



Criteria for Selection of NDT in the Ammunition Life Cycle

Borislav GENOV

Department of Development of Armament, Technics and Materials, Defence Institute, Sofia, Bulgaria
Phone: +359 2 9221850, Fax: +359 2 9221808; e-mail: b.genov@di.mod.bg

Abstract

Nowadays, the emphasis in military understanding is on the provision of military capability, to which armament systems and equipment contribute the materiel function. The ammunitions probably are the most significant add of the materiel directly referred to the military issues. And from the logistics perspective, this is related with establishment of huge amounts of ammunitions in military depots to ensure current and future operational or training activities.

Being one-shot device, the most important issue during the ammunitions life cycle is to ensure their safety and of course their ballistic performance. Starting in very early phase (in design and development stages) and continues during service, safety and ballistic performance lie on the munitions system reliability, recognising as a vital area that justifiably requires immediate attention and resources.

Funding for research and development for ammunition qualification is chronically inadequate, and as a result there is no program in place to develop new affordable and highly reliable techniques that ensure their safety and performance instead of classical destructive concept existed, based on chemical assessment and destructive laboratory and field tests.

The non-destructive methods give significant perspective mainly in production of ammunition elements, but also as qualification tool during ammunition service life, when the aging of their components exists.

Unfortunately, due to significant differences between industry requirements and ammunition qualification area the research in this area is not significant.

In this article the first step is proposed – to provide the criteria giving the prior perspective of selection of non-destructive methods as powerful tool in ammunition qualification processes.

Keywords: ammunition life cycle, non-destructive testing, selection criteria, correlation coefficients

Критерии за избор на методи за контрол без разрушаване в жизнения цикъл на боеприпасите

Борислав ГЕНОВ

1. Въведение

Боеприпасите са отбранителен продукт с характерна специфика, обусловена от факта, че използването им по предназначение е с пренебрежима малка продължителност (известни са като „one-shot devices”) в сравнение с целия им жизнен цикъл, като същевременно от оперативна гл.т. е необходимо да бъдат създавани големи запаси [12]. Създаването на запаси от боеприпаси може да се оприличи на сключването на един вид застраховка – на практика националните запаси от боеприпаси не се използват преди изтичането на срока им на годност [12]. Тази особеност налага да бъде изградена надеждна система за планиране на запасите от боеприпаси, гарантираща същевременно и тяхното техническо състояние.

Известен факт е, че методите за контрол без разрушаване (КБР) са предпочитан избор за изпитване и оценка на материали, продукти, съоръжения и др. В широкия си смисъл методите за безразрушителен контрол, може да се представят като методология, която се използва да се оцени състоянието на даден обект [1]. Основното предимство на

тези методи е, че изпитвания или контролирания обект не се разрушава при изпитването. Това прави тези методи особено подходящи, когато изпитвания обект е с висока стойност и/или е с висока степен на сложност. В [10, 11, 15] е доказана възможността за използване на методите за контрол без разрушаване при оценката на техническото състояние на елементи от боеприпасите.

Въпреки, че такива изследвания не са рядкост в международен мащаб, категорично липсват такива, които да систематизират методите за контрол без разрушаване, които да се използват или най-малкото поне да въведат критерии за използването им в тази специфична област на науката и техниката.

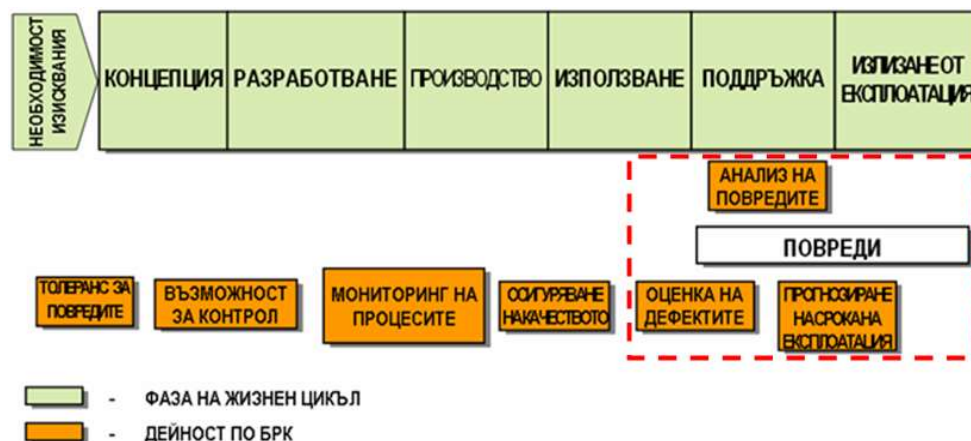
Важно е да се контролират ключовите параметри, като същевременно с това са необходими изследвания за установяване на връзката между получената стойност на параметрите вследствие на прилагането на методите на КБР с конкретния функционален параметър на продукта.

Независимо коя фаза от жизнения цикъл на продукта имаме предвид, изискваното качество обикновено е движещ фактор за прилагането на методите за КБР. Разбира се фазата на производството е етапът в който се очаква ролята на методите за КБР е най-голяма.

Предвид факта, че обикновено прилагането на конкретен метод е свързано с висока стойност са ни необходими точни критерии за решение какъв метод или методи да се прилага и въобще дали да пристъпим към използване на методите за КБР. При всички случаи, изборът за прилагане или не на методите за КБР, кой или какви методи е удачно да се използват следва да бъде подчинен на сериозен анализ и е удачно да бъдат изведени критерии на базата на които да бъде взето решение.

2. Предпоставки и начини за разрешаване на проблема

От гледна точка на направеното по-горе допускане прилагането на методите за контрол би целяло основно установяване на съществуващите отклонения от нормалното състояние или повреди (фиг. 1).



Фиг. 1. Област на прилагане на методите за контрол без разрушаване в потребителските фази на жизнения цикъл
адаптирано по [11]

Като следствие, основна задача в случая се явява т.нар. освидетелстване на боеприпасите за експлоатация след изтичането на техническия ресурс, предписан от производителя. Досегашният прилаган подход за преосвидетелстване на боеприпасите в РБългария е свързан основно с подлагане на периодични лабораторни и полигонни

изпитвания, като се отчитат и отказите при бойното използване. Към днешна дата, наред с намаленото разходване на боеприпаси при тренировки и учения, са налице и прекъснати системни връзки между организационните структури, като към всичко това трябва да се добавят и снижените възможности на оборудването за изпитване.

Известен факт е, че вложените елементи, възли и агрегати променят своите характеристики [3, 4, 5], като за боеприпасите, производителите обвързват прогнозируемите срокове на отделните с предписания срок на експлоатация.

Използвайки наличните данни в специализираната литература, в [12] са систематизирани очакваните продължителности на сроковете на годност на различни елементи, възли и агрегати от боеприпаси. В резултат, като основен проблем в случая се очертава да бъдат взривните вещества³, които могат да променят свойствата си до степен до която не са в състояние да изпълняват предназначението си или дори да станат опасни и за служебно обръщение и съхранение [15].

Натрупването на всички тези фактори внася известна неопределеност и несъмнено прилагането на методите за контрол без разрушаване в процеса на освидетелстване на боеприпасите би било адекватно решение, допринасящо за формирането на информирана оценка за текущото техническо състояние. Несъмнено прилагането им не трябва да става самоцелно, а след детайлни техническа и икономическа оценка, като за целта може да се използват някои от подходите, детайлно в [16]. Акцентът трябва да бъде насочен задължително към тези елементи на боеприпасите, влияещи на безопасността.

3. Критерии с технически характер за избор на метод за КБР

Всеки продукт има някакви характеристики, които са постигнати в процеса на неговото производство. Тези характеристики деградират в процеса на служебно обръщение. Характеристиките могат да бъдат контролирани посредством:

- класически деструктивен – в случая лабораторни или полигонни изпитвания;
- деструктивен съществуващ метод с ниска ефективност, който е в корелационна зависимост с характеристиката с корелационен коефициент K12;
- с иновативен метод на контрол без разрушаване с корелационен коефициент K13.

Основна задача в случая е да се открие корелационния коефициент K23 между неефективния или неосигуряващия достатъчна информация метод и иновативния метод на контрол без разрушаване.

От чисто физична и математическа гледна точка такава процедура не е коректна. Добре известен факт е, че в сила е неравенството:

$$K13 > K12 \times K23 \quad (1)$$

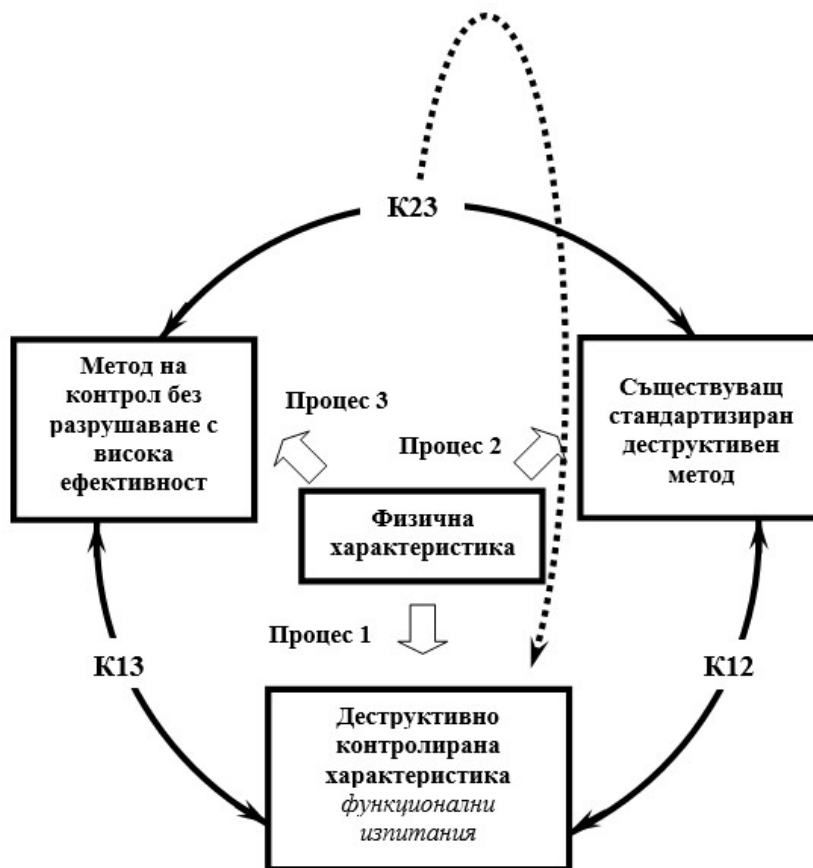
От икономическа гледна точка, обаче, се явява желана, предвид по-ниските разходи, което е и предпоставка да се търсят начини за повишаване на достоверността.

Детекцията на дефекти, обикновено се разглежда като най-важния аспект за прилагане на методите за КБР. Съществуват много подходи за избор и прилагане на конкретен метод за КБР, като обикновено съображенията са както следва:

- преследвана цел от прилагането на конкретния метод;
- тип(ове), размери, ориентация на дефекта(ите), които се очакват;
- критерии за отхвърляне на продукта, подчинен на критичността на открития дефект – размери, форма, ориентация, местоположение и др.;
- характеристики на материала, който ще се оценява.

³ В случая взривни вещества се използва като събирателно понятие, включващо взривни вещества, барути и пиротехнически състави

Веднъж определени размерите и ориентацията на дефекта, е необходимо да се определят кои дефекти са критични. Най-общо имаме два основни типа дефекти – обемни и равнинни. Обемните дефекти се характеризират с това, че са триизмерни или с други думи притежават обем. Таблица 1 систематизира различните типове обемни дефекти, заедно с използваните за откриването и характеризирането им методи за КБР.



Фиг. 2. Корелационни зависимости между различни методи, предназначени за контрол на дадена физическа характеристика
адаптирано по [6]

Равнинните дефекти на практика също са триизмерни, но предвид по-малкия размер в едното измерение, условно се приемат за двуизмерни. Таблица 2 систематизира най-разпространените обемни дефекти, заедно с възможните използвани методи за КБР.

Таблица 1. Класификация на обемните дефекти и използваните методи за КБР

Вид на дефекта	Метод за КБР
Порьозност	Визуален (повърхност)
Включвания	Реплика (повърхност)
Всмукнатини	Контрол с проникващи течности (повърхност)
Разслоения	Магнито-прахов (повърхност)
Шупли	Ултразвуков
Кухини	Радиографски
Корозия	Компютърна томография
	Неутронна радиография

	Термография Оптична холография Визуален с допълнителна обработка на цифровото изображение (повърхност)
--	--

Таблица 2. Класификация на равнинните дефекти и използваните методи за КБР

Вид на дефекта	Метод за КБР
Дефекти на повърхността	Визуален
Пукнатини	Реплика микроскопия
Ламинация	Магнито-прахов
Равнинни дефекти при коване и щамповане	Магнитен
Равнинни дефекти на отливките	Метод на вихрови токове
Пукнатини от термообработка	КБР на херметичност/плътност
Несплавяване	Ултразвуков
Неспояване	Акустична емисия
	Термография

Таблица 3 систематизира методите на КБР, използвани в зависимост от разположението на дефекта – повърхностен или вътрешен.

Таблица 3. Използвани методи за КБР в зависимост от разположението на дефекта

Повърхностен	Вътрешен
Визуален	Визуален
Реплика	Реплика
Контрол с проникващи течности	Контрол с проникващи течности
Магнито-прахов	Магнито-прахов (ограничено използване)
Магнитен	Магнитен
Метод на вихрови токове	Метод на вихрови токове
КБР на херметичност/плътност	Микровълнов
Ултразвуков	КБР на херметичност/плътност
Акустична емисия	Ултразвуков
Термография	Акустична емисия
Оптична холография	Термография (ограничено използване)
Спекъл метрология	Оптична холография (ограничено използване)
Акустична холография	Акустична холография
Обработка на цифровото изображение (повърхност)	
Акустична микроскопия	

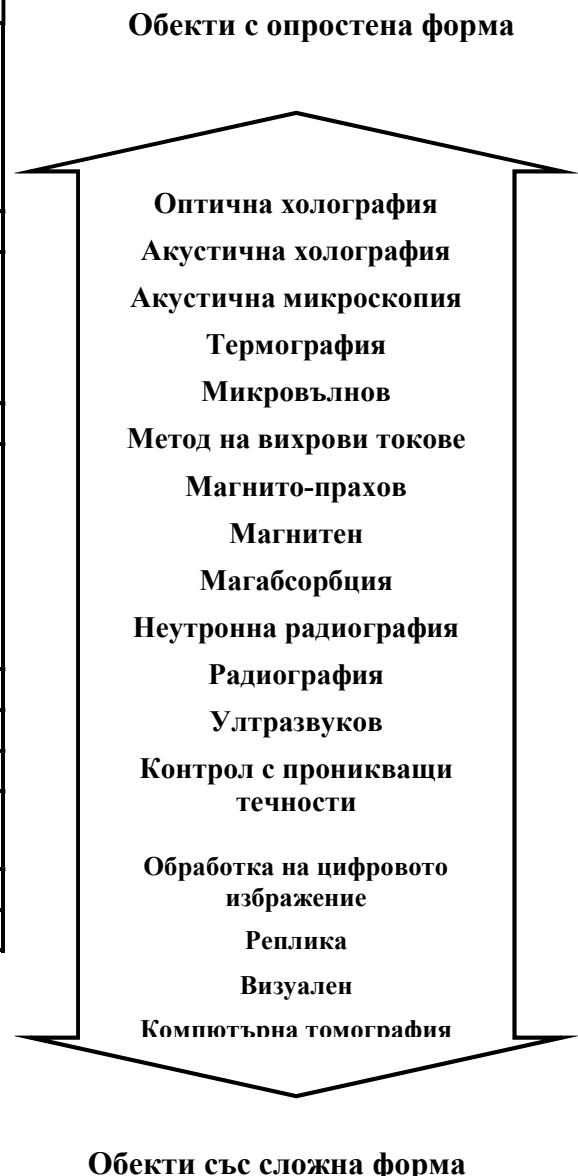
Другите два фактора, които влияят върху избора на конкретен метод за КБР са формата и размерите на изпитвания обект (фиг. 3).

Физичните характеристики на материала на контролирания/изпитвания обект също влияят на избора на метод за КБР. В таблица 4 са систематизирани характеристиките, определящи за използването на конкретния метод.

Така, точно определения метод за КБР може да се избере на базата на досегашните разсъждения. Тъй като всеки метод за КБР е силно специфичен, често се прибегва до избор на няколко метода, имащи допълващи се качества. Например ултразвуковия и радиографския метод могат да се използват съвместно както за повечето типове

планарни или равнинни дефекти, така и за обемни дефекти (като поръзност и нееднородност).

Повърхност
Визуален Реплика Контрол с проникващи течности Визуален с допълнителна обработка на изображението
Много тънък обект (с дебелина под 1 mm)
Магнито-прахов Магнитен Метод на вихрови токове Контрол на херметичност
Тънък обект (дебелина под 3 mm)
Акустична емисия Оптична холография Спекъл метрология Акустична холография Акустична микроскопия Microwave
Обект с дебелина под 100 mm
Радиографска томография
Обект с дебелина под 250 mm
Неутронна радиография Радиография
Обект с дебелина под 10 m
Ултразвуков



Забележки:

1. Всички методи за КБР, използвани за по-дебелите обекти могат да се използват и за по-тънките, с изключение на неутронната радиография.
2. Приетите в таблицата размери могат да варират в зависимост от физичните качества на изпитвания/контролирания обект.

Фиг. 3. Използвани методи за КБР в зависимост от размерите (вляво) и формата (вдясно) на изпитвания/контролирания обект

След като доводите за този или онзи метод на КБР са разгледани, трябва да се специфицира кои типове дефекти са критични на базата на вид, разположение в детайла, размери, ориентация и др.

Таблица 4. Методи на КБР и характеристики на материала

Метод за КБР	Характеристика
Метод с проникващи течности	Дефектът трябва да има излаз на повърхността
Магнито-прахов	Материалът трябва да е феромагнитен
Метод на вихрови токове	Материалът трябва да е феромагнитен или електропроводим
Микровълнов	Материалът да позволява преминаването на микровълни
Радиография и радиографска томография	Промени в дебелината, плътността и/или състава
Неутронна радиография	Промени в дебелината, плътността и/или състава
Оптична холография	Повърхностни оптични свойства

4. Анализ на адекватността на популярни критерии с икономически характер за обосновка на необходимостта от прилагане на методите за КБР

Докато определянето на критериите за критичност (тип, размери, местоположение, ориентация и др.) на дефекта обикновено се диктува от стандарт, нормала или друг регламентиращ документ, икономически аспект на необходимостта от прилагането или не на методите за КБР, често е труден за формулировка.

В специализираната литература са разпространени три основни метода за обосновка на необходимостта от прилагане на методите за КБР с чисто икономически критерии.

Добрата новина е, че тези методи са достатъчно елементарни и позволяват еднозначен отговор „да“ или „не“.

Лошата новина е, че използването на печалбата като критерий невинаги е приложимо като критерий при продуктите и системи. Вместо печалбата като критерии могат да се използват логистичните разходи за използването на системата, времето за готовност и др., най-общо обединени под термина ползи.

Ключът в тези критерии е да се определи кой ефект е по-полезен – тази от прилагането или неприлагането на конкретен(и) метод(и) за КБР.

4.1. Критерий на Деминг

Този метод използва за критерии стойността на методите за КБР, стойността на щетите, които биха се получили ако единица продукт неотговаряща на изискванията продължи експлоатацията си или премине в следваща технологична операция и частта от продуктите, които не отговарят на изискванията.

Уравнението за критерия на Деминг има вида:

$$DIC = \left(\frac{k_2}{k_1} \right) \cdot p \quad (2)$$

където:

DIC – критерий на Деминг (от англ. Deming inspection criterion);

k_1 – стойност за инспекция на една единица;

k_2 – нанесените щети, ако един продукт (елемент, възел, агрегат и др. от него) не отговарят на изискванията;

p – делът, който не отговаря на изискванията.

Този метод е приложим като критерий основно за фазата на производство, при следните ограничителни условия:

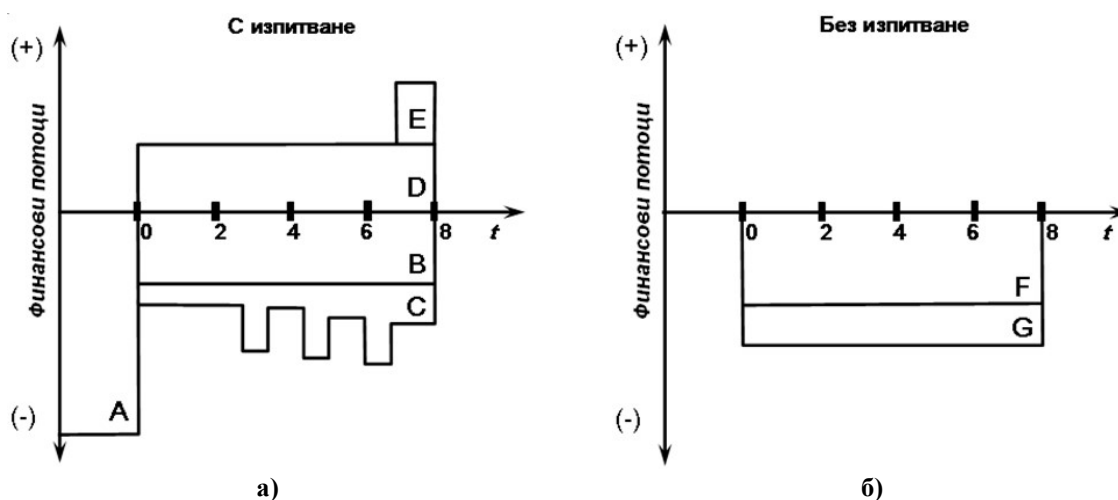
- Покупката и внедряването на екипировката за КБР е в рамките на една бюджетна година;
- Променливите разходи са по-големи.

Пристъпваме към (продължаваме) КБР ако имаме стойност за $DIC \geq 1,0$, а прекратяваме или не пристъпваме към КБР ако $DIC < 1,0$.

Използването на критерия на Деминг трябва да бъде или за процеси, които са под контрол или за такива, които никога не са били под контрол, което го прави неприложим за тази специфична област.

4.2. Метод „Коригирана по време доходност“ или „Възвращаемост“

Методът може да се използва във всички фази на жизнения цикъл за всяка нова инвестиция, напр. ако заменим някакъв процес на изпитване с разрушаване с апаратура за КБР. Принципът, който се спазва е: ако досегашната практика продължи, то ползите от използването ще се натрупват през годините, а ако се въведе нова практика, то тя ще внесе промени. Този метод първоначално е предложен от Papadakis и др. в [6]. Два варианта на такива графики (с изпитвания и без изпитвания) са показани на фиг. 4.



а)

б)

Легенда: А – Стойност на първоначалната инвестиция;
В – Стойност на функционирането на оборудването; С – Стойност на логистичната поддръжка;
D – Амортизация; E – Остатъчна стойност на оборудването за КБР;
F – Загуби от неработещото съоръжение; G – Косвени загуби.

Фиг.4. Сравнение на ползите при неизпитване и изпитване с метод на КБР с използване на TARR или IRR методи

Този метод може да се използва, когато инвестициите в оборудване за КБР не са само в една фискална година. Този метод е удачно да се използва в областта на освидетелстването на боеприпаси.

4.3. Метод „Производителност, рентабилност, приходи“

Този метод сравнява получените ползи спрямо направените за това разходи за всеки процес от гледна точка на производителността. Важно е да се отбележи, че всички

ползи трябва да се превърнат в едни и същи единици, като за това им се дадат различни коефициенти на тежест. Удобен метод за това е методът на експертните оценки. Аналогично използване на този метод е дадено в [13]. Ако даден продукт (агрегат, възли, елементи или др. от него) е (са) излязъл(и) извън строя, то той не може да ни носи повече ползи за известно време. т.е. намалява се общата производителност.

Методът е представен в [9], а уравненията са:

$$P = (A - B) / C \quad (3a)$$

$$E = P - 1 \quad (3б)$$

$$M = E.C \quad (3в)$$

$$G = \sum M \quad (3г)$$

където:

A – стойност на ползите;

B – стойност на нанесените вреди;

P – производителност;

E – рентабилност на процесите;

M – стойност, реализирана като печалба;

C – стойност на процеса;

G – обща печалба.

КБР увеличава разходите, но пък може да намали времената, в които даден продукт (агрегат, възли, елементи или др. от него) не носи ползи. Този метод би могъл да има сравнително ограничено разпространение за нашите цели, предвид силната му обвързаност с икономически показатели. Затрудненията основно биха били свързани с невъзможността за уеднаквяване на всички показатели.

5. Заключение

Оценката на техническото състояние е с основна роля в процеса на освидетелстване на боеприпасите. В предишни изследвания беше доказана възможността за използване на КБР като мощен инструмент, който е в състояние да повиши информираността и/или да бъде алтернатива на някои от деструктивните методи. Въпреки несъмнените ползи от прилагането им, които имат икономически и технически измерения, до момента не е правен опит да се дефинират критерии с технически и още по-малко с икономически характер.

Тук е направен един опит да бъдат легитимирани критерии за избора на един или друг метод в зависимост от характеристиките на параметъра, който ще контролираме, както и да се прогнозира очакваните разходи от въвеждането им. За целта в тази статия са разгледани техническите и икономическите аспекти за обосновка на необходимостта от прилагането на тези методи за откриване на дефекти в тези специфични продукти. Предвид факта, че потенциален анализ „разходи-ползи“ би бил съществено различен от експертна гледна точка с такъв от други области на науката и технологиите, в следващо изследване ще бъде направен такъв многокритериален анализ.

Литература

1. ASTM “Nondestructive Testing”, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2005.
2. Lipson C., N.J. Sheth. Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments. McGraw-Hill, New York, 1973.
3. Papadakis E.P. Sampling Plans and 100% Nondestructive Testing Compared. Quality Progress, 1982.
4. Papadakis E.P. Inspection Decisions Based on Costs Averted. Materials Evaluation, 50(6), 1992, 774–776.
5. Papadakis E.P. Cost of Quality. Reliability Magazine, January/February, 8–16, 1995.
6. Papadakis E.P. Correlations and functions for determining nondestructive tests for material properties. Materials Evaluation, 51(5), 1980. 601–606.
7. Papadakis E.P. A cost of quality: three financial methods for making inspection decisions. Materials Evaluation, 55(12), 1997.
8. Walton, M. The Deming Management Method. Putnam Publishing Group, New York, 1986.
9. Генов Б. Логистични аспекти на жизнения цикъл на отбранителни продукти. дипломна работа, София, 2009.
10. Генов Б. и др. Възможности за използване на акустични методи за контрол без разрушаване на елементи от боеприпаси. Акустика, 2013.
11. Генов Б. и др. Възможности за използване на радиационни методи за оценка на техническото състояние на твърдотопливни ракетни двигатели. XXIX Международна конференция „Дефектоскопия’14“, Созопол, 2014.
12. Генов Б. и др. Приложение на теорията на надеждността при увеличаване на срока на годност на боеприпасите. 7-ма международна научна конференция в рамките на XI-та Международна изложба „Хемус 2014 – Отбрана, антитероризъм и сигурност“, Пловдив, 2014.
13. Генов Б. Критерии за избор и необходимост от прилагане на методите за контрол без разрушаване за откриване на дефекти в материалите и продуктите. Лекционен фонд на Шуменски университет „Еп. К. Преславски“, 2013.
14. Генов Б. и др. Анализ на неудовлетворителните резултати от полигонни и контролни лабораторни изпитвания на боеприпаси на територията на ЦАТИП през 2013 г. Институт по отбрана „Проф. Цветан Лазаров“, 2014.
15. Генов Б. и др. Възможности за използване на методите за контрол без разрушаване в етапите на жизнения цикъл на боеприпасите. XXX Международна конференция „Дефектоскопия’15“, Созопол, 2015.