

**ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Розглянуто принципи визначення ієрархічної структури гідротехнічних споруд. Виділені характерні типи найпростіших бетонних конструкцій. Показано застосування вібродіагностики для оцінки їх технічного стану.

**DIAGNOSTICS OF DEFECTS OF CONCRETE DESIGNS  
HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURES**

The principles of definition of hierarchical structure of hydraulic engineering structures are considered. The characteristic types of the elementary concrete designs are allocated. The application of vibrating diagnostics for an estimation of their technical condition is shown.

Относительно стабильное развитие экономики в 60-е – 70-е годы истекшего столетия ознаменовалось строительством на Украине значительного количества теплоэнергетических комплексов, ядром которых являются гидротехнические сооружения (ГТС) различного назначения, содержащие бетонные и железобетонные конструкции. Специфика эксплуатации ГТС связана с такими предпосылками:

- 1) разнообразие конструкций, характеризующихся многоэлементной иерархией их построения;
- 2) экосистемный характер эксплуатации, что определяет методологию контроля гидрогеомеханической системы «ГТС – гидросреда – литосфера»;
- 3) практически неограниченный срок эксплуатации ГТС, что вызывает физический износ и старение конструкций, увеличение числа различных дефектов.

Наблюдения показывают, что долговременная эксплуатация ГТС приводит к структурно-фазовым преобразованиям в системе «бетон – арматура», что вызывает нарушение целостности конструкции и изменение ее параметров в связи с взаимодействием объекта с гидросредой и литосферой. В связи с этим возникает необходимость диагностики ГТС, которая должна включать не только оценку бетона в конструкциях, но протекание гидрогеомеханических процессов в системе «бетон – гидросфера – литосфера». Это весьма важно для надежной эксплуатации ГТС.

Опыт показывает, что ликвидация последствий аварий из-за разрушения грузонесущих или защитных конструкций обходится намного дороже своевременного выполнения ремонтно-профилактических мероприятий на заранее определенных, потенциально опасных участках. Поэтому в Украине на государственном уровне обращается внимание на необходимость регулярного обследования тепло- и гидроэнергетических объектов, как возможных источников повышенной опасности [1, 2].

Сложность и важность указанной задачи обуславливает необходимость привлечения системного подхода в диагностике ГТС, включающего: типизацию элементов конструкций, определение уровня их диагностирования и вида де-

фектов, характера разрушения объекта и его комплексную оценку, определение модельного уровня анализа результатов и установление факторов возмущения. В совокупности на базе этих результатов должны быть определены факторы управляющего воздействия на ГТС для обеспечения их эксплуатационного состояния.

ГТС по своему прямому функциональному назначению подвержены физико-механическим и механическим факторам воздействия. Эти факторы включают в себя гравитационные (нагрузки), гидравлические (фильтрация воды через бетон сооружений, карстопроявления в литосфере, суффозионные процессы), флюидодеструктивные (ослабление связей структуры бетона, набухание грунтов), коррозионные (поверхностная и глубинная коррозия бетона и арматуры), механические (кавитация, водобой, ледоход).

Вполне понятно, что первоочередной задачей в диагностике ГТС должно быть диагностирование бетона и его механических связей в теле объекта и элементах конструкций, Совокупное влияние на бетон ГТС силовых и коррозионных факторов позволяет говорить о коррозионно-гидромеханическом разрушении бетона и железобетона. Повреждения бетона в основном связаны с разрыхлением и расслоением структуры, повышением ее пористости, водопроницаемости, снижением прочности, отторжением поверхностного бетонного слоя. Образование дефектов как локальных нерегламентированных нарушений физико-механических свойств бетона первоначально прослеживаются в образовании каверн на поверхности, а затем отмечается трещинообразование вглубь тела конструкции с разрушением глубинных слоев бетона и коррозией арматуры. Таким образом, дефекты можно разделить на явные и скрытые; наличие последних можно обнаружить только специальной аппаратурой. Совокупность явных и скрытых дефектов вызывает повреждение конструкции, заключающееся в локальном нарушении объекта при сохранении работоспособного (или ремонтпригодного) состояния. Следовательно, диагностика ГТС должна определить их техническое состояние в сравнении с проектными характеристиками объекта.

Авторами разработана и эффективно используется комплексная методика оценки состояния бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Методика ориентирована на использование методов неразрушающего контроля. Высокую эффективность при решении указанной выше задачи показывает виброакустический метод [3, 4].

Работы по обследованию гидротехнического сооружения начинаются с определения его иерархической структуры. Анализ идет от подсистем более высокого ранга к более простым. Последним звеном в иерархической структуре является конструктивный элемент. Его основным признаком является конструктивная неделимость и возможность отождествления с одной из простых физических моделей, число которых ограничено. Важнейшей особенностью конструктивного элемента является возможность оценки его качества в виде абсолютной или относительной числовой характеристики.

Сравнение характеристик для конструктивных элементов корректно лишь в

том случае, когда они являются однотипными не только по выполняемой функции, но и по геометрическим размерам, свойствам материала, характеру внешних связей. При выделении однотипных элементов первоначально определяется принадлежность элемента к общей категории по функциональным признакам. Вторым уровнем конкретизируются граничные условия для элементов. Третьим уровнем выделяют элементы с одинаковыми размерами и свойствами материала. Схема выделения однотипных элементов, представлена на рис. 1.

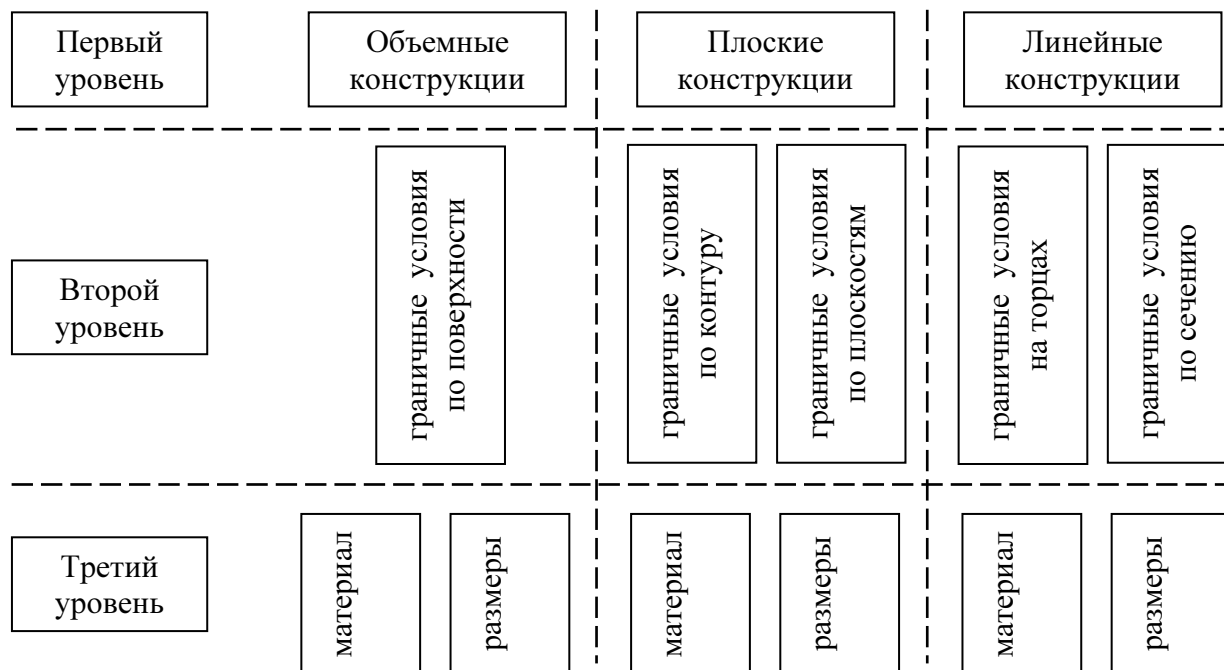


Рис. 1 – Блок-матрица выделения однотипных конструктивных элементов ГТС

Пример структурирования ГТС представлен на рис. 2.

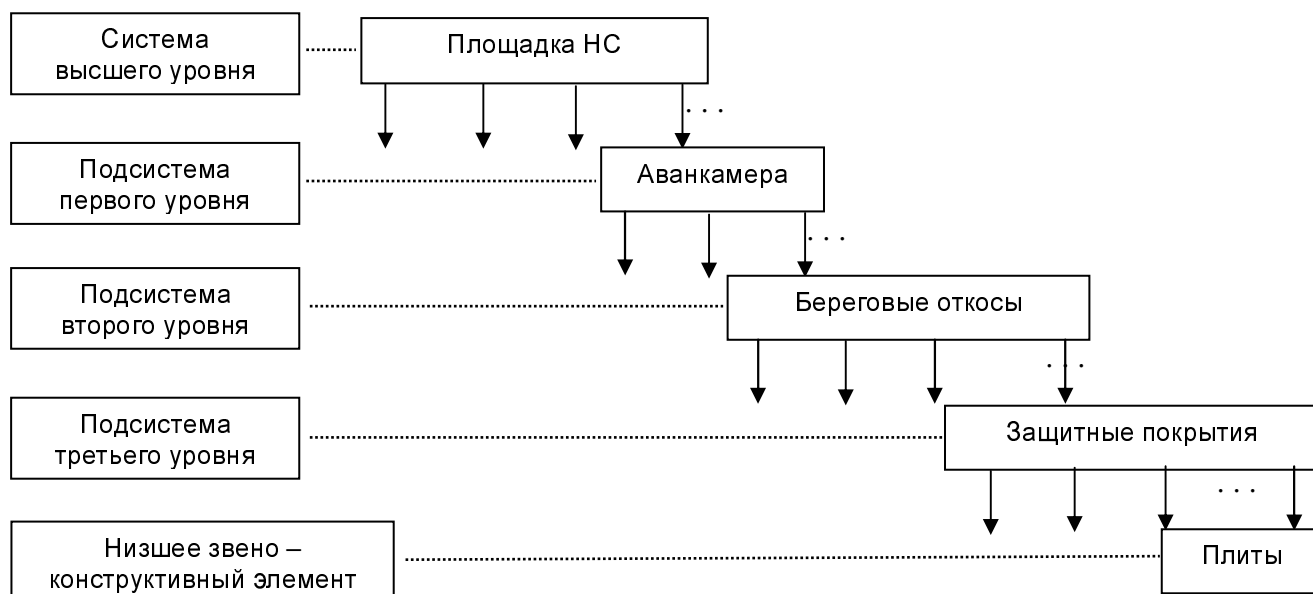


Рис. 2 – Пример иерархической структуры объектов гидротехнического сооружения

В рамках поэлементно-функционального подхода все многообразие отклонений характеристик объекта от проектных может быть представлено в виде суммы характеристик ограниченного перечня дефектов, относящихся к конструктивным элементам. Основные дефекты конструктивных элементов гидротехнических сооружений приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные дефекты конструктивных элементов гидротехнических сооружений

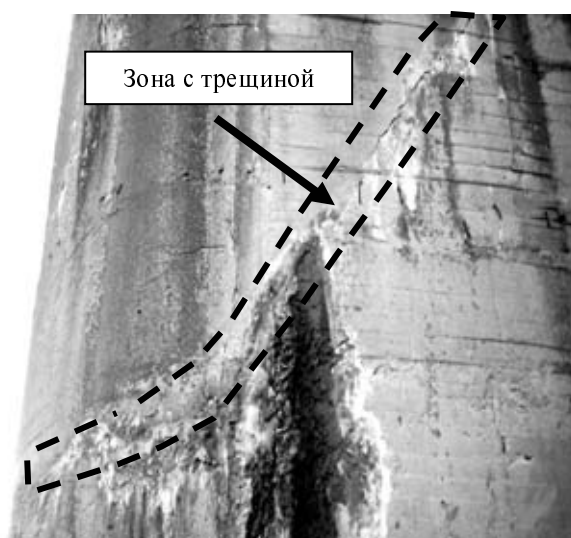
Конфигурация элементов		объемные	плоские	линейные
Дефекты	нарушение целостности	каверны, внутренние и поверхностные трещины	трещины, разрушение поверхностного слоя	трещины, разрушение поверхностного слоя
	изменение граничных условий	отсутствие плотного контакта с грунтом (отсыпкой)	потеря жесткой связи по контуру с соседними элементами, полости под плитами	ухудшение заземления на торцах
	ухудшение свойств материала	развитие микротрещин	развитие микротрещин, сульфатация бетона, коррозия арматуры	развитие микротрещин, сульфатация бетона, коррозия арматуры

Виброакустический метод относится к группе акустических. Он предполагает внешнее возбуждение упругих колебаний в конструкции. Наиболее существенное отличие данного метода от других акустических, например ультразвукового, в соотношении длины распространяющихся в материале упругих волн и размерами исследуемой конструкции. При виброакустическом методе длина волны того же порядка, что и размеры объекта, поэтому волновые явления не могут проявить себя в качестве информативных характеристик. Исследуется колебательный процесс участка конструктивного элемента, как правило, его центральной части. В принципе спектральный состав собственных колебаний объекта определяется многими факторами, в том числе и всеми перечисленными в табл. 1: геометрическими размерами, граничными условиями, упругими константами, зависящими от свойств материала. Поэтому интерпретация результатов виброакустического контроля предполагает наличие предварительной информации о характере возможных дефектов, а также комплексирование с другими методами. Ниже рассмотрены примеры использования данного метода на одном и том же объекте для оценки различных типов конструктивных элементов. Объектом является береговое водосбросное сооружение Старобешевской ТЭС.

Конструктивными элементами, которые можно отнести к трехмерным бетонным конструкциям являются береговые устои. Толщина бетона в конструкции превышает 2 м и соизмерима с высотой устоя. Внешний вид одного из устоев представлен на рис. 3. На рис. 4 представлен отдельный его фрагмент с поверхностной трещиной и результаты виброакустической диагностики этого участка.



Рис. 3 – Береговой устоя, как трехмерный бетонный объект



а)

11	12	15	18	26	17
10	11	14	22	34	13
13	15	35	31	33	14
12	14	28	24	37	14
11	12	32	27	17	12
12	14	18	23	21	12
11	14	12	11	14	

б)

Рис. 4 – Фрагмент поверхности устоя с трещиной;  
а) – трассировка трещины по бетону б) – результаты вибродиагностики

Внешнее проявление трещины не позволяло установить характер ее пространственной ориентации в теле устоя. Выяснить ориентацию позволили результаты виброакустической диагностики. На фрагмент развертки поверхности устоя нанесены значения информативного параметра (количество свободных колебаний с амплитудой выше определенного порога). Теория и экспериментальные исследования свидетельствуют о возрастании данного параметра при

ухудшении условий оттока энергии от точки возбуждения в среду, что имеет место при наличии трещин и полостей. Зона повышенных значений параметра выделена пунктиром и согласно рис. 4б расположена асимметрично по отношению к выходу трещины на поверхность. Это показало, что трещина пересекает устой под углом и позволило определить границы закола, а также разработать мероприятия по предотвращению разрушения устоя.

Пример диагностики двумерной конструкции, где ее состояние определяется граничными условиями по контуру, а также результаты вибродиагностики представлены на рис. 5.

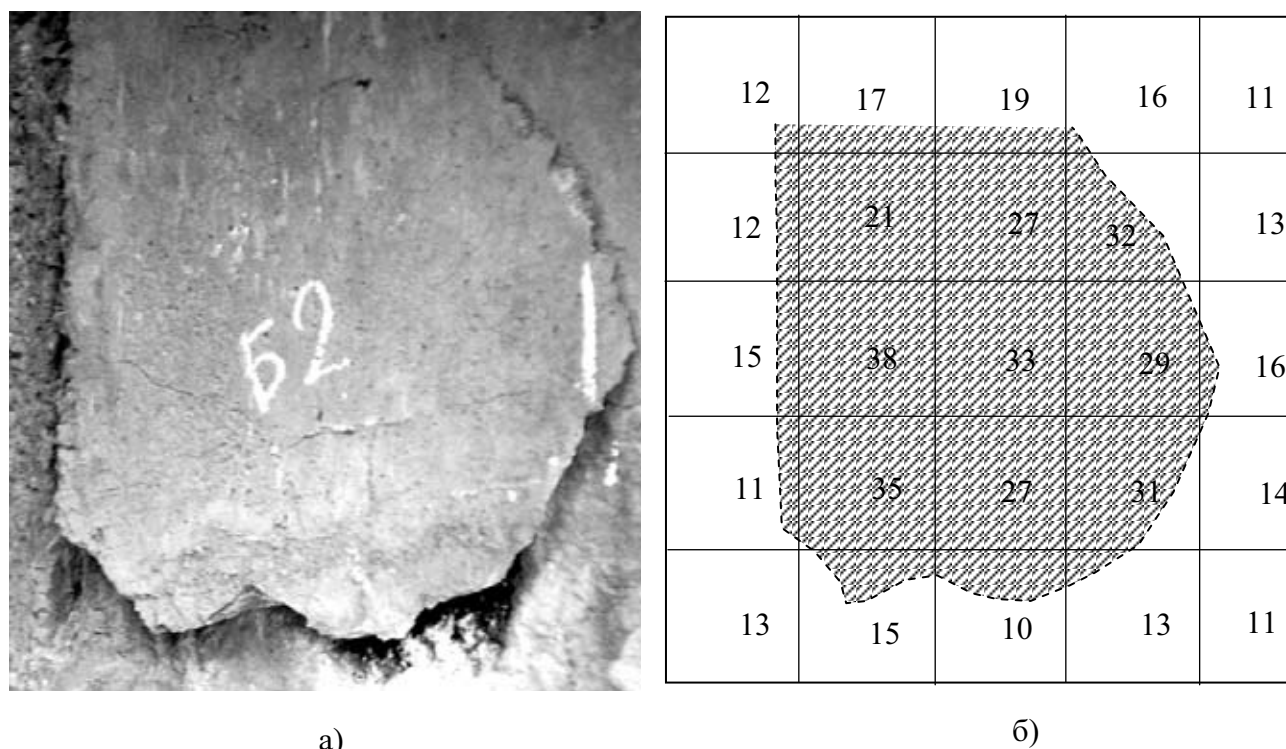


Рис. 5 – Фрагмент поверхности быка с отслоением:  
а) – внешний вид; б) – результаты вибродиагностики

Результаты вибродиагностики бетонного быка показывают, что отслоившийся фрагмент потерял жесткую связь с телом быка с трех сторон и удерживается за счет сохранения сцепления по четвертой стороне. Они также свидетельствуют, что отслоение произошло по всей площади выделенного трещинами участка поверхности быка (рис. 5б).

Примером элементов, где аномалии выражены в изменении граничных условий на одной из плоскостей, являются плиты покрытия низового откоса сооружения. Наличие полостей под плитами, возникшее за счет развития геофильтрации в подстилающей толще, приводит к уменьшению демпфирования плиты при возникновении в ней колебаний, вследствие чего возрастает их амплитуда и увеличивается продолжительность колебательного процесса.

Один из фрагментов покрытия с результатами виброакустической диагно-

стики представлен на рис. 6. Выявлена область пустотности на стыке смежных плит, выделенная на рисунке штриховкой. Вследствие перераспределения нагрузок в плитах на указанном участке возникли трещины.

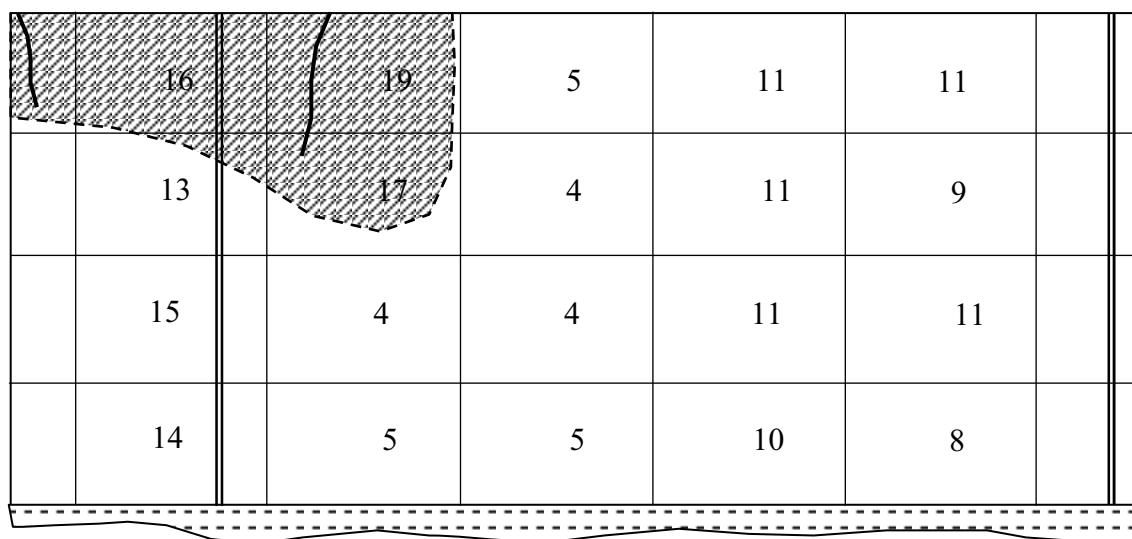


Рис. 6 – План фрагмента покрытия низового откоса с результатами виброакустической диагностики

Использование виброакустической диагностики позволяет решать широкий круг задач, связанных с оценкой состояния бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Предварительное выполнение виброакустической диагностики на больших площадях значительно снижает объем контрольного бурения и других традиционных методов контроля.

Результаты диагностики объекта положены в основу проекта ремонтно-восстановительных работ с применением тампонажа пустот, цементации трещин и торкретирования бетонной поверхности конструкций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Про захист населення від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. – Закон України № 1809-3 від 08.07.2002 р.
2. Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж. – Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.1997.
3. ИСО 7626-5-99. Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Измерения, использующие ударное возбуждение возбудителем, не присоединенным к конструкции.
4. 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.