

СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ БЕЗ «МЕРТВОЙ» ЗОНЫ

С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». 61002, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2.
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com, s.plesnetsov@gmail.com

Разработан способ обнаружения поверхностных, приповерхностных и подповерхностных дефектов в металлоизделиях в слое толщиной до 30...50 мм. Для его реализации использован комбинированный электромагнитно-акустический преобразователь, одна часть которого излучает импульсы объемных волн, а вторая – принимает поверхностные и объемные волны. Экспериментальные исследования метода и преобразователя подтвердили высокую эффективность выявления дефектов в поверхностном слое. Амплитуда принятых эхосигналов относительно уровня шума достигала 54 дБ. Метод и преобразователи могут применяться при дефектоскопии практически любых металлоизделий в ручном и автоматическом режимах. Библиогр. 10, рис. 3.

Ключевые слова: дефект, электромагнитно-акустический преобразователь, ультразвуковые волны, импульс, поверхностные волны, дифракция, трансформация

В настоящее время происходит постоянное усложнение технологий производства изделий [1–4], что требует, в свою очередь, существенного улучшения характеристик средств контроля их качества. Традиционный ультразвуковой контроль не всегда обеспечивает высокую надежность выявления дефектов. Продолжает интенсивно развиваться электромагнитно-акустический (ЭМА) способ контроля металлоизделий [5–8], который имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными ультразвуковыми методами диагностики.

Одной из сложных проблем, как для традиционного, так и для ЭМА контроля является выявление дефектов в поверхностных и приповерхностных слоях металлоизделий. Это обусловлено наличием определенной длительности зондирующего импульса и следующих за ним импульсов переходных процессов в ультразвуковом преобразователе и блоках дефектоскопа. Решить эту проблему путем сокращения длительности зондирующих импульсов и длительности переходных процессов в полной мере не удалось.

Целью работы является разработка метода и преобразователей для бесконтактного электромагнитно-акустического ультразвукового контроля поверхностных слоев металлоизделий без «мертвой» зоны.

Содержание, анализ исследований и разработки. Одним из существенных преимуществ ЭМА способа является отсутствие необходимости использования контактной жидкости. Это дает возможность принципиальным образом решить проблему наличия «мертвой» зоны.

Известно, что при взаимодействии ультразвуковых волн с дефектом в виде трещин, неметал-

лических включений, газовых пузырей и тому подобных, происходит их дифракция и трансформация. Поскольку дефект располагается возле поверхности изделия, то ультразвуковые импульсы, «переизлученные» дефектом (рис. 1), падают на поверхность ввода в виде сдвиговых C_i (или) продольных C_l волн, которые в свою очередь на границе изделия трансформируются в поверхностные волны C_r (рис.1, а). На рис. 1: B_z – поляризуемая индукция магнитного поля, H_z – напряженность переменного высокочастотного магнитного поля. B_z и H_z формируются возбуждающим ЭМА преобразователем (ЭМАП). В силу отсутствия на поверхности объекта контроля (ОК) жидкости, поверхностные волны распространяются от дефекта в разные стороны, и легко обнаруживаются приемным ЭМАП на больших расстояниях. При этом частота заполнения импульсов принимаемых поверхностных волн соответствует частоте возбуждаемых импульсов. Длительность принимаемых импульсов может увеличиваться, что, при прочих равных условиях, позволяет лучше выделять их на фоне помех и шумов. Экспериментальные исследования описанных физических процессов позволили установить, что величина амплитуды сигнала, принятого на расстоянии, по отношению к шуму (в зависимости от состояния поверхности ОК) может достигать 30 дБ и более.

При наличии в ОК дефектов, выходящих на поверхность (рис. 1, б), возбуждение поверхностных волн происходит непосредственно на кромке трещины. Как показали экспериментальные исследования, при контроле ферромагнитных изделий за счет повышенного значения индукции поляризуемого магнитного поля на кромке трещины амплитуда принимаемой поверхностной

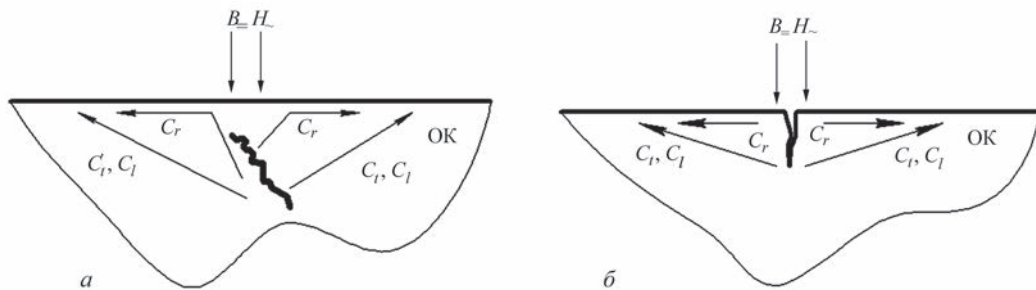


Рис. 1. Принцип ЭМА обнаружения дефектов в поверхностных слоях металлоизделий

волны относительно уровня шума может превышать 40 дБ.

Аналогичный процесс возбуждения поверхностных волн реализуется при наличии дефектов на внутренней поверхности оболочек, труб и пластин толщиной 30...50 мм.

В описанном методе контроля возбуждающий и приемный ЭМА преобразователи изготавливаются отдельно. Соответственно, согласование возбуждающего преобразователя с выходом генератора зондирующих импульсов и приемного преобразователя с входом усилителя можно оптимизировать. Исключается воздействие мощного зондирующего импульса на вход усилителя полезного сигнала.

Процесс контроля с использованием разработанного способа может быть следующим. На изделие устанавливается приемный ЭМАП для фиксации поверхностных волн. Второй ЭМАП сканирует изделие, возбуждая, например, объемные сдвиговые колебания нормально контролируемой поверхности участка. При попадании в зону возбуждаемого акустического поля поверхностных или подповерхностных дефектов приемный ЭМАП зафиксирует импульсы поверхностных волн. Амплитуда принятых импульсов будет зависеть от размеров обнаруженного дефекта, его ориентации относительно возбужденного акустического поля, материала, из которого состоит дефект, состояния поверхности ОК. При наличии тонких вытянутых трещин наиболее мощная поверхностная волна возбуждается перпендикулярно наибольшей плоскости ее развития. Следовательно, разработанный способ позволяет дополнительно определять форму обнаруженного дефекта путем перемещения приемного ЭМАП вокруг возбуждающего преобразователя.

Очевидно, что возбуждающий и приемный преобразователи можно объединить в одно устройство. При этом создаются одинаковые условия для оценки размеров дефектов, и облегчается возможность использования такого тандема в автоматических установках диагностики. Одновременно можно фиксировать внутренние дефекты, располагающиеся на больших расстояниях, прямым совмещенным преобразователем по тра-

диционной методике или одновременно измерять толщину изделия. При таком подходе производительность и объем контроля возрастают.

При экспериментальных исследованиях обнаружен и обратный эффект. Если возбудить поверхностную волну и принимать ее также, как поверхностную волну, то при попадании приемного ЭМАП на поверхностный дефект принимаемая амплитуда сигнала резко возрастает. Это приращение принимаемой амплитуды зависит от характеристик дефекта и достигает 10...30 дБ. Использование этого метода контроля может существенно увеличить чувствительность диагностики поверхностными волнами.

Таким образом, разработанный способ ЭМА диагностики позволяет исключить «мертвую» зону, увеличить чувствительность контроля и достоверность обнаружения дефектов. Также повышается производительность контроля. Для реализации предложенного способа разработаны ЭМАП для контроля изделий с различной формой поверхности. Для примера, на рис. 2 приведена схема раздельно совмещенного преобразователя для дефектоскопии плоских изделий.

На рис. 2 обозначены элементы ЭМАП: 1 – корпус; 2 – первый источник постоянного поляризующего магнитного поля; 3 – второй источник поляризующего постоянного магнитного поля; 4 – принимающая высокочастотная катушка индуктивности с рабочей 6 и нерабочей 8 участками; 5 – возбуждающая высокочастотная катушка индуктивности с рабочим 7 и нерабочим 9 участками; принимающая высокочастотная катушка 4 индуктивности размещена в неэлектропроводной неферромагнитной основе 10; возбуждающая высокочастотная катушка 5 индуктивности размещена в неэлектропроводной неферромагнитной основе 11; 12 – протектор; 13 и 14 – соединители; 15 и 16 – соединительные проводники; ОК – объект контроля.

ЭМАП функционирует следующим образом. Преобразователь, который имеет корпус 1, располагают на поверхности ОК так, как показано на рис. 2, чтобы протектор 12 прилегал к поверхности ОК, защищая элементы ЭМАП от поврежде-

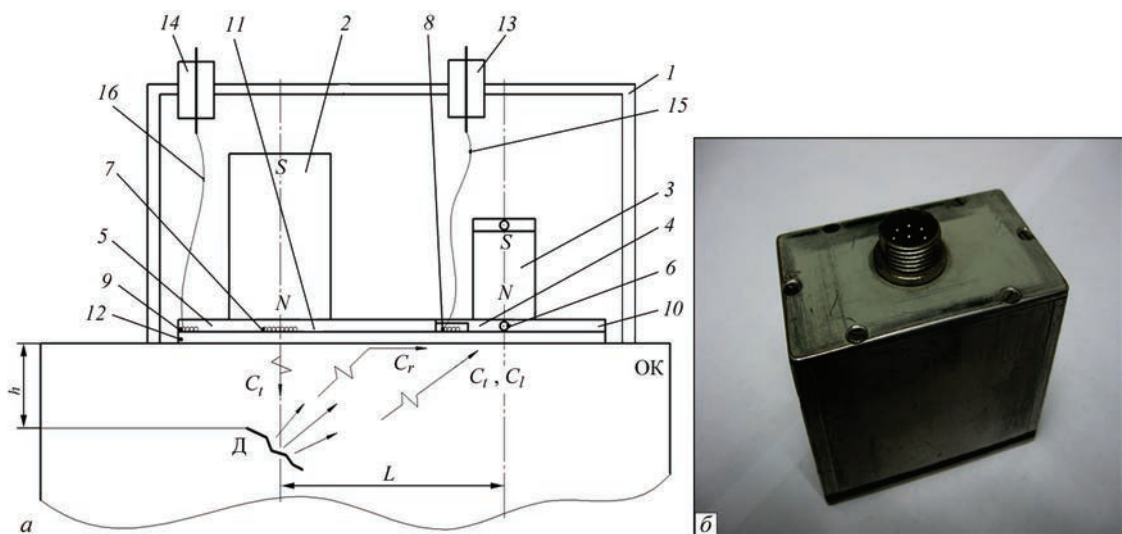


Рис. 2. Схема ЭМАП для контроля поверхностного слоя плоских ферромагнитных изделий (а) и общий вид прибора (б) (1–16 – см. в тексте)

создает в поверхностном слое ферромагнитного ОК магнитное поле, силовые линии которого направлены нормально к его поверхности. Импульсы высокочастотного тока питают высокочастотную катушку 5 через разъем 14 и проводник 16. Катушка 5 генерирует электромагнитное поле. Взаимодействие электромагнитного поля и магнитного поля в поверхностном слое ОК проходит только под полюсом источника 2 постоянного поляризирующего магнитного поля, где расположен рабочий участок 7 высокочастотной катушки 5, и не проходит над нерабочим участком 9 высокочастотной катушки 5. В результате в ОК возбуждается акустическое поле импульсов поперечных волн, которые распространяются преимущественно нормально к поверхности вглубь изделия со скоростью C_r . Основа 10 изготовлена из неэлектропроводных и неферромагнитных материалов и необходима для фиксации высокочастотных катушек 4 и 5. В образце ЭМАП, показанном на рис. 2, б, соединительный разъем выполнен общим.

Если в зоне возбужденного акустического поля на глубине h будет находиться дефект Д, то, за счет дифракции и трансформации на его поверхности будут возбуждены волны различных типов. В результате в поверхностном слое металла ОК под полюсом второго источника 3 поляризирующего постоянного магнитного поля могут появиться три типа волн: поверхностная (Рэлея) со скоростью распространения C_r , поперечная со скоростью распространения C_p , продольная со скоростью распространения C_l . Взаимодействие указанных волн с магнитным полем второго источника 3 возбудит над поверхностью металла ОК электромагнитное поле. Это поле наведет ЭДС в рабочей области 6 принимающей высокочастотной катушки 4 индуктивности и не наведет ЭДС в нерабочей области 8 принимающей высокочастотной катушки 4 индуктивности.

Выполнение рабочего участка 6 принимающей высокочастотной катушки индуктивности 4 в виде плотно упакованных проводников общим размером меньше длины полуволны акустических колебаний, которые должны возбуждаться в металлоизделии, гарантирует прием сигналов разных типов волн с максимальной амплитудой. Принятый импульс, который несет информацию о наличии дефекта Д и его характеристики, через проводник 15 поступает на соединитель 13. Расстояние L между рабочим участком 7 возбуждающей высокочастотной катушки индуктивности 5 и рабочим участком 6 принимающей высокочастотной катушки индуктивности 4 определяется из условия разнесения во времени зондирующего и принятого эхоимпульсов. Расчет величины L следует выполнять с учетом скоростей распространения ультразвуковых волн разных типов в материалах, подлежащих контролю. В ЭМАП по рис. 2, б $L = 42$ мм.

При таком установлении величины L импульс, который несет информацию о дефекте Д, появляется на временной развертке после окончания переходных процессов в элементах дефектоскопа и будет обязательно зарегистрирован прибором контроля, независимо от того, находится дефект на поверхности ОК или на некоторой глубине.

При контроле ОК с криволинейной поверхностью возбуждающие и принимающие части раздельно совмещенного преобразователя соединяются с помощью подвижного шарнира.

Экспериментальные исследования преобразователей, которые реализуют разработанный метод контроля, позволили установить следующее.

На образцах обсадной трубы диаметром 168 мм и толщиной стенки 10,4 мм (сталь по ГОСТ 632-80) с моделями дефектов в виде пазов различной глубины, длины и раскрытия, распо-

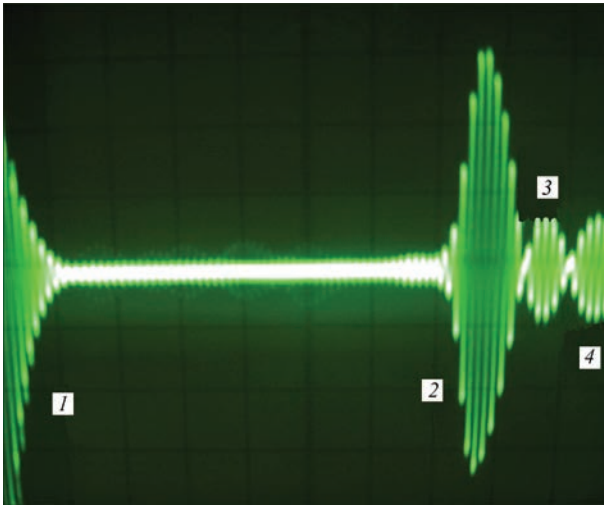


Рис. 3. Временная развертка эхосигнала от дефекта в виде паза на поверхности катания железнодорожного рельса глубиной 0,2 мм, раскрытием 0,2 мм и длиной 16 мм (1–4 – см. в тексте)

ложенных на наружной и внутренней сторонах, и сверлений амплитуда принятого сигнала поверхностной волны находилась в интервале 8...53 дБ. На чугунной гильзе для двигателей грузовиков диаметром 132 мм и толщиной стенки 7 мм с продольным пазом на наружной поверхности длиной 28 мм, раскрытием 0,15 мм и глубиной 0,3 мм амплитуда импульса составляла 9,4 дБ. На трубах из Ст3, Ст45 и легированной стали диаметром 51,3; 32; 28; 24 и 17 мм, с толщинами стенок 1; 2; 2,5; 3,5 и 6,3 мм и моделями дефектов глубиной 0,2...0,4 мм, а также с натуральными трещинами различных размеров амплитуда полезного сигнала находилась в интервале 5,7...54 дБ. Экспериментальные исследования проводились по поверхности без применения зачистки на частотах 2,3...4,8 МГц. ЭМА преобразователи использованы совместно с оборудованием, описанным в работах [9, 10].

Аналогичные результаты исследований получены на различных участках образцов из рельсов. Для примера на рис. 3 приведена реализация, полученная ЭМАП на образце рельса R65.

На рис. 3 обозначены: 1 – зондирующий импульс; 2 – эхосигнал поверхностной волны от дефекта в виде пропила поперек рельса; 3 и 4 – сигналы объемных волн. Преобразователем возбуждались сдвиговые волны импульсом с частотой заполнения 2,3 МГц, длительностью, равной 4 периодам частоты заполнения. Пиковый ток в индукторе ЭМАП достигал 80 А. Зазор между преобразователем и металлом составлял 0,5 мм. Поверхность образца не зачищалась.

Выводы

Разработан способ, который позволяет обнаруживать дефекты металлоизделий ЭМА преобразо-

вателями на глубинах от 0 до 30...50 мм на частотах до 5 МГц.

Применение разработанного способа дефектоскопии изделий дает возможность уверенно обнаруживать эхометодом продольные и поперечные дефекты на наружной и внутренней поверхностях труб, а также внутренние дефекты в стенках труб, в листах при доступе с одной из сторон. С высокой степенью надежности определяются дефекты типа трещин, представляющие особую опасность при эксплуатации. Обнаружены дефекты с раскрытием менее 0,1 мм и глубиной более 0,2 мм.

Показано, что трубы диаметром 17 мм и более, а также листы толщиной до 30 мм можно контролировать одним раздельно совмещенным преобразователем.

Установлено, что при обнаружении дефектов и измерении их параметров метод позволяет одновременно измерять толщину изделия прямым ЭМАП.

Список литературы / References

1. Dragobetskii, V. V., Shapoval, A. A., Zagoryanskii, V. G. (2015) Development of Elements of Personal Protective Equipment of New Generation on the Basis of Layered Metal Compositions. *Steel in Translation*, **45**, 1, 33–37.
 2. Dragobetskii, V. V., Shapoval, A. A., Mospan, D. V. et al. (2015) Excavator Bucket Teeth Strengthening Using a Plastic Explosive Deformation. *Metallurgical and Mining Industry*, **4**, 363–368.
 3. Shapoval, A. A., Mospan, D. V. & Dragobetskii, V. V. (2016) Ensuring High Performance Characteristics for Explosion-Welded Bimetals. *Metallurgist*, **60**, 3, 313–317.
 4. Gorbatyuk, S. M., Shapoval, A. A., Mospan, D. V., Dragobetskii V. V. (2016) Production of Periodic Bars by Vibrational Drawing. *Steel in Translation*, **46**, 7, 474–478.
 5. Zenghua, L. A., L. Zenghua, W. Bin et al. (2007) New Type Transducer for Torsional Guided Wave Generation and Its Application to Defect Detection in Pipes. *Insight*, **49**(1), 41–43.
 6. R. P. Migushchenko, G. M. Suchkov, O. N. Petrishchev, V. F. Bolyukh, S. Yu. Plesnetsov, A. I. Kocherga. (2017) information-measuring electromechanical transducers for assessing the quality of the surface of ferromagnetic metal items by ultrasonic waves Rayleigh. *Tekhnichna elektrodynamika*, **2**, 79–88. [in Russian]
 7. S.Yu. Plesnetsov, O.N. Petrishchev, R.P. Migushchenko, G.M. Suchkov. (2017) Modeling of electromagnetic-acoustic conversion when excited torsional waves. *Ibid*, **3**, 79–88. [in Russian]
 8. Tolipov, K. B. (2017) Possibilities for Increasing the Efficiency of Contactless Emitters of Acoustic Waves. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, **53**, 4, 304–307.
 9. Suchkov, G. M., Petrishchev O. N., Cherednichenko I. V. et al. (2012) A Generator of Probing Pulses for EMA Flaw Detectors. *Ibid*, **48**, 9, 537–540.
 10. Мигушченко Р. П., Сучков Г. М., Петрищев О. Н., Десятниченко А. В. (2016) Теория и практика электромагнитно-акустического контроля. Часть 5. Особенности конструирования и практического применения ЭМА устройств ультразвукового контроля металлоизделий. Харьков, ООО «Планета-принт».
- Migushchenko, R.P., Suchkov, G.M., Petrishchev, O.N., Desyatnichenko, A.V. (2016) *Theory and practice of electromagnetic-acoustic monitoring. Pt 5: Peculiarities of design and practical application of ultrasonic testing EMA systems of metal products*. Kharkov, Planeta-print [in Russian].

СПОСІБ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНОГО КОНТРО-
ЛЮ МЕТАЛОВИРОБІВ БЕЗ «МЕРТВОЇ» ЗОНИ

С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ

Національний технічний університет «Харківський політех-
нічний інститут». 61002, м. Харків, вул. Кирпичева, 2.
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com, s.plesnetsov@gmail.com

Розроблено спосіб виявлення поверхневих, приповерхневих і підповерхневих дефектів в металовиробах в шарі товщиною до 30...50 мм. Для його реалізації використано комбінований електромагнітно-акустичний перетворювач, одна частина якого випромінює імпульси об'ємних хвиль, а друга – приймає поверхневі і об'ємні хвилі. Експериментальні дослідження методу і перетворювача підтвердили високу ефективність виявлення дефектів в поверхневому шарі. Амплітуда прийнятих ехосигналів щодо рівня шуму досягала 54 дБ. Метод і перетворювачі можуть застосовуватися при дефектоскопії практично будь-яких металовиробів в ручному і автоматичному режимах. Бібліогр. 10, рис. 3.

Ключові слова: дефект, електромагнітно-акустичний перетворювач, ультразвукові хвилі, імпульс, поверхневі хвилі, дифракція, трансформація

METHOD OF ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC
MONITORING OF METAL PRODUCTS WITHOUT THE
«DEAD ZONE»

S. Yu. PLESNETSOV, G. M. SUCHKOV

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»,
2 Kirpicheva str., 61002, Kharkov.
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

A method of detection of surface, near-surface and subsurface defects in metal items in a layer up to 30 – 50 mm thick was developed. It was realized with application of a combined electromagnetic-acoustic transducer, one part of which emits pulses of bulk waves, and the second receives surface and bulk waves. Experimental studies of the method and transducer confirmed the high effectiveness of defect detection in the surface layer. Amplitude of received echo-signals relative to the noise level reached 54 dB. Method and transducers can be applied at flaw detection in practically any metal products in manual and automatic mode. 10 References, 3 Figures.

Keywords: defect, electromagnetic-acoustic transducer, ultrasonic waves, pulse, surface waves, diffraction, transformation

Поступила в редакцію

0 8

НОВА КНИГА

**Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: У 8-ми томах. Том. 3
МОНІТОРИНГ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИ-
СТАННЯМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ.**

Л. М. Лобанов, Л. І. Муравський, В. А. Півторак, Т.І. Вороняк.– Львів: «Простір-М», 2017. – 340 с.

Проаналізовано оптичні та оптико-цифрові методи моніторингу напруженого стану елементів конструкцій, які охоплюють фазозсувну інтерферометрію, електронну спеклінтерферометрію, електронну ширографію та цифрову спекл-кореляцію. Описано нові інтерферометричні технології виділення тривимірних рельєфів шорсткості та хвилястості поверхні, розрахунку розмірів втомної зони передруйнування біля концентраторів напружень, прогнозування місця старту втомної макротріщини, визначення залишкових напружень для оцінювання напруженого стану елементів конструкцій, побудови тривимірних полів переміщень поверхні та виявлення прихованих дефектів у металевих і композитних зразках. Подано результати ширографічного контролю якості різних типів металевих та композитних конструкцій, а також точкових зварних з'єднань. Нові спекл-кореляційні технології отримання компонентів поля напружень біля тріщини використано для визначення кута старту тріщини та оцінки критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень під час квазікрихкого руйнування.

Для наукових працівників та інженерів, які працюють у галузі технічної діагностики та неруйнівного контролю елементів конструкцій і матеріалів оптичними та оптоелектронними методами і засобами.

