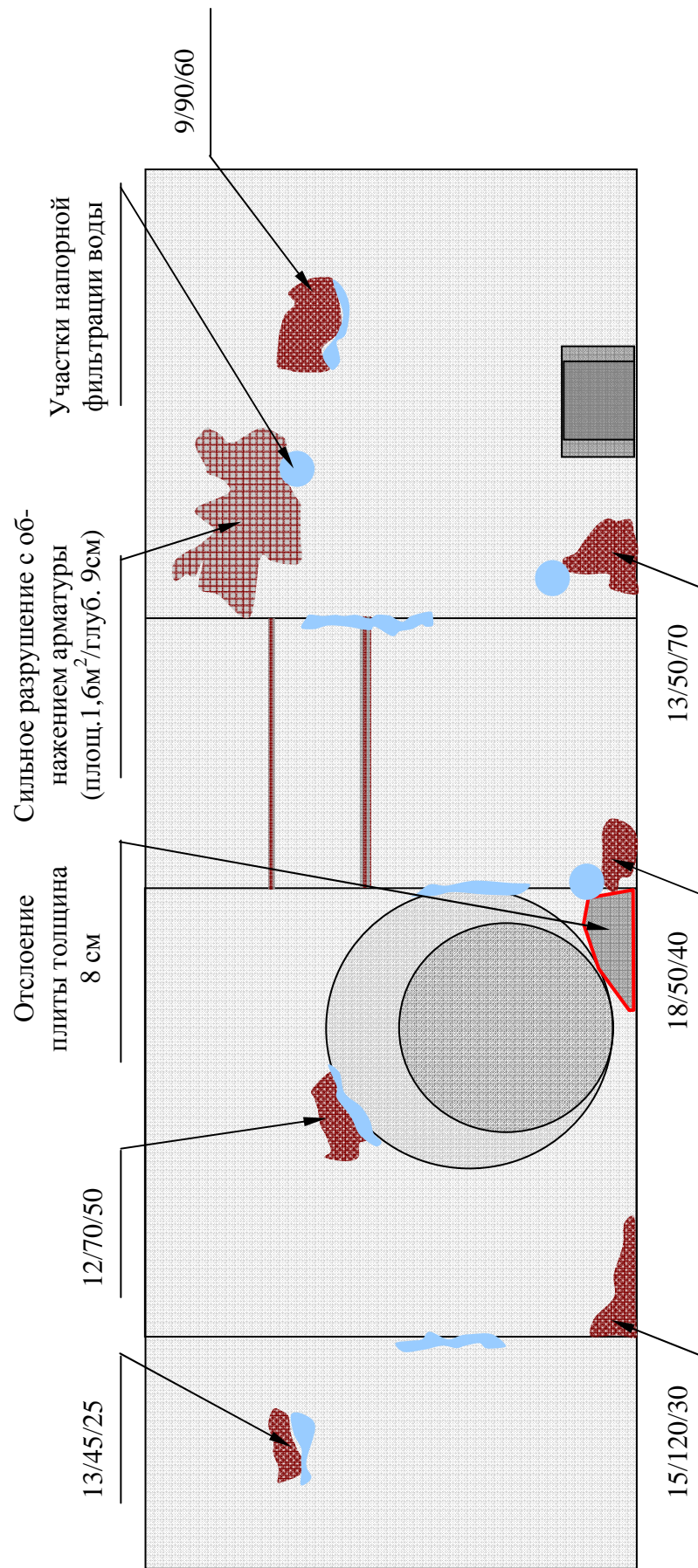


Рис. 7 – Развертка внутренней поверхности левой шахты водосброса верхнего пруда с нанесенными результатами визуального осмотра

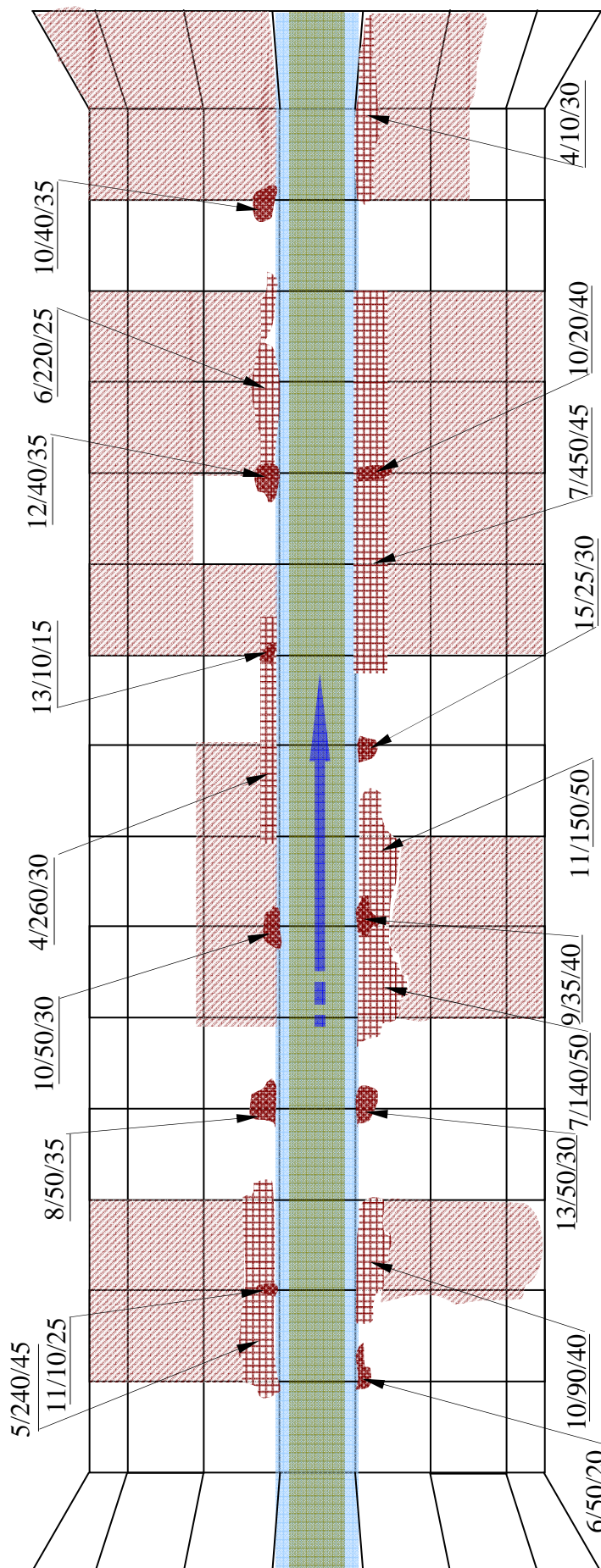


Рис. 8 – Результаты визуального обследования правой отводящей трубы ВПС верхнего пруда

Количественные характеристики всех форм нарушения выявленных в ходе проведения визуального осмотра приведены в таблице 2.


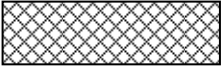
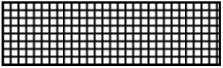
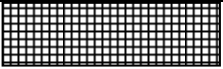
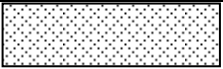
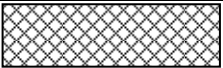
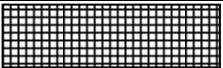
Таблица 2 – Характеристики нарушений, выявленных при визуальном осмотре

ВПС	Участок		Виды дефектов					
			Площадь коррозии, м <sup>2</sup>	Объем выколов без об- нажения арматуры, м <sup>3</sup>	Объем выколов с об- нажением арматуры, м <sup>3</sup>	Длина разрушенных швов, м	Объем иловых отложе- ний в трубах, м <sup>3</sup>	Длина трещин, м
Верхний пруд	шахты водосбросов	Левая	48	0,240	0,144	34	-	-
		Правая	48	0,206	-	34	-	-
	Водо- отводящие трубы	Левая	37,4	0,123	0,477	106,8	1,695	-
		Правая	38,7	0,082	0,255	106,8	1,695	-
	Откосные крылья		2,1	0,12	0,430	-	-	-
Плиты покрытия откоса дамбы		504	0,172	0	664	-	50,8	
Нижний пруд	шахты водосбросов	Левая	48	0,070	0,320	34	-	-
		Правая	48	0,238	-	34	-	-
	Водо- отводящие трубы	Левая	45,9	0,351	0,572	106,8	1,695	-
		Правая	38,5	0,132	0,245	106,8	1,695	-
	Откосные крылья		4,8	0,22	0,120	-	-	-
Плиты покрытия откоса дамбы		638	0,198	0	760	-	30,3	
ВСЕГО			1501	2,152	2,563	1987,2	6,780	81,1

Рассмотрим результаты виброакустической диагностики. Вследствие того, что исследуемые элементы конструкции для различных участков ВПС имеют различные характеристики, критериальные оценки виброакустики к ним тоже различны. Целесообразным является выделение трех градаций состояния элементов и условий их контакта с окружающим грунтовым массивом (табл. 3).

В качестве иллюстрации на рис. 9 приведена карта состояния системы «оболочка – законтурный массив». Установлено ряд особенностей: 1) превалирует слабая степень нарушения контакта подсистем; 2) сильная степень нарушения контакта по четырем трубам составляет 11-21%; 3) изменение контакта носит волнообразный характер с периодом 1,5-2,0 м; 4) максимальное нарушение контакта имеет место в нижней части водопроводящих труб.

Таблица 3 – Критерии состояния структур ВПС по результатам виброакустической диагностики

Элемент конструкции ВПС	Типичные формы нарушения	Степень нарушения	Показания прибора	Усл. Обозн.
Водоотводящие трубы	внутренние расслоения в горизонтальной плоскости	слабая	12 – 36	
		умеренная	39 – 48	
		сильная	свыше 48	
Плиты откоса дамбы	полости за бетонной оболочкой в грунте	умеренная	57 - 69	
		сильная	69 - 81	
Откосные крылья	полости за бетонной оболочкой в грунте	слабая	0 - 36	
		умеренная	36 – 54	
		сильная	свыше 54	

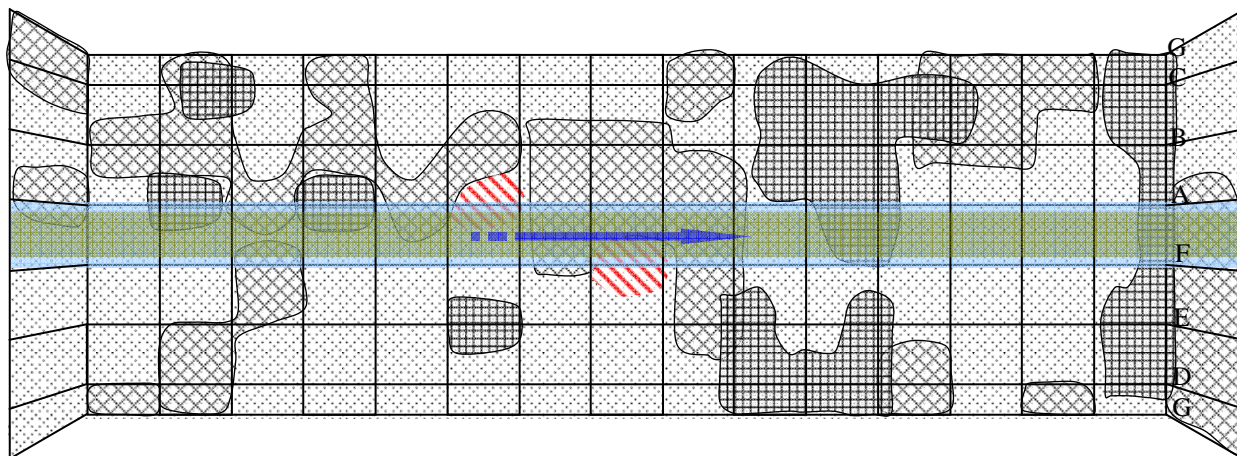


Рис. 9 – Результаты вибродиагностики левой водоотводящей трубы ВПС верхнего пруда

По результатам виброакустической диагностики рассчитаны объемы пустот за бетонными оболочками водопроводящих сооружений, а так же объем пустот под плитами покрытия откосов дамб верхнего и нижнего прудов. Данные об объемах пустот представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Объемы пустот

ВПС	Участок		Площадь, м <sup>2</sup>			Объем, м <sup>3</sup>			Всего объем, м <sup>3</sup>
			Слабая нарушенность	Средняя нарушенность	Сильная нарушен- ность	Слабая нарушенность	Средняя нарушенность	Сильная нарушен- ность	
Верхний пруд	Водо-отводящие трубы	Левая	53,38	27,21	26,17	0,534	0,905	3,664	5,103
		Правая	30,35	58,61	17,79	0,304	2,103	2,491	4,898
	Откосные крылья		0	3,28	6,72	0	0,266	0,569	0,833
	Плиты покрытия откоса дамбы		6,38	194,59	303,05	0	2,946	6,092	9,038
Нижний пруд	Водо-отводящие трубы	Левая	29,31	58,61	18,84	0,293	2,103	2,638	5,034
		Правая	55,47	34,54	16,75	0,555	1,418	2,345	4,318
	Откосные крылья		0	4,63	5,37	0	0,293	0,515	0,808
	Плиты покрытия откоса дамбы		0	220,11	417,89	0	2,201	9,538	11,739
ВСЕГО									41,77

Таким образом, визуально-приборной диагностикой установлено следующее. Вследствие естественного старения бетона надежность несущих и ограждающих элементов конструкции ВПС в значительной степени снизилась.

В грунтовой толще вокруг сооружений происходят активные фильтрационные процессы, которые определяются утечками воды сквозь противофильтрационное покрытие дамб прудов.

Виброакустическая диагностика выявила наличие зон подмыва днища сооружения, которые распространяются и на боковые стенки ВПС. Дальнейшее увеличение зон грозит потерей статической устойчивости отдельных секций сооружения.

В процессе комплексного обследования водопроводящего сооружения выявлены следующие виды дефектов:

- поверхностное разрушение бетона без обнажения арматуры;
- разрушение бетона с обнажением и коррозией арматуры;
- разрушение материала швов между кольцами труб и каркасными блоками водосбросной шахты;
- фильтрация воды по швам;
- наличие полостей на границе бетонных конструкций водопроводящего сооружения и грунтов;

- заиливание днища водопроводящих труб;
- просадки плит покрытия откосов дамб;
- наличие трещин и выколов в плитах покрытия откосов дамб.

Установлено, что совместное влияние на оболочки ВПС гидравлических и гравитационных факторов способствует развитию флюидодеструктивных процессов, которые разрушают железобетон, вызывают коррозию арматуры, что снижает эксплуатационную надежность труб. Доминирующим дефектом является разрыхление бетона и снижение его прочности, повсеместно наблюдается отторжение защитного слоя бетона от арматуры. Разрыхление бетона является причиной наполнения пор и трещин электролитами, содержащими газы ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ). Имеет место коррозионно-гидромеханическое разрушение бетона оболочек труб.

Резюмируя можно заключить, влияние агрессивных элементов воды прудов-накопителей проявляется по смешанному механизму, т.е. имеет место коррозия бетона выщелачивания, общекислотная и сульфатная [2].

Полученные количественные показатели дефектов в диагностированных конструкциях составили основу для разработки проекта реконструкции объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яланский А.А. и др. Теоретические и аппаратные разработки виброволнового контроля строительных конструкций и материалов. /Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Сергиенко В.Н., Усаченко В.Б. //Тезисы докладов IV-ой международной научной конференции «Материалы для строительных конструкций». – Днепропетровск, 1996 – С. 73.
2. Бажанов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высш. школа, 1987. – 415 с.
3. Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж – Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 р.
4. Про захист населення від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. – Закон України № 1809-3 від 08.07.2002 р.
5. Выполнить геофизические исследования гидротехнического тоннеля (2 трубы) канала «Днепр-Ингулец»: Отчет о НИР/НПП Технополис "Экоиндустрия"; Руководитель Б.Усаченко, 2002. - 83 с.
6. Выполнить геофизические исследования бетонного покрытия дамбы пруда-охладителя Криворожской ТЭС в пределах пикетов 38-42: Отчет о НИР/НПП Технополис "Экоиндустрия"; Руководитель Б.Усаченко, 2002. - 39 с.
7. Выполнить геофизические исследования проточной части турбины гидроагрегата № 15 ДнепроГЭС: Отчет о НИР/НПП Технополис "Экоиндустрия"; Руководитель Б. Усаченко, 2004. - 28 с.
8. Ямщиков В.С., Сидоров Е.Е., Бауков Ю.Н. Физические основы акустического метода определения дефектов связи упругих слоев с основанием // ФТПРПИ. – 1979. - № 3. – С. 110 – 118.
9. Земба В.А. и др. Методика и результаты виброакустической диагностики тоннелей и заглубленных водопроводящих сооружений //Геотехническая механика, 1998. – Вып. 23. – Днепропетровск. – С. 190 – 196.
10. Усаченко Б.М. и др. Научные и приборные разработки для геофизической экспресс-диагностики состояния шахт, карьеров и гидротехнических сооружений. /Усаченко Б.М., Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Сергиенко В.Н. //Горный вестник Узбекистана. - № 2. – С. 84 – 86.
11. ГОСТ 10180-2003. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
12. ГОСТ 10181-2000 Смеси бетонные. Методы испытаний.
13. ГОСТ 12730.0-2002. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.
14. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных конструкций плавучих, портовых и припортовых сооружений. – Одесса, 2003.
15. Березюк А.Н. и др. Диагностика и оценка технического состояния строительных конструкций и оснований зданий и сооружений (методические рекомендации) // Приднепровская государственная Академия строительства и архитектуры, фирма ДГС. – Днепропетровск, 1996.