

5. Rototest Research Institute. Powertrain performance graphs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rri.se/index.php?DN=29/performancegraphs>.
6. Цыпленков Я. Эпоха перемен / Я. Цыпленков, Л. Голованов // Авторевю. – 2007. – № 8 (379).
7. Рабинович Э.Х. Оценка коэффициентов сопротивления движению автомобиля по пути выбега / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров // Український метрологічний журнал. – 2010. – № 4. – С. 47–52.
8. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний: ГОСТ 22576-90. – [Дата введения 1992-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 16 с.
9. Иванов С.Н. Аппроксимирующие зависимости для определения моментов инерции / С.Н. Иванов, П.И. Баженов // Автомобильная промышленность. – 1992. – № 10. – С. 19–20.
10. Automobile drag coefficient. Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile\\_drag\\_coefficient](http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile_drag_coefficient).
11. Рабинович Э.Х. Определение сопротивлений движению автомобиля методом однократного выбега / Э.Х. Рабинович, З.Э. Кемалов, А.В. Сосновский // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – Вып. 22. – С. 46–48.
12. Раймпель Й. Шасси автомобиля. Амортизаторы, шины и колеса / Й. Раймпель. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
13. Информация о двигателях, применяемых в Hyundai i30 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.i30info.ru/info/engine.html>.

УДК 620.179.17

## НАДІЙНІСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ СТРИЖНІВ КРУГЛОГО І ШЕСТИГРАННОГО ПЕРЕРІЗІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

*К.Л. Ноздрачова, кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*



*Приведено дані, отримані при експериментальних дослідженнях надійності нового методу ультразвукового контролю в заводських умовах. Установлено високу виявляємість внутрішніх та поверхневих дефектів у стрижнях*

*круглого та шестигранного перерізів. Проведено оцінку виявлення дефектів довгомірних виробів із високою достовірністю за розробленим експрес-методом.*

*The data received from experimental researches of reliability of a new method of ultrasound control in a factory conditions were presented. A high detectability of internal and external defects in rods with a circular and hexagonal cross sections was set. And the evaluation of defects detection of long products with high reliability using the developed express-method was conducted.*

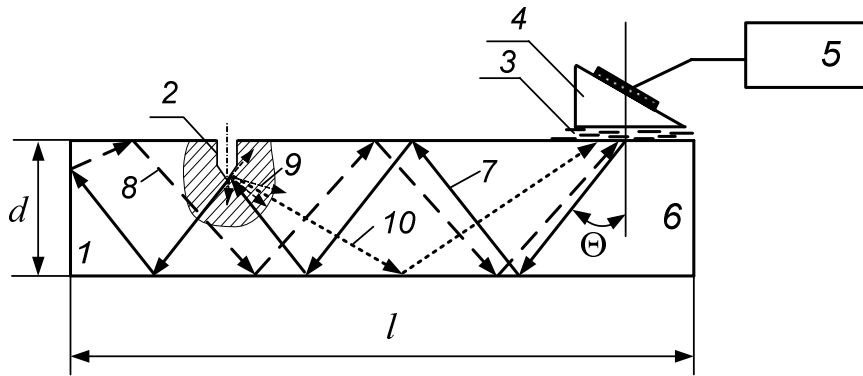
### Вступ

У роботах [1–5] показано можливість високопродуктивного контролю довгомірних виробів традиційним контактним ультразвуковим (УЗ) методом. Установлено, що розроблений метод дозволяє про-

водити експрес-контроль перехідної, за розміром, групи виробів у діапазоні товщин 10...50 мм та довжиною до 6 м. Проте є завдання зіставлення модельних розрахунків і реальних досліджень в умовах виробництва. При цьому головним питанням є те, що виявлення дефектів виробів повинно бути вищим за традиційний метод контролю довгомірних виробів [6].

Для досягнення високих вимог до якості продукції, що випускається та експлуатується [7], розроблено високопродуктивний метод дефектоскопії, який дозволив виконувати контроль витягнутих в одному напрямку виробів без значних витрат часу на сканування. Особливо це важливо для перехідної, за розміром, групи виробів у діапазоні товщин 10...50 мм. Такий метод буде важливим доповненням до традиційної групи ультразвукових методів неруйнівного контролю.

Традиційний ультразвуковий контроль виробів і матеріалів є найпоширенішим засобом для виявлення дефектів. Луна-імпульсні УЗ-прилади неруйнівного контролю, що є найбільш масовим різновидом приладів, випускаються у світі десятками тисяч на рік. Реалізовані ними методи дефектоскопії мають очевидні переваги, але мають й істотний недолік, який полягає в необхідності сканування довгомірних виробів по всій поверхні через шар контактної рідини, що суттєво знижує надійність і продуктивність контролю [1]. Такий стан обумов-



Схематичне зображення розташування дефекту та перетворювача при дефектоскопії стрижня луна-дифракційним методом: 1 – лівий торець стрижня; 2 – дефект у вигляді свердління; 3 – контактна рідина; 4 – ПЕП для похилого введення УЗ-коливань у стрижень; 6 – правий торець стрижня; 5 – серійний УЗ-дефектоскоп; 7 – пакет зондуючих імпульсів; 8 – пакет імпульсів, відбитих від торця стрижня; 9 – імпульси, дифраговані на штучному дефекті; 10 – пакет дифрагованих імпульсів, сформований у напрямку ПЕП

лений тим, що недостатньо мірою досліджено та оптимізовано фактори, що визначають достовірність виявлення дефектів і продуктивність контролю. Не розроблено засоби для продуктивного контролю з урахуванням сучасного розвитку техніки й технологій, тому дослідження і впровадження технології якісного контролю УЗ-методом довгомірних виробів незначного перетину є важливим науково-практичним завданням. Особливо важливим це завдання є для виробників металопродукції України, які є одними з провідних виробників сталевих виробів у світі.

**Результати досліджень**

На ВАТ “Металургійний завод ім. А.К. Серова” (м. Серов Свердловської обл., РФ) проведено дослідження розробленого методу з метою виявлення неоднорідностей розподілу краплень свинцю в металі. Контроль проводився ультразвуковим дефектоскопом УД2-70. Дослідження проводилися згідно з методом, наведеним на рисунку. Налаштування дефектоскопа зроблено згідно з параметрами, наведеними в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри налаштування дефектоскопа УД2-70

Посилення	90,00 дБ
Діапазон	2907 мм
Частота ПЕП	1,80 МГц
Швидкість ультразвуку	3260 м/с
Кут введення	50 °

У складі блок-схеми установки є ультразвуковий дефектоскоп 5. Похилий п’єзоелектричний перетворювач 4, який розташований біля правого торця 6, через контактну рідину 3 збуджує в стрижні імпульси ультразвукових коливань (SV-хвилі під кутом  $\Theta$ ) із заданою частотою заповнення [3, 4].

Пакет хвиль 7, перевідбиваючись від границі виробу і трансформуючись, поширюється уздовж стрижня до його лівого торця 1. Відбившись від торця, сформована група хвиль 8, знову відбиваючись і трансформуючись, повертається до п’єзоелектричного перетворювача (ПЕП) 4. При наявності в стрижні дефекту 2 пакет імпульсів 7 дифрагує на його торці й неоднорідностях поверхні, формує відповідний пакет імпульсів 10 у напрямку ПЕП. Тобто, на екрані дефектоскопа спостерігаються зондуючий імпульс, імпульси від дефекту та від торця виробу.

Виконано контроль 490 шт. стрижнів зі сталі марки АС35Г2 (довжиною 4500 мм, діаметром 21 мм), з яких 74 шт. були з реальними дефектами. Чутливість дефектоскопа налаштовували за контрольним зразком зі штучним дефектом – отвір діаметром 2 мм глибиною 10 мм. Результати контролю для нового та традиційного методів наведено в табл. 2. Як результат подано кількість одиниць контрольованих стрижнів, що виявлено або не виявлено в ході контролю верифікованої вибірки зразків з реальними дефектами або без них. Розподіл дефектних і бездефектних зразків у такій вибірці був випадковим.

Таблиця 2

Результати контролю

Метод	Традиційний метод		Новий метод	
	Виявлено	Не виявлено	Виявлено	Не виявлено
Властивості вибірки				
Вибірка без дефектів	414	2	410	6
Вибірка з дефектами	24	50	71	3

Таблиця 3

## Показники ефективності контролю

Метод \ Показники	Оцінка ймовірності помилки I роду ( $\alpha^*$ )	Оцінка ймовірності помилки II-го роду ( $\beta^*$ )	Достовірність контролю $P_B^*$
Традиційний	0,005	0,676	0,66
Новий	0,014	0,041	0,973

Для порівняння ефективності нового та традиційного методів застосовувалися показники, подані у ДСТУ 2389-94 (положення 44, 47). Розрахунок оцінки ймовірності помилок контролю за традиційним та новим методами здійснювався за формулою

$$P_B^* = 1 - 0,5(\alpha^* + \beta^*),$$

в якій

$$\alpha^* = P^* \left[ \frac{\gamma_1}{S_0} \right]; \quad \beta^* = P^* \left[ \frac{\gamma_0}{S_1} \right],$$

де  $\gamma_0$  – рішення, згідно з яким об'єкт контролю вважається бездефектним;  $\gamma_1$  – рішення, згідно з яким об'єкт контролю вважається дефектним;  $S_0$  – стан об'єкта контролю (зразка) за відсутності дефектів;  $S_1$  – стан об'єкта контролю (зразка) за наявності дефектів. Розрахунки показників ефективності контролю наведено в табл. 3.

Через те що прийняття рішень у ході контролю ґрунтується на використанні параметричних тестів стандартного статистичного аналізу, доцільно порівняти потужність прийняття рішень при застосуванні нового та традиційного методів контролю. Потужність прийняття рішень при контролі – це ймовірність відбракування зразків, в яких містяться дефекти [5]:

$$P^* \left[ \frac{\gamma_1}{S_1} \right] = 1 - \beta^*.$$

Розрахунок показує, що для традиційного методу контролю  $P^*[\gamma_1/S_1]=0,324$ , для нового –  $P^*[\gamma_1/S_1]=0,96$ .

Отримані результати порівняльного аналізу нового та традиційного методів контролю показують, що хоча ймовірність помилки контролю I роду ( $\alpha^*$ ) нового методу контролю перевищує ймовірність відповідної помилки методу традиційного контролю ( $0,014 > 0,005$ ), однак достовірність конт-

ролю для нового методу вища, ніж достовірність методу традиційного ( $0,973 > 0,66$ ). Фактично новий метод дозволяє підвищити достовірність останнього більш ніж на 30 %.

На ПП “ДДП” (м. Миколаїв) було проконтрольовано 100 шт. стрижнів діаметром 40 мм та довжиною 4000 мм, з яких за новим методом було відбраковано 9 шт. Традиційним методом теж було відбраковано 9 шт., але 2 стрижні були з допустимими дефектами. Контроль проводився дефектоскопом Томографік УД4-Т п'єзоелектричними перетворювачами П121-2,5-50°, М-003 та МWB-45-2 з кутами введення акустичних хвиль 45 і 50° та частотою заповнення імпульсу 2,5 МГц. Чутливість дефектоскопа настроювали за контрольним зразком зі штучним дефектом – отвір діаметром та глибиною по 2 мм. Результати контролю показують, що новий метод стовідсотково виявляє дефекти, що підтверджено традиційним методом.

Для оцінки підвищення продуктивності контролю за розробленим методом проведемо розрахунок підвищення продуктивності при контролі циліндричних довгомірних виробів за ГОСТ 21120-75 та за допомогою застосування нової технології, що базується на луна-дифракційному методі контролю [2].

Установимо діаметр вибраного п'єзоперетворювача  $2a = 10$  мм, швидкість сканування  $t = 100$  мм/с, тобто площа, яку можна просканувати таким датчиком за одиницю часу, дорівнює  $S_d = at = 500$  мм<sup>2</sup>/с, довжину виробу  $l = 6000$  мм, прийемо різні діаметри виробів: 10, 20, 30, 40 та 50 мм. Знаючи площу всього виробу  $S = 2\pi rh$  можна визначити час, за який проходить повне сканування поверхні виробу. Зведемо всі розрахунки в табл. 4.

Час, який витрачається на контроль за новим методом, визначався для тих же виробів експериментально і становить приблизно 2 хв. незалежно від довжини виробу; якщо у виробі присутній де-

Таблиця 4

## Розрахунок часу сканування за ГОСТ 21120 та новим методом

№ виробу	Діаметр виробу, мм	Площа виробу, м <sup>2</sup>	Час сканування, год.	
			Традиційним методом	Новим методом
1	10	0,19	0,1	0,03
2	20	0,38	0,21	0,03
3	30	0,56	0,31	0,03
4	40	0,75	0,42	0,03
5	50	0,94	0,52	0,03

фект, то для визначення його місцеположення та оцінки витрачається додатково приблизно 5 хв.

Аналіз результатів, наведених у табл. 4, показує, що продуктивність ультразвукового контролю за рахунок використання нового методу зросла від 3 до 18 разів для діаметрів стрижня від 10 до 50 мм та довжиною 6000 мм. Продуктивність контролю довгомірних виробів довжиною 1000 мм становить від 2 до 3 разів для діаметрів об'єктів контролю від 10 до 50 мм.

### Висновки

Наведені результати досліджень надійності розробленого високопродуктивного методу ультразвукового контролю в промислових умовах підтвердили його високу ефективність та актуальність застосування при контролі прутків на металургійних підприємствах. Установлено, що формування у довгомірному виробі з перехідним перерізом акустичного поля, що поширюється у вигляді пакета різнонаправлених променів об'ємних хвиль, дозволяє надійно виявити дефекти різної орієнтації з продуктивністю від 2 до 18 разів вищою, ніж при традиційному методі.

За результатами контролю сталених стрижнів довжиною 4500 мм та діаметром 21 мм на ВАТ "Металургійний завод ім. А.К. Сєрова" традиційним та новим методами встановлено, що достовірність контролю нового методу вища, ніж достовірність традиційного методу ( $0,973 > 0,66$ ). Тобто новий метод дозволяє підвищити достовірність контролю більш ніж на 30 %. Результати ж контролю сталених стрижнів діаметром 40 мм та довжиною 4000 мм, проведеного на ПП "ДДП", показують,

що новий метод стовідсотково виявляє дефекти, що підтверджено традиційними дослідженнями.

### Список літератури

1. Ноздрачова К.Л. Експрес-метод ультразвукового контролю довгомірних виробів: дис... к.т.н. / К.Л. Ноздрачова. – Харків: НТУ "ХП", 2011. – 179 с.
2. Пат. 43950 Україна, МПК (2009) G 01 № 29/36. Луна-дифракційний спосіб контролю довгомірних виробів / Г.М. Сучков, К.Л. Ноздрачова. – № у 2009 03289; заявл. 06.04.2009; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 17.
3. Suchkov G.M. Development testing of long-length items testing using contact and non-contact methods / G.M. Suchkov, E.L. Nozdracheva // Abstracts of 10<sup>th</sup> European conference on non-destructive testing. – М., 2010. – Р. 185–187.
4. Сучков Г.М. Підвищення продуктивності й надійності виявлення дефектів в стрижнях / Г.М. Сучков, К.Л. Ноздрачова // Вісник НТУ "ХП". – 2008. – Вип. 48. – С. 104–109.
5. Прутки и заготовки круглого и прямоугольного сечения: ГОСТ 21120-75. – [Дата введения 1977-10-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
6. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
7. Клюев В.В. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. Т. 3: Ультразвуковой контроль / В.В. Клюев, И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге; под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.

УДК 528.27:519.233.2

## ВЛИЯНИЕ ШУМОВ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ СИММЕТРИЧНЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ГРАВИМЕТРОВ

**А.В. Омельченко**, кандидат технических наук, доцент Харьковского национального университета радиоэлектроники

**Е.М. Занимонский**, PhD, ведущий инженер ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков

**В.С. Купко**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, директор научного центра ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков



А.В. Омельченко



Е.М. Занимонский



В.С. Купко

Проанализированы способы уменьшения влияния помех дискретизации на точность измере-

ния ускорения силы тяжести (УСТ) и исследованы свойства весовых функций симметричных баллистических гравиметров. Получены зависимости СКО измерений УСТ от длительности наблюдения движения пробного тела для различных способов обработки, определяющих вид весовых функций гравиметров.

Methods of minimizing discretization interfering signal on accuracy of acceleration of free fall measurement are analyzed and properties of weight functions of symmetrical ballistic gravimeters are discovered.