

УДК 504.064.36

Азаренко Е.В., Гончаренко Ю.Ю., Гончаренко Д.Г.

## МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И МЕХАНИЗМОВ

Предотвращение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера – одна из стратегических целей государственной политики Украины [1], реализация которой достигается путем решения комплексных административно-правовых, организационно-технических и научно-прикладных задач [2], а также проведением специализированных научных изысканий [3].

Принято [4] различать по видам и степени опасности следующие категории объектов и механизмов. К опасным объектам, как правило, относят боеприпасы (снаряды, мины, авиабомбы и др.), которые находятся на морском дне в прибрежной зоне и континентальном шельфе [5], в разломах горных пород и поверхностных почвах, обнаруживаемых во время строительных работ [6], в местах захоронений [7], а также в местах складирования боезапаса [8]. К опасным механизмам относятся отдельные производственные участки предприятий ядерно-топливного цикла и атомных электростанций Украины [9]. Для АЭС это, как правило, все технические устройства, обеспечивающие работу первого контура ядерных реакторов [10], для предприятий горнодобывающей отрасли – участки, связанные с переработкой и обогащением урановых руд [11], для других областей деятельности – это сфера применения источников ионизирующего излучения, а также складирования и утилизации радиоактивных отходов [12].

Для решения всех вышеперечисленных проблем в интересах предотвращения чрезвычайных ситуаций необходим оперативный контроль состояния объектов и диагностика оборудования. Решение подобных задач осуществляется методами неразрушающего контроля.

Целью данной работы является обобщение и классификация методов и способов неразрушающего контроля состояния опасных объектов и механизмов, основанных на фундаментальной акустике. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие частные научные задачи. Во-первых, проанализировать основные принципы – методологические основы акустики, с помощью которых реализуются различные виды прикладной деятельности, в том числе и контроль состояния. Во-вторых, рассмотреть с качественной точки зрения различные методы активной и пассивной акустики, используемые для контроля состояния объектов. В-третьих, систематизировать изложенную информацию и на ее основе предложить новые методы неразрушающего контроля – контроля состояния опасных объектов и механизмов на основе фундаментальной акустики.

В акустике принято разделять сферы деятельности и используемые в этих областях методы, способы и реализуемые на их основе технические средства по частотному диапазону и принципам получения (регистрации) информации.

По частотному диапазону области деятельности делятся на инфразвуковые (до 15–20 Гц), звуковые (от 20 Гц до 20 кГц), ультразвуковые (от 20 кГц до 200 кГц) и гиперзвуковые (свыше 200 кГц). В первом случае имеет место сейсмоакустика, методы которой используются для геологоразведочных работ, контроля состояния земной коры, регистрации и определения эпицентров землетрясений и др. Звуковая акустика используется в повседневной деятельности человека: и на работе, и в быту, так что на се-

годняшний день существование человечества без нее невозможно. Ультразвук уже не слышен человеком, но применяется повсеместно для контроля состояния объектов и механизмов во множестве технологических процессов. Это одно из основных средств, с помощью которого осуществляется неразрушающий контроль. Гиперзвуковая область деятельности – это регистрация колебаний, происходящих на молекулярном уровне.

По принципам регистрации информации в акустике принято разделять пассивные и активные методы. В первом случае фиксируются колебания, которые генерирует объект или механизм во время своей работы, а во втором – осуществляется принудительное зондирование объекта акустическими сигналами, по откликам которых составляется картина о состоянии исследуемого образца.

Каждый из классов и типов работающих механизмов (например, вентиляторы типа «ветерок», насосы типа НЦВ 160/80, электровакуумные приборы типа ГУ-50 или ГУ-64 и др.) имеют свой шумовой спектр, который, безусловно, изменяется в процессе эксплуатации, но сохраняет общую картину. Необходимо также отметить, что этот спектр для каждого механизма настолько же индивидуален, как и человеческий голос, то есть по нему можно идентифицировать каждый работающий механизм. Перед выходом механизма из строя на этапе, когда еще никаких отклонений в работе нет, спектр искажается: изменяется его интенсивность, появляются дискретные составляющие, увеличивается его протяженность по частоте и пр. (рис. 1).

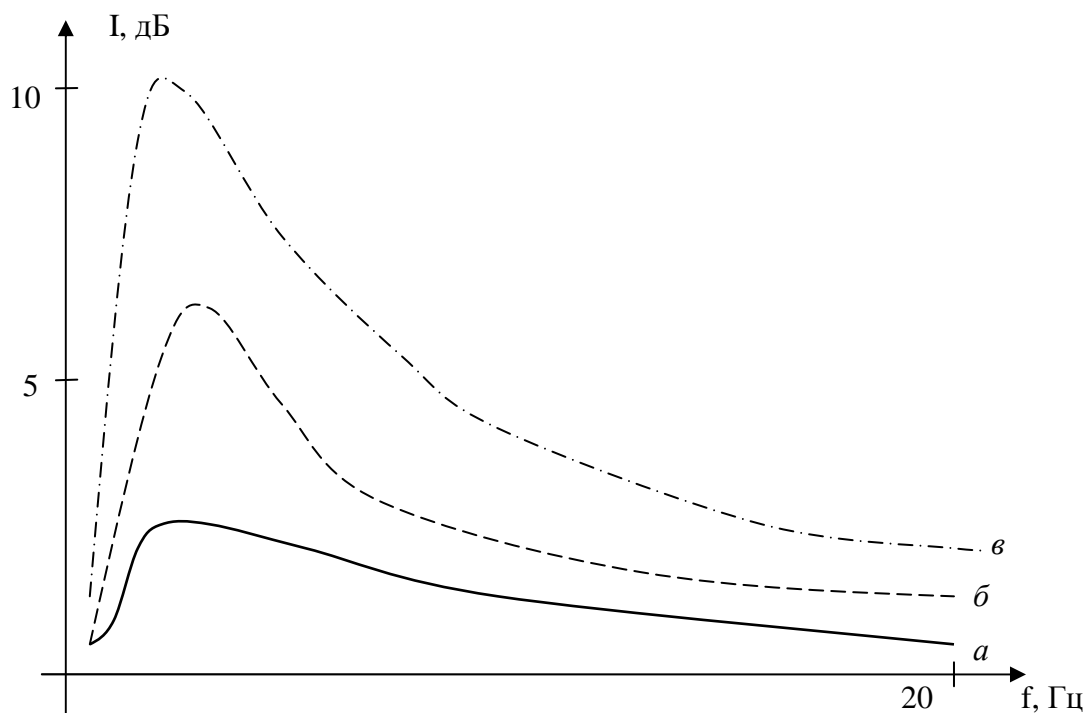


Рисунок 1 – Спектрограмма шума вентилятора «Ветерок»:  $a$  – нормальная работа;  $b$  – с искусственно поврежденным подшипником (за 80 мин. до выхода из строя);  $v$  – за 10 мин. до выхода из строя

Другими словами, проводя периодическое тестирование – снятие шумового спектра работающего механизма (агрегата) можно достоверно прогнозировать уменьшение надежности его работы. На рис. 2 приведены примеры спектров на одном из

участков лабораторного трубопровода, где  $a$  – нормальное состояние,  $b$  – появление капельной течи,  $c$  – образование свища.

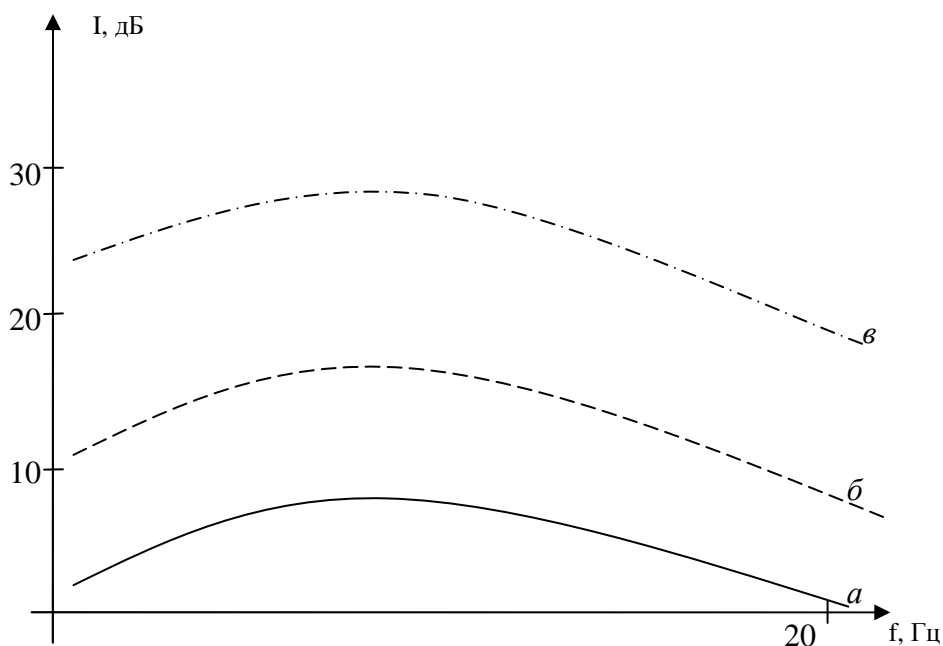


Рисунок 2 – Спектрограмма шума на лабораторном трубопроводе

Активная акустика, как было отмечено выше, основана на принудительном зондировании – излучении акустического сигнала. Это зондирование может быть непрерывным и дискретным – импульсным. Непрерывный сигнал может быть синусоидальным (на одной фиксированной частоте), с изменяющейся (плавающей) частотой или шумовым. Как правило, в приборах, реализующих метод акустической эмиссии, используется шумовой сигнал – белый шум, что позволяет по резонирующим частотам определить наличие и характер повреждений. Импульсное зондирование может осуществляться как с использованием тональных (одночастотных), шумовых (шумовое заполнение), многочастотных (пачка импульсов различной частоты), линейно частотно-модулируемых и др. По форме зондирующих сигналов импульсы могут быть прямоугольными, пилообразными, трапециевидными, колоколообразными и пр. В зависимости от используемых сигналов определяются те или иные виды повреждений сплошных конструкций.

Однако следует заметить, что методы, в которых зондирование происходит непосредственно в объект (например, трубопровод, корабельный сварной шов и т.д.) не дают достоверной оценки в случае, если исследуемый объект имеет сложную конфигурацию (артиллерийский снаряд, авиабомба, морская мина и др.). Обследование такого рода опасных объектов необходимо для решения других сложных задач, например, выбора способа их утилизации, определения условий хранения, расчета времени безопасного хранения и т.д. В этом случае необходимо использовать методы акустической голографии, для чего потенциально опасный объект помещают в переносной (раскладывающийся) гидроакустический бассейн, размеры которого могут быть  $(1,0 \div 2,0) \times (0,5 \div 1,0) \times (0,5 \div 1,0)$  до гораздо больших размеров, изготавливаемых под заказ. После заполнения его любой водой, в нем размещают набор штатных датчиков, определяемых конкретным видом голографической аппаратуры, как показано на рис. 3.

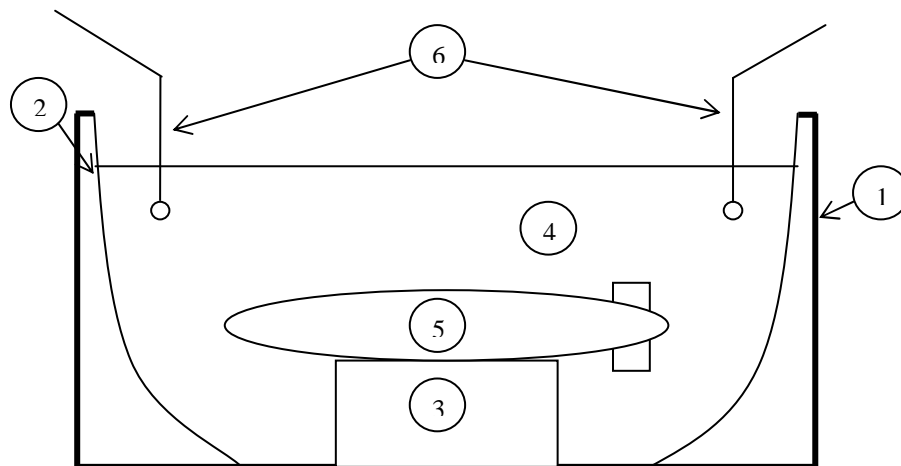


Рисунок 3 – Схема гидроакустического голографического стенда:  
 1 – раскладывающийся каркас; 2 – вкладываемое звукопоглощающее покрытие; 3 – штатив;  
 4 – вода; 5 – опасный объект; 6 – акустические датчики

В результате такого обследования все дефекты на поверхности и в оболочке (корпусе) опасного объекта сложной конфигурации достоверно определяются. Другими словами, при выполнении гидроакустического голографического исследования опасного объекта в относительно короткие временные интервалы определяется качественная картина состояния его корпуса.

### Выводы

Для оперативного неразрушающего контроля состояния опасных объектов и механизмов на основе фундаментальной акустики предлагается использовать два метода, а именно: пассивной шумовой спектрометрии и гидроакустической голографии. В первом случае использование шумовых спектров при дискретном тестировании работающих агрегатов позволяет заблаговременно прогнозировать их возможный выход из строя. Во втором случае использование переносных (раскладных) гидроакустических бассейнов и переносной гидроакустической голографической аппаратуры позволяет достаточно быстро производить обследование опасных объектов сложной конфигурации и определять повреждения их корпусов.

### Литература

1. Закон України «Про основи національної безпеки». – [www.nbvw.gov.ua](http://www.nbvw.gov.ua).
2. Азаренко Е.В., Маньковский В.А., Подтынных В.Н., Бурдейный А.А. Математическая оценка рисков различной природы // Сб. науч. тр. СИЯЭиП.– Севастополь: СИЯЭиП, 2003.– № 9.– С. 270–277.
3. Азаренко Е.В., Андреев В.А., Подтынных В.Н. Трактовка рисков в терминах теории статистических решений // Научный вестник. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2004.– № 7.– С. 52–55.
4. Азаренко Е.В., Третьякова Л.В., Дивизинюк М.М., Андреев В.А. Современные концепции природных и техногенных катастроф на примере Крыма // Научный вестник. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2004. – № 7. – С. 85–96.
5. Азаренко Е.В. Методология акустического мониторинга Азово-Черноморского бассейна // Сб. науч. тр. СНИЯЭиП.– Севастополь: СНИЯЭиП, 2005.– Вып. 15.– С. 195–200.

6. Азаренко Е.В., Орлова М.И. Кинематика локальных горизонтальных движений средне-верхнедевонских осадочно-вулканогенных и пермских гипабиссальных образований зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком украинского щита по палеомагнитным данным // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП.– Вып. 3(27).– Севастополь, СНУЯЭиП, 2008.– С. 40–48.

7. Азаренко Е.В., Ожиганова М.И., Ожиганов Ю.Г., Душко В.Р., Вакерина В.В. Перспективы защиты морских сооружений от локальных коррозионных разрушений // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП.– Вып. 4(24).– Севастополь, СНУЯЭиП, 2007.– С. 140 – 144.

8. Азаренко Е.В. Система мониторинга прибрежных морских вод // Зб. наук. пр. «Геохімія та екологія» / Інститут геохімії навколишнього середовища Київ, 2007.– Вип. 14.– С. 145–149.

9. Азаренко Е.В., Дивизинюк М.М., Григорьева В.Н., Ляхов М.А. Обобщенные подходы к моделированию чрезвычайных ситуаций техногенного характера с радиоактивным загрязнением местности // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП.– Вып. 3(27).– Севастополь, СНУЯЭиП, 2008.– С. 207–214.

10. Азаренко Е.В., Дивизинюк М.М., Ляхов М.А., Смычков Е.Е. Неразрушающий контроль циркуляционных трубопроводов на АЭС // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП.– Вып. 2(30).– Севастополь, СНУЯЭиП, 2009.– С. 9–13.

11. Азаренко Е.В., Акимов А.Н., Бржезинский В.А., Маньковский В.А. Способ вторичного использования горных отвалов уранодобывающих шахт // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП.– Вып. 8.– Севастополь: СНУЯЭиП, 2008.– С. 5–13.

12. Акимов А.М., Азаренко Е.В., Третьякова Л.В. Радиационное зонирование территорий Украины, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // Збірник наукових праць СНУЯЭиП.– Севастополь: СНУЯЭиП, 2010.– Вип. 18.– С. 26–34.

#### Bibliography (transliterated)

1. Zakon Ukraïni «Pro osnovi nacional'noi bezpeki». – www.nbvw.gov.ua.
2. Azarenko E.V., Man'kovskij V.A., Podtynnyh V.N., Burdejnyj A.A. Matematicheskaja ocenka riskov razlichnoj prirody Cb. nauch. tr. SIIJaJeiP.– Sevastopol': SIIJaJeiP, 2003.– # 9.– p. 270–277.
3. Azarenko E.V., Andreev V.A., Podtynnyh V.N. Traktovka riskov v terminah teorii statisticheskikh reshenij Nauchnyj vestnik. – Sevastopol': SNIJaJeiP, 2004.– # 7.– p. 52–55.
4. Azarenko E.V., Tret'jakova L.V., Divizinjuk M.M., Andreev V.A. Sovremennye koncepcii prirodnyh i tehnogennyh katastrof na primere Kryma Nauchnyj vestnik. – Sevastopol': SNIJaJeiP, 2004. – # 7. – p. 85–96.
5. Azarenko E.V. Metodologija akusticheskogo monitoringa Azovo-Chernomorskogo bassejna Cb. nauch. tr. SNIJaJeiP.– Sevastopol': SNIJaJeiP, 2005.– Vyp. 15.– p. 195–200.
6. Azarenko E.V., Orlova M.I. Kinematika lokal'nyh gorizontal'nyh dvizhenij sredne-verhnedevonskih osadochno-vulkanogennyh i permskih gipabissal'nyh obrazovanij zony sochlenenija Donbassa s Priazovskim blokom ukrainskogo shhita po paleomagnitnym dannym Cb. nauch. tr. SNUJaJeiP.– Vyp. 3(27).– Sevastopol', SNUJaJeiP, 2008.– p. 40–48.
7. Azarenko E.V., Ozhiganova M.I., Ozhiganov Ju.G., Dushko V.R., Vakerina V.V. Perspektivy zashhity morskikh sooruzhenij ot lokal'nyh korrozionnyh razrushenij Cb. nauch. tr. SNUJaJeiP.– Vyp. 4(24).– Sevastopol', SNUJaJeiP, 2007.– p. 140 – 144.

8. Azarenko E.V. Sistema monitoringa pribrezhnyh morskikh vod Zb. nauk. pr. «Geohimija ta ekologija» Institut geohimii navkolishn'ogo seredovishha Kiïv, 2007.– Vip. 14.– p. 145–149.

9. Azarenko E.V., Divizinjuk M.M., Grigor'eva V.N., Ljahov M.A. Obobshhennye podhody k modelirovaniju chrezvyčajnyh situacij tehnogenogo haraktera s radioaktivnym zagrjazneniem mestnosti Cb. nauch. tr. SNUJaJeiP.– Vyp. 3(27).– Sevastopol', SNUJaJeiP, 2008.– p. 207–214.

10. Azarenko E.V., Divizinjuk M.M., Ljahov M.A., Smychkov E.E. Nerazrushaju-shhij kontrol' cirkuljacionnyh truboprovodov na AJeS Cb. nauch. tr. SNUJaJeiP.– Vyp. 2(30).– Sevastopol', SNUJaJeiP, 2009.– p. 9–13.

11. Azarenko E.V., Akimov A.N., Brzhezinskij V.A., Man'kovskij V.A. Sposob vtorichnogo ispol'zovanija gornyh otvalov uranodobyvajushhih shaht Cb. nauch. tr. SNUJaJeiP.– Vyp. 8.– Sevastopol': SNUJaJeiP, 2008.– p. 5–13.

12. Akimov A.M., Azarenko E.V., Tret'jakova L.V. Radiacionnoe zonirovanie territorij Ukrainy, podvergshijsja radioaktivnomu zagrjazneniju vsledstvie avarii na Chernobyl'skoj AJeS Zbirnik naukovih prac' SNUJaEtaP.– Sevastopol': SNUJaE-taP, 2010.– Vip. 18.– p. 26–34.

УДК 504.064.36

Азаренко О.В., Гончаренко Д.Г., Гончаренко Ю.Ю.

### **МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І МЕХАНІЗМІВ**

Пропонуються два нові методи неруйнівного контролю стану небезпечних об'єктів і механізмів, які працюють, на основі фундаментальної акустики. Перший використовує спектральний аналіз шумів агрегатів, які працюють, другий – гідроакустичну голографію.

Azarenko O.V., Goncharenko D.G., Goncharenko Ju. Ju.

### **METHODS OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF THE STATE DANGEROUS OBJECTS AND MECHANISMS**

Two new methods of non-destructive control of the state of dangerous objects and working mechanisms are offered on the basis of fundamental acoustics. The first uses the spectrology of noises of working aggregates, second, – hydroacoustic holography.