

**КОМПЛЕКСНЫЕ ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЯ ПО
ДИАГНОСТИКЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

Романов А.А., Мишутин А.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса), **Усаченко Б.М., Сергиенко В.Н.** (НПП Технополис, г. Днепрпетровск)

Рассмотрены основные принципы и разработана методика диагностики железобетонных конструкций объектов мелиоративного и гидротехнического назначения. Предложены рекомендации по восстановлению бетона.

Определенный подъем экономики в 60-ые - 70-ые годы прошедшего столетия характеризуется строительством на Украине многих крупных объектов гидромелиоративного назначения. К их числу относятся плотины водохранилищ, насосные станции, водопропускные сооружения, магистральные каналы. Экономические трудности в государстве в период его становления обусловили снижение расходов на выполнение профилактических ремонтных работ, что постепенно привело к ухудшению технического состояния объектов. При строительстве указанных сооружений используются преимущественно бетонные и железобетонные конструкции. Снижение их конструктивной прочности, вызванное фактором времени, определяет необходимость регулярного тщательного обследования.

Правительство и Кабинет Министров Украины издало ряд нормативных документов, направленных на предотвращение аварий на объектах повышенной опасности, к которым отнесены и крупные гидротехнические сооружения [1-3]. Как показывает опыт, ликвидация последствий аварий, вызванных частичным или полным разрушением конструкций, обходится намного дороже своевременного выполнения ремонтно-профилактических мероприятий на заранее определенных, потенциально опасных участках.

Для диагностики бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений используется комплексная методика, включающая выполнение визуальных наблюдений, инструментальных измерений линейных величин, а также виброакустической диагностики.

Процесс выполнения работ по диагностике гидромелиоративного сооружения разбивается на несколько этапов:

- а) предварительное ознакомление с объектом;
- б) выполнение геодезических работ в пределах площадки объекта;
- в) визуальный осмотр сооружения с письменной и фотографической регистрацией выявленных аномалий;
- г) выполнение приборной диагностики;
- д) камеральная компьютерная обработка массива данных;
- е) системный анализ данных после их первичной обработки и построение виртуальной модели исследуемого объекта;
- ж) определение исходных данных для составления проекта ремонтно-восстановительных работ.

На этапе предварительного ознакомления с объектом изучают имеющуюся проектную документацию, результаты геодезических и гидротехнических наблюдений, выполняемых специалистами предприятия, а также результаты предыдущих обследований с участием сторонних организаций. На этом же этапе оценивают возможности использования различных методов контроля и ориентировочный объем работ.

Геодезические работы выполняются с целью создания временной опорной сети на площадке исследуемого объекта, к которой будет выполнена привязка полученных в процессе дальнейшего выполнения работы результатов наблюдений и измерений. Опорная сеть строится в плане, как правило, с одинаковым шагом в двух взаимно перпендикулярных направлениях и таким образом, чтобы имеющиеся на объекте пикеты попадали в узловые точки сети. При наличии системы реперов производится нивелирование с целью определения абсолютных или относительных высотных отметок узловых точек.

В процессе визуального осмотра бетонных и железобетонных конструкций фиксируют на заранее заготовленном плане объекта в целом или отдельных его частей следующие дефекты:

- а) участки поверхностного разрушения бетона;
- б) участки обнажения арматуры;
- в) трещины в конструкциях;
- г) места явных деформаций конструкции;
- д) локальные и протяженные участки фильтрации воды с характеристикой ее интенсивности;
- е) участки поверхностной сульфатации бетона;
- ж) частичное или полное разрушение швов между смежными двумерными бетонными конструкциями.

Для возможности количественной характеристики степени нарушения выполняют необходимые линейные измерения: определение длины и раскрытия трещин, формы и размеров плоских дефектов, глубины нарушенного слоя поверхности бетона.

В качестве базового метода неразрушающего контроля для оценки состояния бетонных и железобетонных конструкций используется виброакустический метод [4]. Он является одной из разновидностей неразрушающего низкочастотного акустического контроля, базирующейся на анализе отклика всего объекта или его отдельных конструктивных элементов на внешнее возбуждение в виде механического импульса.

В рамках разработанной авторами методики для возбуждения конструкции используется исключительно одиночный удар. Регистрация колебаний осуществляется с использованием контактного приемника на расстоянии порядка 1 м от точки удара.

Для контроля состояния конструкции используются следующие информативные параметры:

а) начальная и средняя за интервал анализа сигнала амплитуда свободных колебаний;

б) частота максимума спектральной плотности собственных колебаний возбужденного ударом конструктивного элемента;

в) продолжительность пакета свободных затухающих колебаний конструкции после ее импульсного механического возбуждения.

Для оценки в качественном плане прочностных свойств среды используется определение времени упругого взаимодействия бойка специальной формы с поверхностью исследуемого объекта.

Основными категориями дефектов конструкции, выявляемыми виброакустическим методом, являются:

а) внутренние нарушения сплошности (трещины, расслоения, каверны);

б) полости, как воздушные, так и заполненные водой, в прилегающей к данному конструктивному элементу податливой среде (грунт, песок, щебень и т. п.);

в) снижение жесткости системы конструктивных элементов.

Предпосылками к применению виброакустического метода являются:

а) возникновение трещин на поверхности конструкции;

б) выпучивание поверхности плоской бетонной конструкции;

в) "бунение" плоской конструкции, граничащей с податливой средой, при нанесении удара;

г) появление локальных увлажненных участков на стенах и днище заглубленных сооружений.

Особенностью виброакустического метода является отсутствие универсальных критериев при оценке состояния объекта. Такая оценка производится путем сравнения значения информативного параметра на обследуемом конструктивном элементе, с опорным, которое характерно для заведомо качественного эталонного элемента.

Многообразие объектов гидромелиоративного назначения не позволяет разработать какие-то общие методические рекомендации по контролю объекта в целом. Авторами разрабатывается и внедряется в практику поэлементно-функциональный подход, согласно которому любой контролируемый объект рассматривается как структура с определенной иерархией, неделимыми элементами которой являются простые в методическом отношении субобъекты. Наиболее эффективен данный подход при диагностике систем, состоящих из незначительного числа разновидностей большого количества однотипных элементов. Примером может быть совокупность плит противотрационного покрытия бортов оросительных каналов.

Характеристиками контролируемой иерархической структуры в виде сооружения гидромелиоративного назначения являются:

- а) геометрические размеры системы;
- б) набор типов контролируемых элементов последнего уровня;
- в) характер и количество внешних связей;
- г) характер и количество связей между элементами.

Элемент — это низшее звено иерархической системы. Признаками элемента являются:

- а) возможность его идеализации в виде сравнительно простой математической модели;
- б) конструктивная неделимость;
- в) отсутствие (в идеализированном варианте) внутренних связей;
- г) минимальное количество внешних связей;
- д) доминирующее влияние одной внешней связи, наиболее существенной для оценки состояния объекта;
- е) возможность описания доминирующей внешней связи либо одной количественной характеристикой, либо качественной с набором градаций.

Одной из ключевых категорий при поэлементно-функциональном подходе является эталонный элемент. Его важнейшей характеристикой является соответствие некоторому, определенному проектом «нормальному» (качественному, эталонному) состоянию.

Наиболее характерными конструктивными элементами гидротехнических объектов являются следующие:

- а) трехмерные бетонные (железобетонные) конструкции, чаще всего основания сооружений или мощные фундаменты под опоры;
- б) двумерные бетонные (железобетонные) конструкции - плиты;
- в) одномерные бетонные (железобетонные) конструкции - колонны, балки, бетонные трубы;

Поэлементно-функциональный подход в качестве объектов исследования рассматривает также системы конструктивных элементов, наиболее простыми из которых являются:

- а) плита - податливый массив;
- б) плита - плита;
- б) колонна - бетонное основание;
- в) плита - бетонное основание.

По аналогии с понятием однотипных конструктивных элементов вводится понятие однотипных систем конструктивных элементов сооружений гидромелиоративного назначения, для которых остаются в силе все перечисленные ранее формальные требования. В рамках данной статьи рассматриваются простые системы, состоящие из двух элементов.

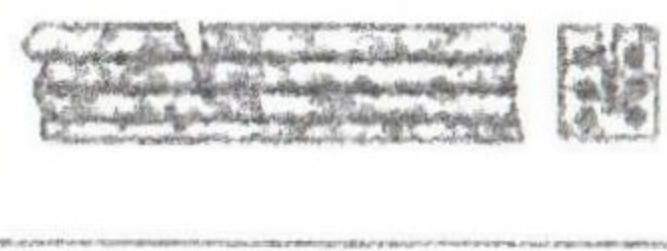
Основные дефекты типичных конструктивных элементов гидромелиоративных сооружений и их наиболее простых систем представлены в табл. 1

Применяемый в качестве основного метода неразрушающего контроля виброакустический может быть реализован в нескольких вариантах, отличающихся техническим обеспечением и методическими особенностями.

Главный принцип выбора оптимального варианта - его высокая информативность. Она обеспечивается выполнением следующих условий:

- а) значительной разностью средних значений информативного параметра, соответствующего использованному варианту контроля, для эталонного элемента и для заведомо дефектного элемента;
- б) значительным превышением указанной в предыдущем пункте разности над среднеквадратичной погрешностью измерений при их приемлемом количестве в одной точке.

Основные дефекты конструктивных элементов и систем гидромелиоративных сооружений

Элемент (система)	Дефекты	Схематическое представление
трехмерная бетонная конструкция	внутренние трещины, расслоения, раковины	
двумерная конструкция - плита	поверхностные и внутренние трещины, расслоения	
одномерная конструкция - колонна, балка	поверхностные и внутренние трещины, расслоения	
плита - податливый массив	полость в грунтовом массиве на границе с плитой	
плита - плита	разрушение соединительного шва между плитами	
колонна - бетонное основание	уменьшение жесткости соединения	
плита - бетонное основание	уменьшение жесткости соединения	

Сравнение количественных значений информативного параметра для совокупности элементов гидромелиоративных сооружений является корректным лишь тогда, когда они являются однотипными элементами не только по выполняемой ими функции, но и по геометрическим размерам, свойствам материала, характеру связей. Примеры однотипных элементов: секции водопропускного сооружения, стандартные заводские плиты противофильтрационного покрытия на верховом откосе плотины. Основной принцип контроля заключается в сравнении усредненных значений для любого контролируемого элемента из серии

данного типа со значением для эталонного элемента из этой же серии. В отличие от методик, разработанных для конкретных объектов, разрабатываемый методический подход не предполагает наличия заранее известных критериальных характеристик, а дает указания на способ их получения непосредственно при выполнении измерений. При этом предполагается широкое использование компьютерных методов обработки информации.

При выполнении обследования сложноструктурного объекта предусматривается выполнение вибродиагностики всей совокупности однотипных конструктивных элементов вне зависимости от места их расположения. При этом должны оставаться неизменными методика и технические средства.

Влияние дефектов на изменение параметров, регистрируемых средствами виброакустического контроля, представлено в табл. 2.

Таблица 2

Связь параметров с дефектами конструктивных элементов

Дефект конструкции	Характер изменения параметра		
	начальная амплитуда	резонансная частота	длительность колебаний
внутренние расслоения	возрастает	снижается	возрастает
поверхностные трещины	возрастает	изменяется случайно	возрастает
полость за плитой	возрастает	снижается	возрастает
разрушение шва, разделяющего базу измерения	снижается	без существенных изменений	снижается
уменьшение жесткости соединения	возрастает	снижается	возрастает

Для определения в полевых условиях указанных в табл. 2 информативных параметров разработаны специализированные средства контроля. Портативный спектроанализатор одиночного акустического сигнала ИСК-1 позволит определять резонансную частоту колебаний и

амплитуду спектральных составляющих. Для определения длительности колебательного процесса служит аппаратура ДИКОИ.

Для трехмерных конструкций расположение точек контроля (точек нанесения удара) по возможности осуществляется по сетке, шаг которой выбирается из ряда: 0,5; 1; 2; 5 м. Расположение точек приема - по выбору оператора при условии поддержания установленной базы контроля. Пример расположения точек контроля представлен на рис. 1.

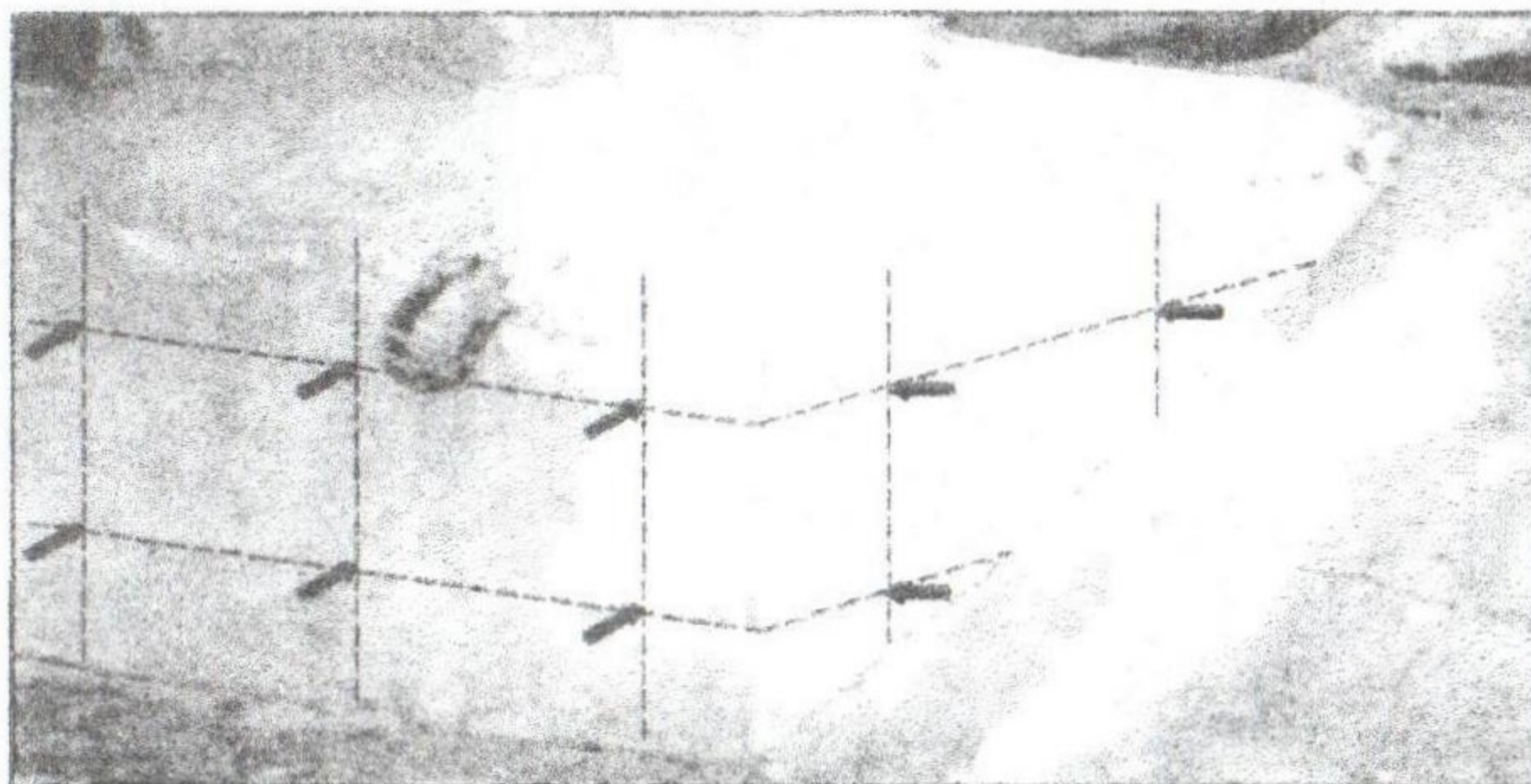


Рис. 1. Схема расположения точек возбуждения при виброакустическом контроле трехмерного объекта

Для вибродиагностики плит с размерами, существенно превышающими базу контроля, точки располагают по квадратной сетке с шагом 2 - 5 м. Для детальной вибродиагностики явно аномальных участков рекомендуется сгущение точек с переходом на шаг сетки в 1 м. Пример расположения точек при контроле плиты противофильтрационного покрытия с нарушением на границе дан на рис. 2.

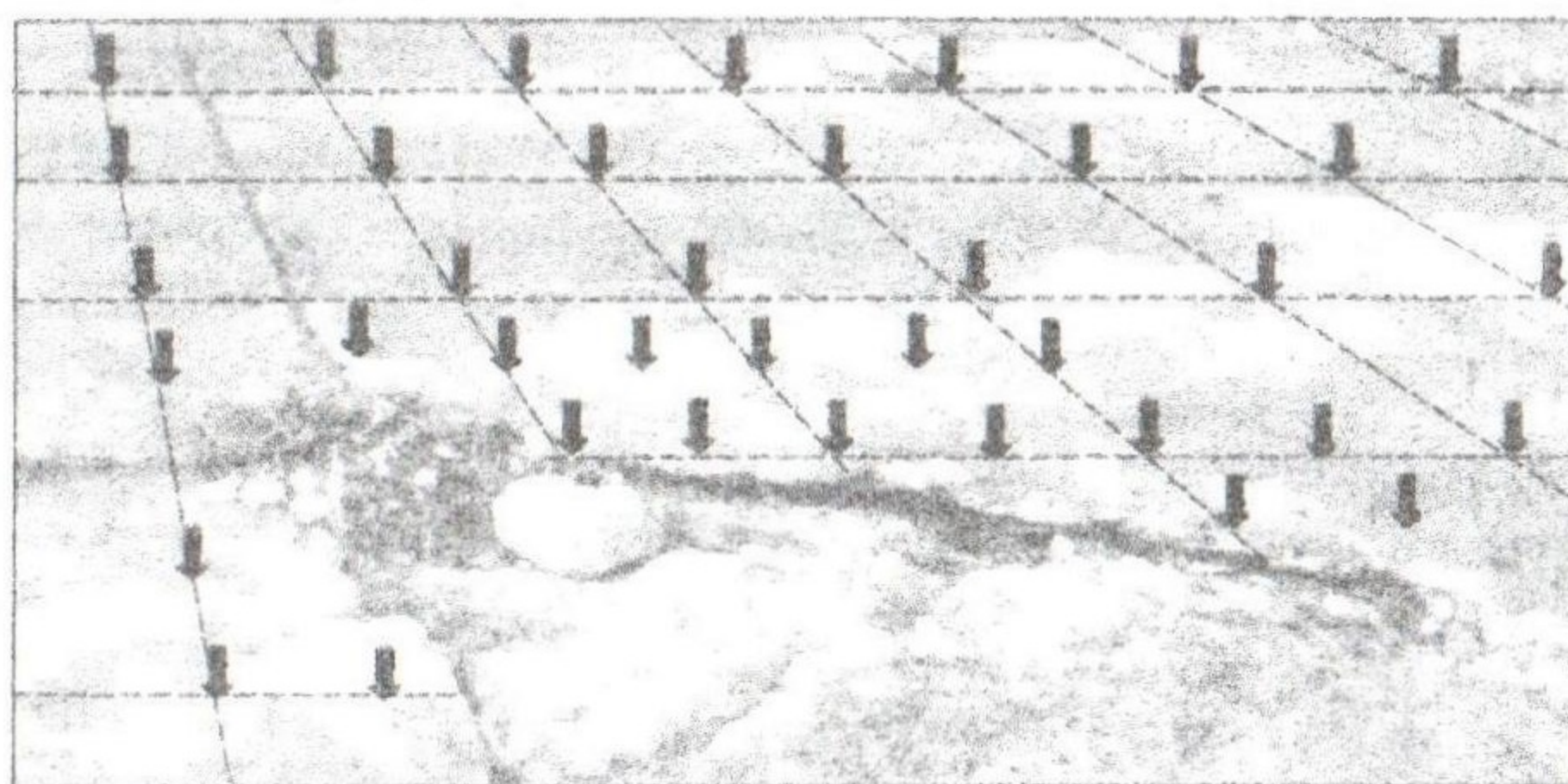


Рис. 2.

Схема

расположения точек возбуждения при виброакустическом контроле нарушенной плиты

Для контроля целостности протяженных одномерных объектов типа колонн или балок точки контроля располагают равномерно с шагом 1 или 2 м на участке с одинаковым сечением, отступив от границы с другим сечением не менее чем на 0,5 м. При толщине конструктивного элемента более 0,5 м точки приема можно располагать с противоположной стороны относительно точки удара. Пример расположения точек удара при выполнении вибродиагностики колонн приведен на рис. 3.

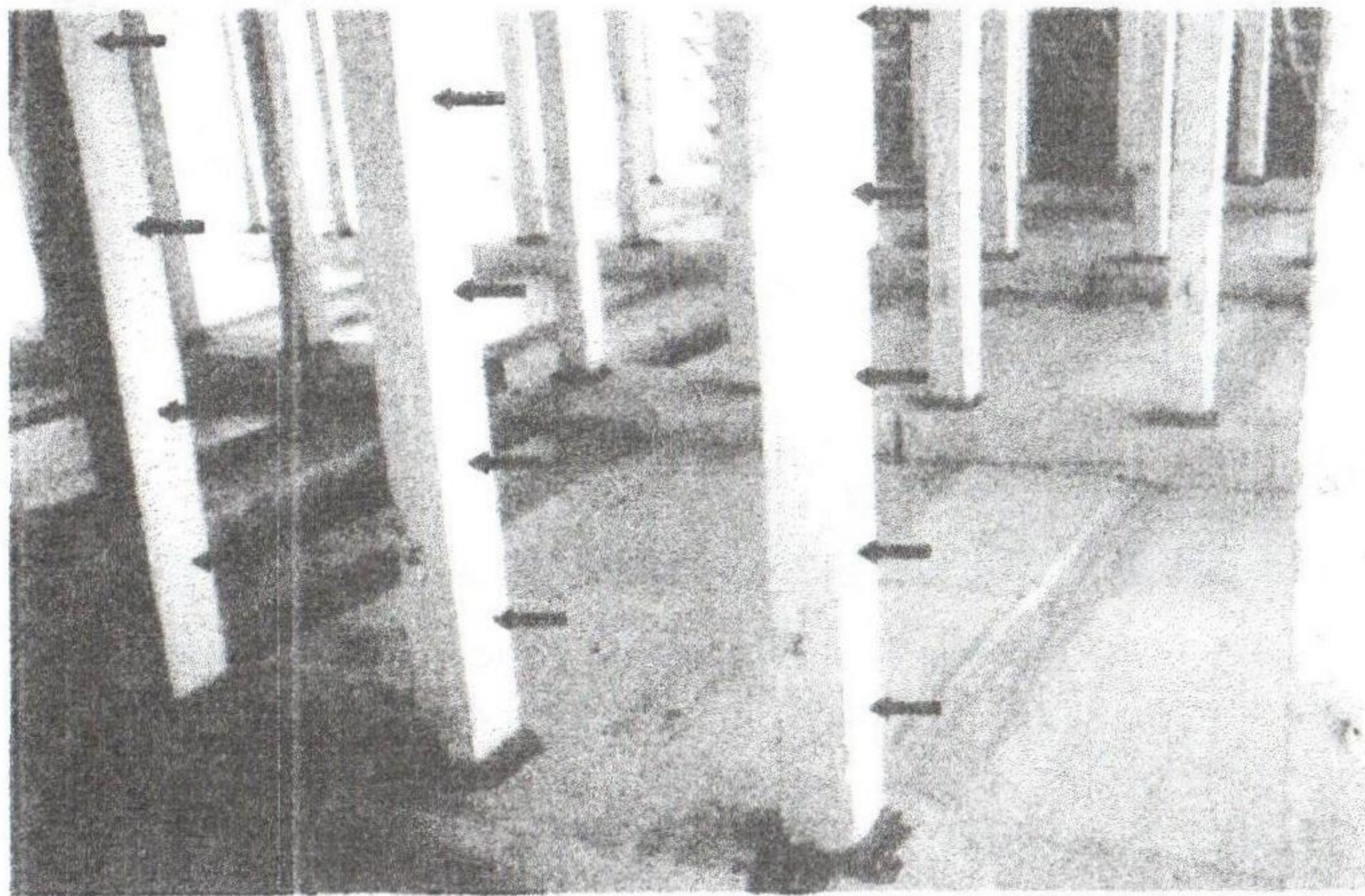


Рис. 3. Схема расположения точек возбуждения колебаний при вибродиагностике колонн

С использованием разработанной авторами комплексной методики контроля был успешно выполнен целый ряд работ по диагностике объектов гидромелиративного назначения во многих регионах Украины: в Донецкой, Днепропетровской, Херсонской, Николаевской, Кировоградской, Сумской областях, а также в Крыму и Закарпатье. Объектами обследования были: насосные станции на магистральных каналах (Каховский, Днепр-Донбасс, Днепр-Ингулец) и на осушительных системах в Закарпатье; плотины на крупных водохранилищах (Карабутовское, Краснопавловское), а также множество водопропускных сооружений и ростверка железобетонных причалов Николаевского торгового порта (рис. 4).

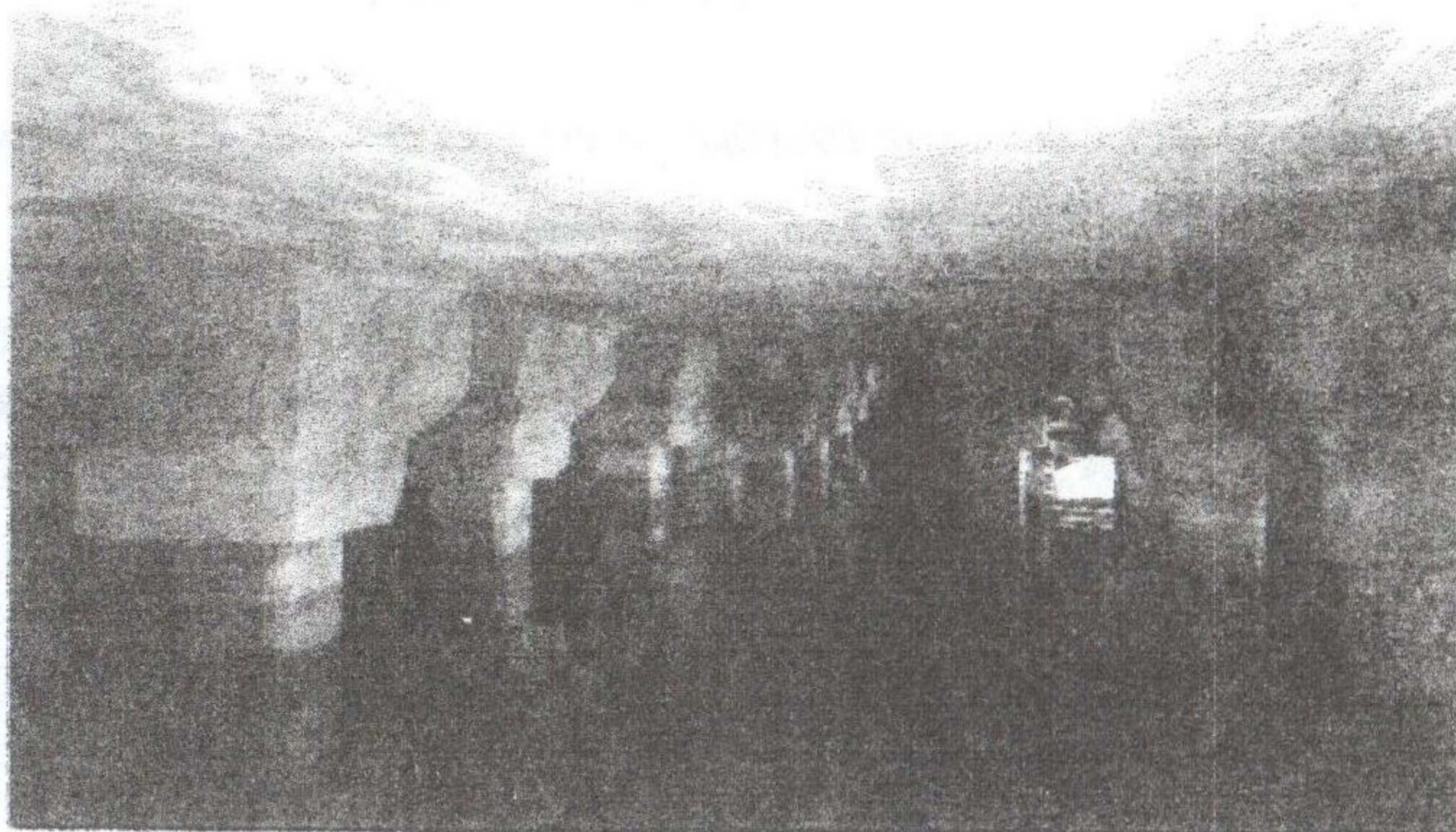


Рис. 4. Ростверк железобетонного причала после восстановления

Заключение. На основании технического обследования объектов с использованием неразрушающего метода контроля были разработаны рекомендации и восстановление железобетонных конструкций нижней части ростверка причалов [5].

Литература

1. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. - К.: НДІБВ, 1997. - 144 с.
2. Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж -- Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 р.
3. Про захист населення від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. - Закон України № 1809-3 від 08.07.2002 р.
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.
5. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных конструкций плавучих и портовых гидротехнических сооружений. – Одесса. ОЦНТЭИ, 2003. 292 с.